

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JÚLIA BEUST DA SILVA

**IMPACTO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA QUALIDADE
DE ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO.**

Porto Alegre

2015

Beust da Silva, Júlia

IMPACTO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA À
REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA QUALIDADE DE ENERGIA
ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO. / Júlia Beust da Silva. --
2015.

82 f.

Orientador: Gustavo Dorneles Ferreira.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica, Porto
Alegre, BR-RS, 2015.

1. Qualidade de Energia. 2. Geração Distribuída.
3. PRODIST. 4. Módulo 8 - PRODIST. I. Dorneles
Ferreira, Gustavo, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**IMPACTO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA QUALIDADE
DE ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO.**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Dorneles Ferreira

Porto Alegre

2015

JÚLIA BEUST DA SILVA

**IMPACTO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA QUALIDADE
DE ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado e julgado adequado para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Gustavo Dorneles Ferreira

Prof. Dr. Ály Flores Ferreira Filho

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Dorneles Ferreira – UFRGS _____

Prof. Dr. Roberto Chouhy Leborgne – UFRGS _____

Prof. Dr. Fausto Bastos Líbano – UFRGS _____

Para todos aqueles, especialmente minha mãe, que me ensinaram que posso ir a qualquer lugar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu pai e meu irmão, com os quais compartilho o amor pela área das ciências exatas e a minha mãe, que sempre soube ser o coração do nosso lar.

Agradeço ao Bruno, que esteve ao meu lado em todos os momentos mais difíceis, e também nos mais felizes.

Agradeço aos meus colegas na Empresa Sevenia, que me apoiaram e tornaram este trabalho possível.

Por fim, agradeço a aqueles que foram meus colegas e mestres, com quem aprendi lições muito além das aplicadas em sala de aula.

“Sin tormentas nada se mueve. Nada Cambia.”

Liniers

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar os impactos da implantação de um microssistema de geração fotovoltaico conectado à rede de distribuição na qualidade da energia elétrica de uma residência em área rural. As medidas efetuadas *in loco* antes e após a instalação seguem o padrão dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). A metodologia adotada é embasada em conceitos fundamentais relativos ao estudo, à coleta de dados e às ações para mitigar os problemas relacionados à Qualidade da Energia Elétrica. Esta metodologia inclui descrição e classificação dos principais fenômenos, bem como seleção de parâmetros para modelagem e análise da qualidade da energia em cada período avaliado. Com base nestes parâmetros e nos dados oriundos das medições realizadas, neste trabalho são apresentados os resultados qualitativos e quantitativos da análise, permitindo, assim, estabelecer uma visão detalhada do impacto da conexão da geração fotovoltaica no sistema elétrico.

Palavras-chave: Qualidade da Energia Elétrica. PRODIST. Microgeração. Fotovoltaica.

ABSTRACT

The central goal of this paper is to analyze the impacts on a rural residence's power quality after installing a grid-connected photovoltaic power microsystem. The field measurements taken before and after the system's installation follow the Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) standards.

The adopted methodology is based in fundamental concepts related to the study, data collection and actions to mitigate problems related to Power Quality. This methodology includes description and classification of the main phenomena and the parameters selection for Power Quality modeling and analyzes in each period considered. Based on these parameters and measurement data, this study presents the results of qualitative and quantitative analysis, thus allowing establishing a detailed view of the impacts in connecting the photovoltaic power microsystem in the electrical system.

Keywords: Power Quality. PRODIST. Microgeneration. Photovoltaic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrente resultante de descarga atmosférica que pode resultar em um transiente impulsivo no sistema de potência.	23
Figura 2 - Transiente oscilatório de média frequência causado pelo chaveamento de banco de capacitores.	24
Figura 3 - Interrupção momentânea devido à falta e subsequente reestabelecimento da tensão elétrica.	25
Figura 4 - Afundamento de tensão causado pela partida de um motor.	26
Figura 5 - Elevação de tensão causada por uma falta Fase-Terra.	27
Figura 6 - Distorção de corrente causada por um resistor não-linear.	29
Figura 7 - Flutuação de tensão causada pela operação de um forno a arco.	32
Figura 8 - Faixas de tensão em relação à tensão de referência.	36
Figura 9 - Tela de inserção dos dados do projeto.	43
Figura 10 - Tela de escolha da angulação e posicionamento dos painéis fotovoltaicos.	44
Figura 11 - Ilustrativo da instalação dos módulos fotovoltaicos.	45
Figura 12 - Imagem do PowerNET P600.	46
Figura 13 - Instalação do analisador no ponto de aquisição dos dados.	48
Figura 14 - Esquemático da ligação do PowerNET P600 para um circuito monofásico.	49
Figura 15 - Índices DRP e DRC calculados a partir dos valores medidos para o Cenário I.	50
Figura 16 - Índices DRP e DRC calculados com os valores medidos para o Cenário II.	51
Figura 17 - Tensões e potências consumidas/geradas pela residência no Cenário II.	52
Figura 18 - Tensões elétricas medidas no Cenário I.	53
Figura 19 - Gráfico das tensões elétricas medidas no Cenário II.	54
Figura 20 - Frequência percentual de ocorrência do Fator de Potência para o Cenário I.	55
Figura 21 - Fator de potência medido no período anterior à instalação do microssistema.	55
Figura 22 - Fator de Potência medido para o Cenário II, por incidência [%].	56
Figura 23 - Variação de Frequência verificada no Cenário I.	58
Figura 24 - Variação de Frequência verificada no Cenário II.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias e características típicas dos fenômenos eletromagnéticos em sistemas de potência.....	33
Tabela 2 - Limites de tensões de fase para pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (380/220).....	36
Tabela 3 - Estabelecimento dos limites para os indicadores de transgressão de tensão.....	37
Tabela 4 - Valores de referência globais das distorções harmônicas totais (em porcentagem da tensão fundamental).....	38
Tabela 5 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental) para $VN \leq 1 kV$	39
Tabela 6 - Relação dos equipamentos utilizados.....	44
Tabela 7 - Grandezas medidas/registradas pelo PowerNET P600 G4.	47
Tabela 8 - Características de amostragem digital.	47
Tabela 9 - Distorção Harmônica.....	57
Tabela 10 - Relação de Documentos do Anexo B, que acompanham o memorial descritivo.	63

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

CA – Corrente Alternada.

CC – Corrente Contínua.

CIGRÉ – *Conference Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension.*

DHT – Distorção Harmônica Total.

IEC – *International Electrotechnical Commission.*

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers.*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

QEE – Qualidade de Energia Elétrica.

SDAT – Sistema de Distribuição de Alta Tensão.

SDMT – Sistema de Distribuição de Média Tensão.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivação	16
1.2 Objetivo	17
1.3 Estrutura do Trabalho	17
2 ASPECTOS DA QEE	18
2.1 Termos e Definições.....	18
2.2 Distúrbios Relacionados à QEE	22
2.2.1 Transitórios	22
2.2.1.1 Transitório Impulsivo	22
2.2.1.2 Transitório Oscilatório.....	23
2.2.2 Variações de Curta Duração	24
2.2.2.1 Interrupções	25
2.2.2.2 Afundamentos.....	25
2.2.2.3 Elevação de Tensão.....	26
2.2.3 Variações de Longa Duração.....	27
2.2.3.1 Sobretensão.....	27
2.2.3.2 Subtensões	28
2.2.3.3 Interrupções Sustentadas	28
2.2.4 Desequilíbrio	28
2.2.5 Distorção de Forma de Onda.....	29
2.2.5.1 Distorção Harmônica.....	29
2.2.5.2 Inter-Harmônicas	30
2.6 Flutuação de Tensão.....	31
2.7 Variação de Frequência	32
2.8 Sumário dos Distúrbios da QEE	32
3 PRODIST	34
3.1 Módulo 8.....	34
3.1.1 Qualidade do Produto	35
4 ESTUDO DE CASO	42
4.1 Caracterização do Cenário de Estudo	42
4.2 Projeto do Sistema Fotovoltaico.....	42

4.3 Aquisição de Dados.....	45
4.4 Resultados	50
5 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A - Memorial Descritivo e Plantas em AutoCAD do Sistema Fotovoltaico.	63
ANEXO A - Datasheets do Modulo Fotovoltaico e do Inversor de Frequência	75
ANEXO B - Datasheets do Modulo Fotovoltaico e do Inversor de Frequência.....	78

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas de distribuição de energia elétrica datam do final do século XIV e foram concebidos para prover energia a ser utilizada em iluminação pública. Enquanto na Inglaterra os sistemas desenvolvidos focavam na distribuição de corrente alternada, os Estados Unidos desenvolvia a distribuição com o uso de corrente contínua. Desta diferença, surge a conhecida rivalidade entre Thomas Edison e George Westinghouse, a respeito de qual forma de transmissão, CC ou CA, seria a mais adequada. Ao longo dos anos, a escolha por sistemas de transmissão de corrente alternada foi sendo consolidada, devido ao seu principal ponto de relevância: a minimização de perdas.

A preocupação com a implantação de redes de distribuição no Brasil data de 1879, durante o período imperial, quando Dom Pedro II concedeu a Thomas Edison o direito de iniciar no país a instalação de um sistema de iluminação pública completo, desde os aparelhos e processos de geração, aos sistemas de distribuição 1. Foi deste modo, que concebeu-se a distribuição de energia elétrica no país, moldada por empresas privadas estrangeiras, responsáveis por impor o sistema de 60Hz utilizado até hoje.

Inicialmente, no Brasil, a principal preocupação dos agentes foi limitada ao fornecimento de energia elétrica, enquanto a dos consumidores, apenas acessá-la. Conforme as novas tecnologias foram agregadas ao dia a dia do consumidor, e aos processos industriais, os clientes passaram a exigir maior qualidade e continuidade no fornecimento. A principal razão para a valorização da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) encontra-se no valor econômico agregado a um fornecimento de eletricidade de qualidade, que não é fator impeditivo para as atividades. Foi desta motivação que surgiu a necessidade de normas para regulamentar a continuidade e qualidade da energia fornecida.

A criação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em 1996, veio ao encontro da necessidade de unificar, de forma definitiva, as tarefas de regulamentar e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização da energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo Federal, sob a forma de uma agência reguladora.

Após 4 anos de serviço, a ANEEL publicou, em 2001, a Resolução nº 505, que estabeleceu de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão em regime permanente 2.

Atualmente, segundo o Módulo 8, dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, [3], implementado pela Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008, a qualidade da energia se divide em dois principais segmentos: a qualidade do produto e a qualidade do serviço. Para a qualidade do produto, o documento define a terminologia, características, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações nas formas de onda de tensão, estabelecendo mecanismos para avaliação da qualidade do mesmo. Para a qualidade dos serviços prestados, é apresentada a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades.

1.1 Motivação

O mercado energético do Brasil se encontra em um momento de transição. O antigo modelo de geração, majoritariamente hidrelétrico, vem se mostrando ineficiente e insustentável, uma vez que o investimento público direcionado a ele o torna incapaz de acompanhar o crescimento da demanda por energia, decorrente do recente desenvolvimento econômico do país. Assim sendo, é imprescindível que se passe a investir em fontes alternativas de energia, para que se possa, assim, complementar a geração de eletricidade através da construção de uma malha de geração mais diversificada, e resiliente frente às mudanças climáticas inesperadas.

Devido aos modelos de transmissão e geração de energia utilizados no Brasil atualmente, a energia elétrica é gerada, em sua maior parte, em locais geograficamente afastados dos grandes centros populacionais ou industriais. Com isso, dispõe-se de uma malha de distribuição longa e pouco eficiente.

Em 2012, uma nova perspectiva para o mercado de geração de energia no Brasil se materializou por meio da Resolução Normativa nº482 da ANEEL, a qual estabelece os critérios para a conexão da geração distribuída. Este conceito pouco explorado no país, possibilita a mitigação de alguns dos problemas citados, decorrentes da distância entre a geração e os centros de consumo, ou seja, da geração concentrada e da baixa diversidade da matriz energética.

Tendo em vista este cenário, este trabalho apresenta um estudo dos principais fenômenos relacionados à QEE. Os resultados possibilitam uma avaliação pontual e global

dos efeitos da inserção de um sistema de microgeração solar fotovoltaica na rede de distribuição.

1.2 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é efetuar uma análise comparativa entre os dados anteriores e posteriores à implantação de um sistema de geração solar fotovoltaico em uma residência de zona rural, visualizar a possível alteração na qualidade de energia elétrica do local.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, iniciando neste capítulo introdutório.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão histórica da construção dos parâmetros para análise da qualidade da energia elétrica.

No Capítulo 3 são demonstrados os métodos para medição e coleta de dados, que são utilizados durante o desenvolvimento do estudo de caso, abrangendo a fenomenologia de cada fator a ser abordado.

O Capítulo 4 é dedicado à apresentação e tratamento dos dados decorrentes das medidas elétricas realizadas no local de estudo. Este capítulo é embasado nos conceitos apresentados anteriormente, para o diagnóstico do impacto da inserção da microgeração, de acordo com os parâmetros previamente definidos.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros, bem como a discussão dos resultados obtidos, que incluem um conjunto de ações possíveis para minimizar os problemas identificados.

2 ASPECTOS DA QEE

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à QEE, bem como as definições e a caracterização dos problemas que serão abordados no estudo de caso.

2.1 Termos e Definições

Qualidade da energia elétrica é um conceito aplicado ao estudo de sistemas de potência para uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos. Para o entendimento dos mesmos, é importante que um vocabulário claro e conciso seja estabelecido, facilitando assim a identificação e classificação do evento analisado.

Embora o Glossário de Termos Técnicos, fornecido pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, 4, não normatize o vocabulário para os problemas relativos à QEE, o Módulo 8, do PRODIST o faz de forma parcial. Um esforço internacional para a unificação destes termos junto à comunidade de qualidade de energia elétrica vem sendo coordenado pelo comitê 22 do IEEE 5, denominado IEEE SCC22, juntamente com outras entidades internacionais, como IEC e CIGRE.

Com a finalidade de conformar este trabalho ao contexto internacional, este capítulo apresenta os termos e definições comumente utilizados no estudo da QEE 5.

a) Afundamento de Tensão

A ocorrência de um afundamento de tensão é caracterizada pelo decaimento de seu valor eficaz a um valor entre 0,1 e 0,9 pu, com duração superior a meio ciclo e inferior a 1 minuto.

b) Carga Linear

Uma carga linear corresponde a um componente que, em operação estacionária, apresenta uma relação linear entre a variação de tensão aplicada e a corrente consumida, com impedância de carga constante.

c) Carga Não Linear

Uma carga não linear é um componente que, em operação estacionária, consome corrente descontínua e possui impedância variável dentro do ciclo de alimentação DC.

d) Componente Harmônica

A componente harmônica de uma senoide equivale à componente de ordem superior a 1 da Série e Fourier de uma quantidade periódica.

e) Conteúdo Harmônico

O conteúdo harmônico de uma senoide corresponde à quantidade obtida ao subtrair-se a componente fundamental de uma quantidade alternativa.

f) Distorção

Qualquer desvio da forma de onda do seno em relação a uma senoide esperada para a frequência fundamental corresponde a uma distorção, podendo ocorrer em ondas de tensão ou ondas de corrente.

g) Falta

Uma falta em um sistema elétrico de potência geralmente se refere à ocorrência de um curto circuito no sistema de potência.

h) Fator de Potência

O fator de potência é uma variável definida em um sistema pelo quociente entre sua potência ativa, em watts, e sua potência aparente, em volt-ampères.

i) Geração Distribuída

Em oposição à geração centralizada, que conta centros de geração de grande porte, porém pouco numerosos, a geração distribuída é caracterizada por diversos pontos de geração de menor porte distribuídos dispersamente dentro do sistema de potência.

Dentro do contexto abordado neste trabalho, a geração distribuída se refere a unidades inferiores a 10 megawatts, conectadas diretamente ao sistema de distribuição, atendendo à definição da Resolução Normativa nº 345 da ANEEL 6.

j) Interrupção

Uma interrupção é um evento de curta duração caracterizado pela perda do fornecimento de tensão elétrica em um ou mais condutores, levando-a a valores inferiores a 0,1 pu. As interrupções são divididas em duas classes:

- Momentâneas, com período de tempo entre 30 ciclos e 3 segundos;
- Temporárias, com período de tempo entre 3 segundos e 1 minuto;
- Sustentadas, com duração superior a 1 minuto.

k) Inversor

O inversor é um dispositivo de eletrônica de potência que converte corrente contínua em corrente alternada na frequência determinada. Atualmente, os inversores empregam modulação PWM (*Pulse Width Modulation*) para fornecer a frequência desejada com distorção harmônica mínima.

l) Regulação de Tensão

Regulação de tensão corresponde ao grau de controle ou estabilidade da tensão elétrica eficaz sobre a carga, geralmente especificada em relação a outros parâmetros, como a tensão de alimentação ou mudanças de carga.

m) Sistema Por Unidade

O sistema por unidade (pu) é amplamente utilizado na análise de sistemas de potência e consiste na representação de diferentes quantidades físicas em frações decimais ou múltiplos de uma quantidade base. Este modelo numérico é especialmente atrativo para a análise de sistemas com diferentes níveis de tensão, pois permite a representação de transformadores e linhas de transmissão como simples impedâncias. A Equação (2.1) representa o valor em pu para uma grandeza genérica.

$$\text{Grandeza em pu} = \frac{\text{valor real da grandeza}}{\text{valor base da grandeza}} \quad (2.1)$$

Para definir completamente um sistema por unidade é necessária a definição das grandezas base, que em geral são tensão e potência. A partir destas, são determinadas as bases de corrente e impedância do sistema.

n) Sobretensão

Uma situação de sobretensão se dá quando o valor medido de tensão é, no mínimo, 10% superior ao seu valor nominal. Este termo é associado aos fenômenos de longa duração, ou seja, maiores que 1 minuto.

o) Subtensão

Analogamente, uma situação de subtensão ocorre quando o valor medido de tensão é, no mínimo, 10% inferior ao valor nominal de tensão. Este termo é igualmente associado aos fenômenos de longa duração.

p) Aterramento

O aterramento refere-se à conexão com o solo, sendo intencional ou não, de um circuito ou equipamento eletrônico, através de um condutor. Esta ligação é utilizada para estabelecer e manter o potencial da terra nos condutores e para a condução de correntes elétricas.

q) Tensão Nominal

A tensão nominal é o valor associado a um circuito ou sistema, responsável por especificar sua classe de tensão.

r) Transiente

Um sistema encontra-se em estado transiente quando ocorre transição entre dois estados estacionários consecutivos, durante um intervalo de tempo considerado curto frente à escala de tempo de interesse. Possui diversas características, podendo ser de caráter oscilatório, unidirecional, impulsivo, entre outros.

s) Variação de Tensão de Curta Duração

Uma variação do valor eficaz de tensão nominal de duração superior a meio ciclo e inferior a um minuto corresponde a uma variação de tensão de curta duração, sendo usualmente utilizada junto a um termo que categoriza a duração do evento, podendo ser de variação instantânea, temporária ou sustentada.

t) Variação de Tensão de Longa Duração

Uma variação do valor eficaz de tensão nominal de duração superior um minuto corresponde a uma variação de tensão de longa duração. Usualmente é utilizada junto a um termo que caracteriza o evento, podendo ser sobretensão, subtensão ou interrupção.

2.2 Distúrbios Relacionados à QEE

Esta seção tem o objetivo de classificar os fenômenos da QEE associados à condução em baixa frequência, os quais são o foco deste trabalho.

2.2.1 Transitórios

Fenômenos transitórios podem ser classificados em duas categorias dentro do estudo de QEE, impulsivos ou oscilatórios. Tais categorias fazem referência à forma de onda assumida pela corrente ou tensão no estágio transiente.

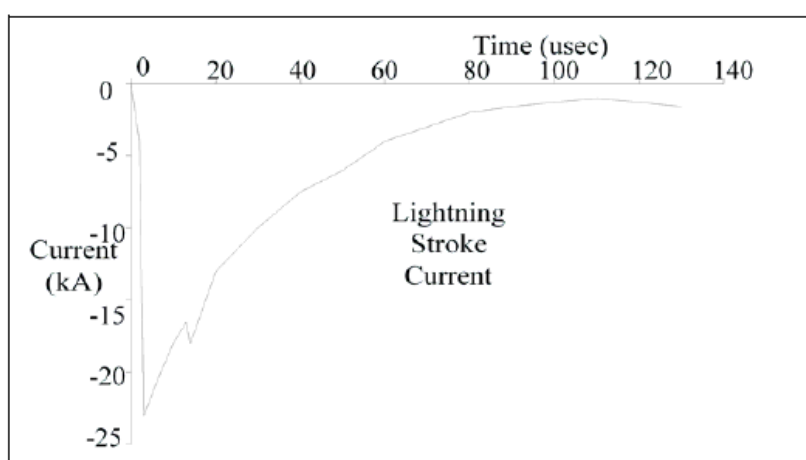
2.2.1.1 Transitório Impulsivo

Um fenômeno transitório impulsivo é uma mudança repentina no estado estacionário da tensão elétrica, da corrente elétrica, ou de ambos, tipicamente caracterizado pelos seus tempos de subida ao valor máximo e decaimento ao valor nominal. Porém, a descrição também pode ser relacionada à análise de seu conteúdo espectral.

Como exemplificado na norma IEEE Standard 1159-2009 (IEEE), um transiente impulsivo descrito como tendo 1,2/50 forma de onda deve caracterizar-se por um tempo de subida com valor máximo de 1,2 microssegundos e tempo de decaimento de 50 microssegundos.

A maioria dos transitórios impulsivos é causada por descargas atmosféricas que atingem o sistema de potência, conforme ilustrado na Figura 1. Devido às altas frequências envolvidas, transientes impulsivos podem causar diferentes impactos de acordo com sua localização no sistema de potência, podendo entrar em ressonância quando em contato com cargas capacitivas e produzir transitórios oscilatórios ou sendo rapidamente amortecidos se em contato com componentes resistivos da rede.

Figura 1 - Corrente resultante de descarga atmosférica que pode resultar em um transiente impulsivo no sistema de potência.



Fonte: IEEE. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009, p. 18.

2.2.1.2 Transitório Oscilatório

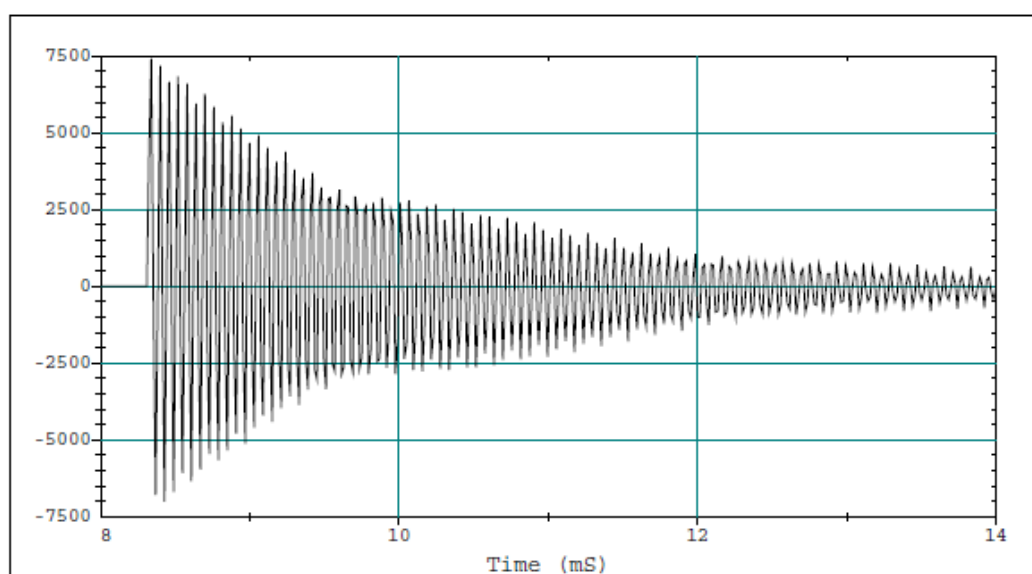
Um transitório oscilatório é uma mudança repentina no estado estacionário da tensão, da corrente ou de ambos, que inclui valores de polaridade negativos e positivos. São descritos pelo seu conteúdo harmônico, predominantemente de frequência, duração e magnitude. Assim como transitórios impulsivos, os transitórios oscilatórios podem ser medidos com ou sem a inclusão da componente de frequência fundamental, sendo sempre importante que a magnitude seja referenciada conforme ambas as situações.

Transitórios oscilatórios são divididos em alta, média e baixa frequência.

Os transitórios oscilatórios de alta frequência possuem a componente primária de frequência superior a 500 kHz e uma duração típica medida em microssegundos, sendo geralmente resultantes da resposta local do sistema a um transitório impulsivo.

Os transitórios oscilatórios de média frequência duram dezenas de microssegundos e possuem a componente primária de frequência entre 5 e 500 kHz. Normalmente são causados pela ocorrência de chaveamento de um banco de capacitores desenergizado nas imediações de um banco capacitivo operante no sistema de potência, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Transiente oscilatório de média frequência causado pelo chaveamento de banco de capacitores.



Fonte: IEEE. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009, p. 19.

Por fim, os transitórios oscilatórios de baixa frequência são aqueles de componente primária de frequência inferior a 5 kHz e duração entre 0,3 e 50 microssegundos, usualmente presentes em redes de distribuição e transmissão em consequência da energização de bancos capacitivos.

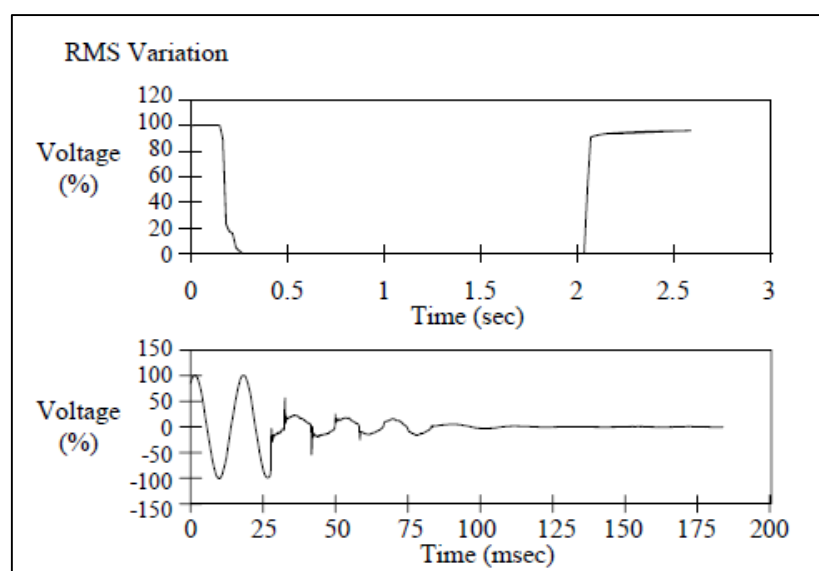
2.2.2 Variações de Curta Duração

Variações de curta duração são resultantes de faltas no sistema de potência, situação em que as cargas têm seu funcionamento interrompido ou prejudicado. As variações de tensão ou de corrente elétrica podem ser classificadas de acordo com sua duração como instantânea, momentânea ou temporária.

2.2.2.1 Interrupções

Interrupções podem ser desencadeadas por faltas no sistema de potência, falha de equipamentos ou mau funcionamento de controladores. A Figura 3 mostra o comportamento da tensão quando da ocorrência de uma interrupção. A severidade de uma interrupção é medida pela sua duração, uma vez que a magnitude de tensão é sempre 10% inferior ao valor nominal, que varia de acordo com o tempo de reestabelecimento do fornecimento, nunca excedendo 1 minuto.

Figura 3 - Interrupção momentânea devido à falta e subsequente reestabelecimento da tensão elétrica.

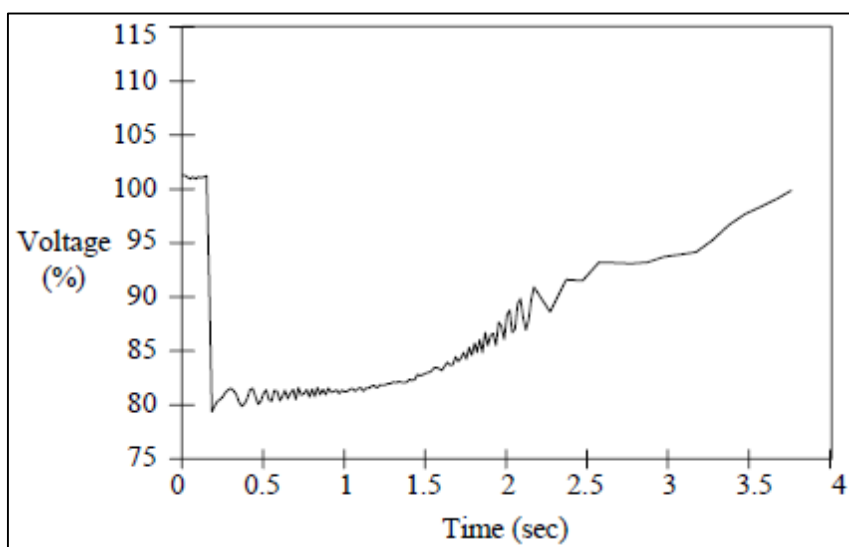


Fonte: IEEE. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009, p. 11.

2.2.2.2 Afundamentos

Os afundamentos são caracterizados pelo decaimento do valor nominal de tensão ou de corrente a um valor entre 0,1 e 0,9 pu. Podem ser associados a faltas, ou energização de grandes cargas. a Figura 4, mostra um afundamento de tensão causado pelo acionamento de um motor de alta potência.

Figura 4 - Afundamento de tensão causado pela partida de um motor.



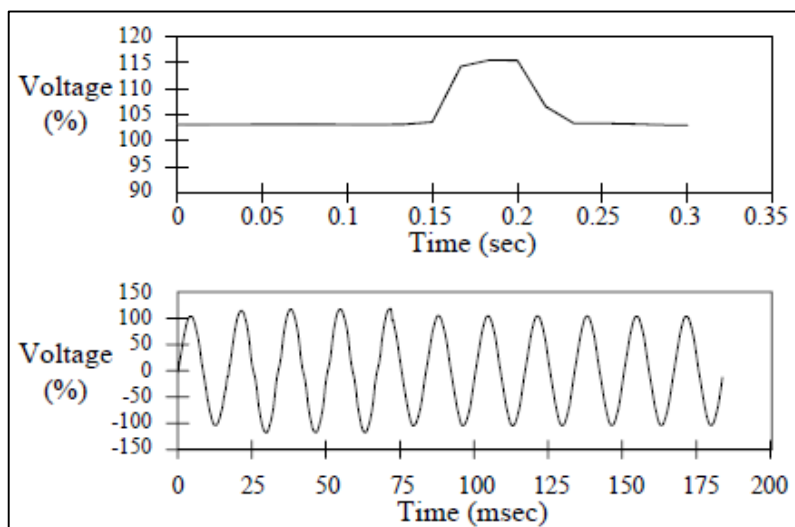
Fonte: IEEE. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009, p. 13.

2.2.1.3 Elevação de Tensão

Elevação de tensão é um aumento do valor eficaz superior a 1,1 pu, com duração de meio ciclo a 1 minuto. As magnitudes típicas se encontram entre 1,1 e 1,2 pu. Assim como o afundamento, a elevação de tensão está associada a condições de falta no sistema de potência, conforme ilustrado na Figura 5, porém, são muito menos frequentes.

Elevações de tensão são classificadas pela sua magnitude e duração, tendo sua severidade alterada em função da localização da falta, impedância do sistema e aterramento.

Figura 5 - Elevação de tensão causada por uma falta Fase-Terra.



Fonte: IEEE. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009, p. 14.

2.2.3 Variações de Longa Duração

Variações de longa duração são desvios no valor eficaz da tensão por um tempo superior a 1 minuto. As variações desta ordem normalmente são resultantes de alterações de carga no sistema de potência, podendo ser identificadas na análise de gráficos da tensão eficaz pelo tempo.

2.2.3.1 Sobretensão

As sobretensões são caracterizadas pelo aumento da tensão eficaz AC igual ou superior a 110% do valor nominal – 1,1 pu –, por um tempo maior que 1 minuto. Sobretensões ocorrem quando o sistema não é suficientemente robusto para a regulação de tensão desejada ou quando os controles de tensão apresentam dimensionamento ou configuração inadequada. Desconexão de cargas no sistema e conexão de bancos capacitivos estão entre as causas comuns de sobretensões em sistemas de potência.

2.2.3.2 Subtensões

Uma subtensão é o decaimento do valor da tensão eficaz a um valor inferior a 0,9 pu por um tempo superior a 1 minuto. Subtensões resultam de eventos opostos aos desencadeadores das sobretensões, como cargas sendo conectadas ao sistema ou bancos de capacitores sendo desconectados.

2.2.3.3 Interrupções Sustentadas

O decaimento da tensão a um valor inferior a 0,1 pu por um período de tempo superior a um minuto é considerado uma interrupção sustentada. Estas ocorrências geralmente são permanentes e necessitam da intervenção humana para reparação do sistema.

2.2.4 Desequilíbrio

O desequilíbrio percentual das tensões pode ser expresso de acordo com (2.2).

$$\%Desbalanceamento = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Onde σ é o desvio máximo em relação \bar{X} , e \bar{X} o valor médio da corrente ou tensão trifásica.

Este fenômeno também é descrito segundo a análise das componentes simétricas, conforme procedimento sugerido no documento IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009.

A principal fonte de pequenos desbalanceamentos, tipicamente inferiores a 2%, são cargas monofásicas em circuitos trifásicos. Anomalias em bancos capacitivos trifásicos, como o rompimento de um fusível em uma única fase ou o uso de reguladores monofásicos também provocam desbalanceamento.

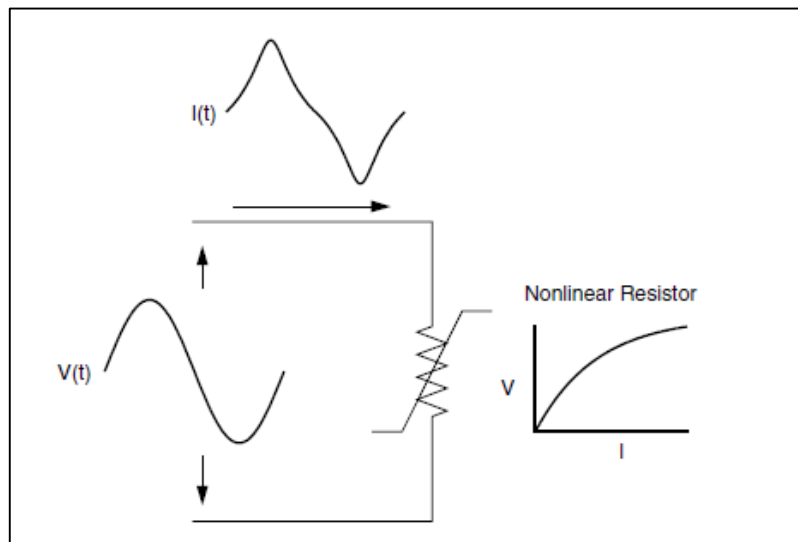
2.2.5 Distorção de Forma de Onda

Formas de onda presentes em frequências múltiplas inteiras da fundamental são consideradas distorções harmônicas da tensão ou da corrente, do sistema de potência. Distorções harmônicas constituem o principal fator de distorção da tensão e da corrente, contudo, segundo Arrillaga & Watson (2003), o crescente conteúdo de inter-harmônicas, vem adicionando importância a este fenômeno.

2.2.5.1 Distorção Harmônica

A distorção harmônica é um fenômeno resultante da conexão de cargas não-lineares ao sistema de potência. Cargas não-lineares são aquelas que apresentam descontinuidades no consumo de corrente e respondem à tensão a qual estão submetidas. A Figura 6 ilustra este conceito de forma simples: através da aplicação de uma corrente linear a um resistor não-linear, podendo-se observar que enquanto a tensão aplicada é perfeitamente sinusoidal, a corrente resultante é distorcida.

Figura 6 - Distorção de corrente causada por um resistor não-linear.



Fonte: DUGAN, R. C. *et. al.* Electrical Power Systems Quality. 1996, p. 169.

A distorção da forma de onda senoidal da corrente ocorre através da adição de harmônicas, que são as componentes múltiplas da frequência fundamental do sistema. A soma destas senoides é chamada Série de Fourier, sendo esta composta pela combinação do seno na frequência fundamental de 60 Hz, adicionada às diversas harmônicas múltiplas da fundamental. O conjunto de todas as distorções harmônicas, ponderados pela fundamental equivale à distorção harmônica total (DHT), um parâmetro importante no estudo da QEE, podendo ser expresso de acordo com (2.3).

$$DHT\% = \frac{\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + \dots + a_N^2}}{a_1} \times 100 \quad (2.3)$$

Onde a_1 e a_N são os níveis harmônicos e a_1 é o nível fundamental.

A partir disso, é possível escrever a distorção harmônica total em função do valor eficaz dos harmônicos considerados, dividido pelo valor fundamental, conforme (2.4).

$$DHT = \frac{e_H}{e_F} \quad (2.4)$$

Correntes harmônicas causam aquecimento de transformadores, cabos e motores, mau funcionamento de relés, entre outros problemas.

Tensões harmônicas são resultantes da interação de correntes harmônicas com as impedâncias do sistema de potência, e, por sua vez, causam aumento das perdas de núcleo em transformadores e mau funcionamento de equipamentos eletrônicos.

2.2.5.2 Inter-Harmônicas

Segundo a Teoria de Fourier, qualquer forma de onda periódica pode ser decomposta em componentes harmônicas e reescrita como uma soma de senos e cossenos com diferentes frequências e amplitudes. Uma componente harmônica periódica é descrita segundo a Equação (2.5), aonde h é um número inteiro positivo que representa a ordem harmônica, e f_0 a frequência fundamental.

$$f_h = hf_0 \quad (2.5)$$

No entanto, a soma de funções periódicas de diferentes amplitudes, porém frequências que não sejam múltiplos inteiros da fundamental não resultam obrigatoriamente em uma função periódica. Esse múltiplo não-inteiro, localizado entre duas frequências harmônicas, é conhecido como frequência inter-harmônica.

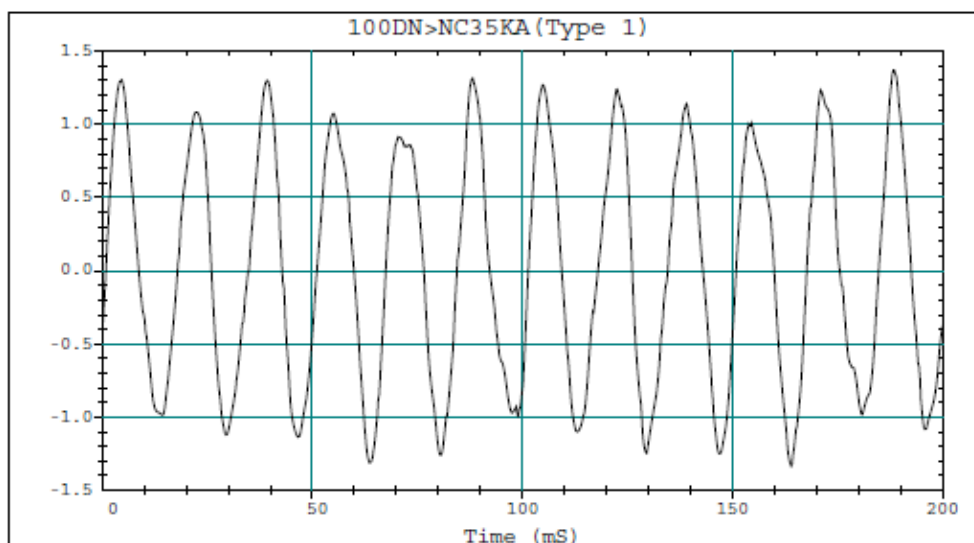
Os impactos causados ao sistema de potência devido às inter-harmônicas são semelhantes aos motivados pela distorção harmônica como aquecimento, saturação de filtros, interferência nas redes de transmissão, flutuação de voltagem, entre outros. Contudo, a mitigação do fenômeno é mais complexa, uma vez que seu comportamento é não-periódico. Uma vez que frequências inter-harmônicas podem assumir qualquer valor, uma forma de onda de 10 ou 12 ciclos deve ser utilizada para atingir uma resolução que permita a visualização do fenômeno.

2.6 Flutuação de Tensão

Flutuação de tensão consiste na variação, contínua ou aleatória, dos valores de tensão, perceptível ao olho humano através da mudança da intensidade luminosa das lâmpadas. Os valores de tensão normalmente se encontram entre 0,95 e 1,05 pu, segundo especifica a ANSI C84.1 – 2006 [B2][15].

Flutuação de tensão é um fenômeno eletromagnético, resultante da rápida variação de magnitude da corrente em cargas de comportamento cíclico. Fornos a arco são a causa mais comum das flutuações de tensão inseridas nas redes de transmissão e distribuição, um exemplo da forma de onda produzida por este tipo de forno é mostrada na Figura 7.

Figura 7 - Flutuação de tensão causada pela operação de um forno a arco.



Fonte: IEEE. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009, p. 22.

2.7 Variação de Frequência

Qualquer desvio de frequência em relação ao valor fundamental de operação do sistema, 60 Hz, é denominado variação de frequência.

A frequência de operação do sistema é diretamente relacionada à rotação dos geradores que o alimentam. Pequenas variações de frequência estão associadas ao balanço dinâmico entre as mudanças de carga e geração no sistema de potência que ocorrem constantemente. Variações de frequência que ultrapassam os limites aceitáveis para operação estacionária do sistema de potência podem ser causadas por faltas, desconexão de grandes cargas ou interrupção de geradores.

2.8 Sumário dos Distúrbios da QEE

A Tabela 1 apresenta um sumário dos distúrbios da QEE descritos neste capítulo, incluindo suas classificações, intervalos de tempo e as faixas de variação associadas.

Tabela 1 - Categorias e características típicas dos fenômenos eletromagnéticos em sistemas de potência.

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
1.0 Transitórios			
1.1 Impulsivos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns (tempo de subida)	< 50ns	
1.1.2 Microsegundos	1 μ s (tempo de subida)	50ns – 1ms	
1.1.3 Milissegundos	0,1 ms (tempo de subida)	>1ms	
1.2 Oscilatórios			
1.2.1 Baixa frequência	< 5 kHz	0,3 – 50ms	0 – 4 pu*
1.2.2 Média frequência	5 – 500 kHz	20 μ s	0 – 8 pu
1.2.3 Alta frequência	0,5 – 5 MHz	5 μ s	0 – 4 pu
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantâneas			
2.1.2 Afundamentos de tensão		0,5 – 30 ciclos	0,1 – 0,9 pu
2.1.2 Saltos de tensão		0,5 – 30 ciclos	1,1 – 1,8 pu
2.2 Momentâneas			
2.2.1 Interrupção		0,5 ciclos – 3s	< 0,1 pu
2.2.2 Afundamentos de tensão		30 ciclos – 3s	0,1 – 0,9 pu
2.2.3 Saltos de tensão		30 ciclos – 3s	1,1 – 1,2 pu
2.3 Temporárias			
2.3.1 Interrupção		3s – 1min	< 0,1 pu
2.3.2 Afundamentos de tensão		3s – 1min	0,1 – 0,9 pu
2.3.3 Saltos de tensão		3s – 1min	1,1 – 1,4 pu
3.0 Variações de longa duração			
3.1 Interrupção sustentada		>1min	0,0 pu
3.2 Subtensões		>1min	0,8 – 0,9 pu
3.3 Sobretensões		>1min	1,1 – 1,2 pu
4.0 Desbalanceamento			
4.1 Tensão		Regime Permanente	0,5 – 2 %
4.2 Corrente		Regime Permanente	1 – 30 %
5.0 Distorção de forma de onda			
5.1 Componente CC (<i>dc offset</i>)		Regime Permanente	0 – 0,1 %
5.2 Harmônicos	0 – 9 kHz	Regime Permanente	0 – 20 %
5.3 Inter harmônicos	0 – 9 kHz	Regime Permanente	0 – 2 %
5.4 Corte (<i>notching</i>)		Regime Permanente	
5.5 Ruído	Largura de banda	Regime Permanente	0 – 1 %
6.0 Flutuação de tensão	< 25 Hz	Intermitente	0,1 – 7 %
7.0 Variação de frequência		< 10 s	\pm 0,1 Hz

Fonte: IEEE STANDARDS BOARD. “IEEE Std 1159 - 2009 - Recommended Practice For Monitoring Electric Power Quality”, EUA, 2009.

3 PRODIST

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST são documentos compostos por um agrupamento de procedimentos e normas para o setor de distribuição de energia elétrica.

Dividido em oito módulos, o PRODIST constitui os padrões das atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição. Para tanto, o documento de teor regulatório, doutrina a operação, a medição, as perdas técnicas, a qualidade de energia, o planejamento de expansão e as condições relativas à conexão através de procedimentos e indicadores.

Esta dissertação faz uso do Módulo 8, do PRODIST como ferramenta para a comparação da QEE em uma área rural antes e depois da instalação de uma microgeração solar fotovoltaica.

3.1 Módulo 8

Formado por quatro seções, o Módulo 8, do PRODIST apresenta as disposições relativas à QEE, abordando a qualidade do serviço oferecido pelas distribuidoras e a qualidade da energia elétrica enquanto produto. Conceitos e parâmetros, juntamente com os mecanismos de formação para indicadores de qualidade utilizados pela ANEEL, são apresentados neste módulo.

Conforme Mattar (2010), o Módulo 8 foi responsável pela introdução de inovações relativas aos indicadores de aspectos relativos a perturbações na forma de onda de tensão, tais como distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variações de tensão de curta duração, além dos tópicos técnicos já consolidados na regulação de tensão, como fator de potência e tensão em regime permanente.

Uma vez que o objetivo deste trabalho é a análise da QEE, utiliza-se a Seção 8.1, referente à qualidade do produto energia elétrica, como base para os procedimentos aplicados.

3.1.1 Qualidade do Produto

A Seção 8.1 tem como objetivo caracterizar os fenômenos de QEE, estabelecendo os critérios de amostragem, os valores de referência e os procedimentos relativos à qualidade do produto energia elétrica.

A seguir, são descritos os aspectos considerados na avaliação da qualidade do produto em regime permanente ou transitório, bem como seus métodos de avaliação.

a) Tensão em Regime Permanente;

A tensão em regime permanente deve ser acompanhada em todo o sistema de distribuição, sendo responsabilidade da distribuidora dispor de recursos e técnicas modernas para tal. A conformidade de tensão deve ser avaliada nos pontos de conexão à Rede de Distribuição, de conexão entre distribuidoras e de conexão com unidades consumidoras, este último sendo o caso analisado por este trabalho.

Os equipamentos utilizados na medição da tensão em regime permanente devem possuir taxa amostral de 16 amostras/ciclo, conversor A/D de sinal de tensão com 12 bits e precisão de até 1% do valor de leitura. A medição deve corresponder ao tipo de ligação da unidade consumidora avaliada, no caso específico uma ligação monofásica entre fase e neutro. Os equipamentos de medição também devem permitir a apuração das seguintes informações: valores calculados dos indicadores individuais, tabela de medições e histograma de tensão.

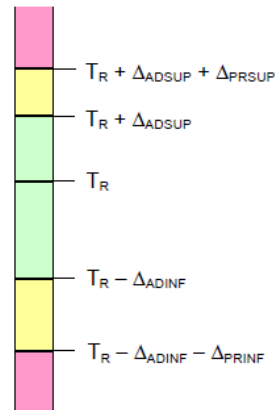
O critério de expurgo no conjunto de leituras prevê que na existência de registro de valores referentes à interrupção de energia elétrica, afundamentos ou elevações momentâneas de tensão, o intervalo de medição de 10 minutos deverá ser expurgado e substituído por igual número de medidas válidas.

Valores de Referência:

Os valores de tensão obtidos por medições devem ser comparados à tensão de referência, sendo esta a tensão nominal ou contratada, de acordo com o nível de tensão do ponto de conexão. A tensão contratada pelo acessante atendido em tensão igual ou inferior a 1 kW deve ser a tensão nominal do sistema.

Conforme ilustrado na Figura 8, para cada tensão de referência existem três categorias: adequada (em verde), precária superior e inferior (em amarelo) ou crítica superior e inferior (em rosa), que fazem uso do afastamento da tensão lida em relação ao valor da tensão de referência como parâmetro para caracterização da qualidade da tensão fornecida.

Figura 8 - Faixas de tensão em relação à tensão de referência.



Fonte: PRODIST Módulo 8. p. 9.

A Tabela 2 fornece a faixa de classificação de tensões em regime permanente para o ponto de conexão analisado.

Tabela 2 - Limites de tensões de fase para pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (380/220).

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$202 \leq TL \leq 231$
Precária	$191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233$
Crítica	$TL < 191$ ou $TL > 233$

Indicadores Individuais:

Os indicadores individuais são compostos com base em registros de 1008 leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de integralização) de 10 minutos cada. O conjunto de leituras deve ser armazenado pela concessionária por no mínimo 5 anos, inclusive os intervalos correspondentes às leituras expurgadas, para efeito de fiscalização. Os valores

eficazes são calculados com base nas amostras coletadas em janelas sucessivas, compostas por uma janela de 12 ciclos (0,2 segundos) a 15 ciclos (0,25 segundos).

Após a obtenção do conjunto de leituras válidas, devem ser calculados os índices de Duração Relativa da Transgressão para Tensão Precária (DRP) e para Tensão Crítica (DRC) de acordo com as Equações (3.1) e (3.2).

$$DRP = \frac{npl}{1008} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$DRC = \frac npc}{1008} \times 100\% \quad (3.2)$$

Onde npl e npc são os maiores valores medidos entre as fases dentro do intervalo de leituras situadas nas faixas precária e crítica, respectivamente.

A Tabela 3 apresenta os valores limites estabelecidos para a duração relativa da transgressão máxima de tensão precária, DRP_M , e para a duração relativa da transgressão máxima de tensão crítica, DRC_M .

Tabela 3 - Estabelecimento dos limites para os indicadores de transgressão de tensão.

Indicador	Limite
DRP_M	5%
DRC_M	0,5%

Indicadores Coletivos:

Indicadores coletivos não serão abordados, uma vez que dizem respeito à monitoração de medidas de conjuntos consumidores, compostos por diversas unidades consumidoras.

b) Fator de Potência;

A aquisição dos valores dos reativos deve ser efetuada por instrumentos de medição adequados, preferencialmente eletrônicos, empregando o princípio da amostragem digital e aprovados pelo órgão INMETRO. O controle do fator de potência deve ser efetuado por

medição individual permanente e facultativa nos casos de unidades consumidoras do grupo B com instalações conectadas pelo Sistema de Distribuição de Baixa Tensão.

O valor do fator de potência deve ser calculado segundo a Equação (3.3), a partir dos valores registrados das potências ativa (P) e reativa (Q) ou das respectivas energias (EA, ER).

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (3.3)$$

Valores de Referência:

O FP de deslocamento de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido o valor de 0,92, indutivo ou capacitivo, para as unidades consumidoras ou conexão entre distribuidoras conectadas em níveis de tensão iguais ou inferiores a 230 kV.

c) Harmônicos;

O sistema de medição aplicado deve armazenar os dados de monitoração de maneira a atender a capacidade de armazenamento definida pela ANEEL e permitir que as informações coletadas possam ser processadas por meio de recurso computacional. Para sistemas elétricos trifásicos, as medições de distorção harmônica devem ser realizadas através das tensões de fase-neutro, para sistemas estrela aterrada, e fase-fase nos demais casos.

O espectro harmônico a ser considerado deve compreender uma faixa de frequências mínima de 25 componentes (H25), iniciando pela frequência fundamental.

Valores de Referência:

Os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados na Tabela 4. Os valores servem como referência para o planejamento elétrico em termos de QEE.

Tabela 4 - Valores de referência globais das distorções harmônicas totais (em porcentagem da tensão fundamental).

Tensão Nominal do Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]
$V_N \leq 1 \text{ kV}$	10
$1 \text{ kV} < V_N \leq 13,8 \text{ kV}$	8
$13,8 \text{ kV} < V_N \leq 69 \text{ kV}$	6
$69 \text{ kV} < V_N \leq 230 \text{ kV}$	3

Os valores das distorções harmônicas individuais, indicados na Tabela 5, também devem ser obedecidos.

Tabela 5 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental) para $V_N \leq 1 \text{ kV}$.

Categoria das Harmônicas	Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5
	7	6,5
	11	4,5
	13	4,0
	17	2,5
	19	2,0
	23	2,0
	25	2,0
	> 25	1,5
Ímpares múltiplas de 3	3	6,5
	9	2,0
	15	1,0
	21	1,0
	> 21	1,0
Pares	2	2,5
	4	1,5
	6	1,0
	8	1,0
	10	1,0
	12	1,0
	> 12	1,0

d) Desequilíbrio de Tensão;

O sistema de medição aplicado deve armazenar os dados de monitoração de maneira a atender a capacidade de armazenamento definida pela ANEEL e permitir que as informações

coletadas possam ser processadas por meio de recurso computacional. O desequilíbrio de tensão é associado a alterações dos padrões trifásicos do sistema de distribuição.

Uma vez que o ponto de análise tem ligação monofásica, este trabalho não faz análise do fenômeno de desequilíbrio de tensão.

e) Flutuação de Tensão;

Para a obtenção dos níveis de severidade de cintilação, associados à flutuação de tensão, o PRODIST utiliza os procedimentos estabelecidos no documento *IEEE Recommended Practice — Adoption of IEC 61000-4-15:2010*, [16]. Uma vez que para a realização da medição de níveis de flutuação é necessário um aparelho denominado *flickermeter*, que analisa a sensação de cintilação através da reprodução da flutuação em um modelo, este trabalho não aborda a influência da instalação do sistema de geração fotovoltaico neste aspecto da QEE.

f) Variação de Tensão de Curta Duração;

A variação de tensão de curta duração é medida entre a fase e o neutro de determinado barramento do sistema de distribuição, além da duração e amplitude da medida, outro dado que caracteriza o fenômeno é a frequência de ocorrência, que diz respeito à quantidade de vezes que cada combinação dos parâmetros, amplitude e duração, ocorreram durante determinado período de tempo de monitoração.

O indicador utilizado para a quantificação do desempenho do barramento analisado corresponde ao número de eventos, agrupados por faixas de amplitude e de duração, discretizados conforme um critério estabelecido a partir do levantamento de medições. Eventos fase-neutro momentâneos, em sistemas trifásicos, são agregados compondo um único evento (agregação de fases), de duração definida pelo intervalo de tempo decorrido entre o instante que a primeira medição fase-neutro transpõe o limite de tensão até o instante em que o último dos eventos fase-neutro retorna ao limite. Eventos consecutivos, em um período de até três minutos, em um mesmo ponto, são agregados em um único evento (agregação temporal), o afundamento ou elevação de tensão que representa o intervalo de três minutos é o de menor ou maior amplitude, respectivamente.

Os fenômenos de afundamento e elevação de tensão não possuem padrões de desempenho especificados pelo Módulo. Contudo, as distribuidoras devem acompanhar e

disponibilizar, através de bases anuais, o desempenho das suas barras de distribuição. Este trabalho não abrange a análise de variações de tensão de curta duração.

g) Variação de Frequência.

Os instrumentos utilizados na medição da variação de frequência não são especificados pelo Módulo 8.

Valores de Referência:

O sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas nele devem operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz para condições normais de operação e em regime permanente. As instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir um tempo de retorno para a faixa de operação inferior a 30 segundos na ocorrência de distúrbios.

Existindo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência não deverá exceder os limites para condições extremas, sendo estes de 56,5 Hz e de 66 Hz. A frequência pode permanecer em valores acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos, acima de 63,5 Hz ou abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 0,5 segundos.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do Cenário de Estudo

Dada a motivação deste trabalho, a execução deste estudo foi possibilitada a partir da oportunidade de intervir no projeto e na implantação de um sistema de microgeração solar fotovoltaica em uma residência da área rural de Montenegro, Rio Grande do Sul.

O projeto envolveu três principais etapas, iniciando com o dimensionamento do sistema de geração e elaboração do projeto, a formulação e entrega pedido de solicitação de acesso junto à cooperativa CERTAJA, responsável pela distribuição no local, e, por fim, a implantação do sistema.

4.2 Projeto do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento do sistema de geração foi realizado através da análise do perfil de consumo da residência, tomando como base o consumo médio do histórico de faturas dos últimos 12 meses e com o uso do *software* PVsyst, da PVsyst SA.

O PVsyst é um programa computacional de apoio à elaboração de sistemas de geração fotovoltaica, que possibilita a análise de configurações alternativas, oferecendo ferramentas que auxiliam a otimizar as escolhas de projeto. Para tanto, os dados a seguir devem ser fornecidos ao programa: localização geográfica em latitude e longitude, potência desejada para o sistema e os modelos das placas solares e dos inversores a serem utilizados, desde que constem no banco de dados do programa. A Figura 9 apresenta a tela onde estes dados são inseridos.

Figura 9 - Tela de inserção dos dados do projeto.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-fields

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	7	Nominal PV Power	1.8 kWp
Module area	11 m ²	Maximum PV Power	1.7 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	1.6 kWac

Homogeneous System

Presizing Help

No Sizing Enter planned power kWp, ... or available area m²

Select the PV module

Sort modules: Power Technology Manufacturer

250 Wp 26V Si-poly SYP250P Risen Energy Co., Ltd. Manufacturer 20' Open

Approx. needed modules: 7 Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 26.2 V
V_{oc} (-5°C) 40.9 V

Select the inverter

Sort inverters by: Power Voltage (max) Manufacturer

1.6 kW 120 - 450 V 50/60Hz Growatt 1500TL Growatt New Energy Co., Ltd. Open

Nb. of inverters: 1 Operating Voltage: 120-450 V Global Inverter's power: 1.6 kWac
Input maximum voltage: 450 V

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 7 should be between 5 and 11

Nbre strings: 1 only possibility 1

Overload loss: 0.0 % Show sizing

Phom ratio: 1.09

Nb. modules: 7 Area: 11 m²

Operating conditions

V _{mpp} (60°C)	183 V
V _{mpp} (20°C)	218 V
V _{oc} (-5°C)	286 V

Plane irradiance: 1000 W/m² Max. in data STC

I _{mpp} (STC)	8.2 A	Max. operating power	1.6 kW
I _{sc} (STC)	9.0 A	at 1000 W/m ² and 50°C	
I _{sc} (at STC)	8.9 A	Array nom. Power (STC)	1.8 kWp

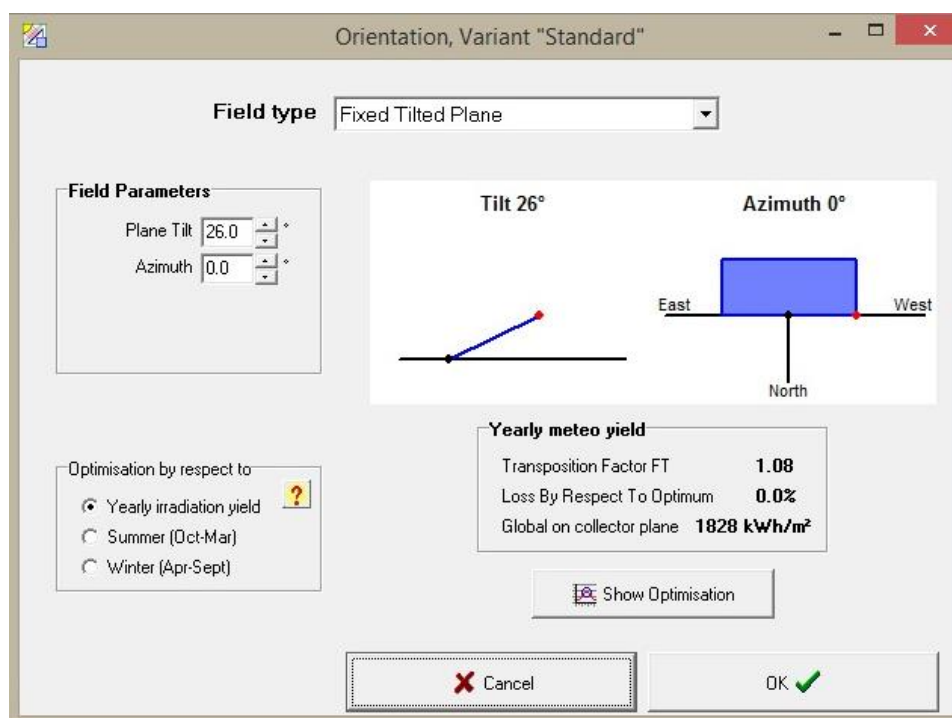
User's needs Detailed losses Cancel OK

Fonte: Programa PVsyst versão 5.5.

Também é possível inserir manualmente no banco de dados do PVsyst, para posterior utilização, modelos de placas solares e inversores com suas respectivas características e parâmetros obtidos nos seus *datasheets*.

De maneira complementar, o PVsyst possibilita que a orientação e angulação da instalação dos painéis seja configurada, sendo que estes fatores influenciam no aproveitamento do rendimento dos painéis fotovoltaicos. Este menu está representado na Figura 10.

Figura 10 - Tela de escolha da angulação e posicionamento dos painéis fotovoltaicos.



Fonte: Programa PVsyst versão 5.5.

Após a inserção dos parâmetros, o PVsyst realiza uma simulação da capacidade de geração de energia elétrica anual do sistema, com base nos dados de insolação no ponto de interesse, disponibilizando escolha da fonte de consulta destes dados. Ao fim deste processo, optou-se por uma potência de geração de 1,75 kW, compatível o consumo histórico da residência.

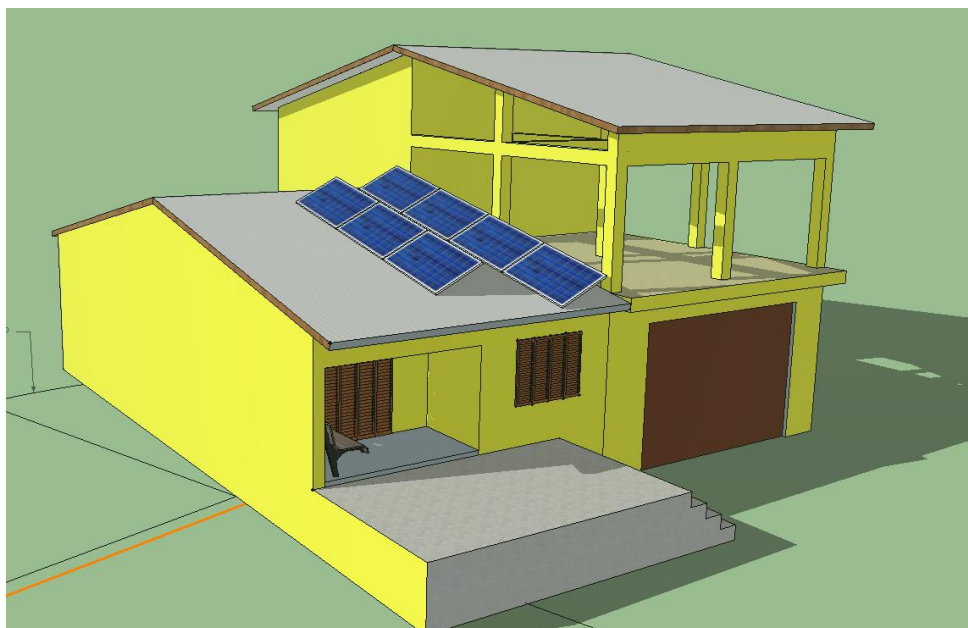
A Tabela 6 contém a relação dos equipamentos utilizados para a construção do sistema de geração fotovoltaico, os respectivos *datasheets* podem ser encontrados no Anexo A.

Tabela 6 - Relação dos equipamentos utilizados.

Quantidade	Equipamento	Potência (un.)
7	Módulo SF-P660250 - Shinefar	250 Wp
1	Inversor Growatt 1500 - Growatt	1,5 kW

A angulação de instalação escolhida para os painéis foi de 26° em relação à horizontal, direcionados para o norte geográfico, conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Ilustrativo da instalação dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Cedido por Sevenia Inovação em Energia.

A próxima etapa do projeto consistiu no envio dos documentos à CERTAJA, segundo o documento de orientação técnica de acesso de micro e minigeração com fontes renováveis e cogeração qualificada ao sistema de distribuição 15. Para esta etapa, o memorial descritivo e o projeto elétrico foram elaborados no software AutoCAD, os quais podem ser encontrados no Apêndice A.

Por fim, uma vez recebida a permissão de acesso à rede de distribuição, o sistema foi então implantado e conectado à rede.

4.3 Aquisição de Dados

Os conjuntos de leituras foram adquiridos pelo analisador e registrador portátil de energia PowerNET P600 da empresa IMS [17], mostrado na Figura 12. Dentre suas aplicações, destacam-se a análise do comportamento de redes elétricas e identificação de distúrbios de tensão e corrente, de acordo com os padrões estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST.

Figura 12 - Imagem do PowerNET P600.



Fonte: IMS, 2015.[17]

O PowerNET P600 G4 é um analisador e registrador portátil de grandezas elétricas, que possibilita a realização de medidas em sistemas de distribuição de energia elétrica. Com capacidade de memória de 16MB, o P600 pode ser usado para a aquisição de valores instantâneos, agregados e estatísticos das principais grandezas elétricas utilizadas no monitoramento da qualidade de energia elétrica. A Tabela 7 apresenta as grandezas e suas respectivas unidades que podem ser medidas e registradas pelo equipamento.

Tabela 7 - Grandezas medidas/registradas pelo PowerNET P600 G4.

Grandeza	Unidade
Tensão por fase e média	V
Tensões máximas e mínimas	V
Corrente por fase e média	A
Correntes máximas e mínimas	A
Corrente de Neutro	A
Fator de Potência por fase e médio	-
Fatores de Potência máximos e mínimos	-
Consumo Ativo e Reativo Trifásico	-
Demanda Ativa e Reativa Trifásica	-
Energia Direta e Reversa	-
Potência Ativa Instantânea por fase e média	W
Potência Reativa Instantânea por fase e média	vAR
Potência Aparente Instantânea por fase e média	VA
Frequência da fase de referência	Hz
THD de Tensão e de Corrente	%
Harmônicas Pares de Tensão e Corrente até 40º ordem	%
Harmônicas Impares de Tensão e Corrente até a 41º ordem	%

O equipamento atende a norma internacional IEC 61000-4-7, para a medição de harmônicas, e a norma nacional de medidas de Qualidade de Energia Elétrica do PRODIST, Módulo 8. A Tabela 8 apresenta características de amostragem digital estabelecidas pela norma nacional em comparação com o analisador.

Tabela 8 - Características de amostragem digital.

Característica	PRODIST	P600
Amostras por Ciclo	16	24
Conversor A/D	12 bits	16 bits
Precisão da Tensão	$\pm 1\%$ da medida	$\pm 0,2\%$ da medida
Período de Integralização	10 minutos	Programável

Embora o PowerNET P600 não analise flutuação de tensão (flicker), seus dados possibilitam a realização de estudos de eficiência energética, levantamento de curva de cargas, balanceamento de redes, verificação de distúrbios de tensão e corrente, dimensionamento de bancos de capacitores, filtros de harmônicas, medição setorial e diagnóstico de sistema de potência. O catálogo técnico do PowerNET P600 G4 pode ser encontrado no Anexo B.

A aquisição de medidas foi dividida em dois momentos distintos: o primeiro registro deu-se anteriormente à conexão da microgeração fotovoltaica e o segundo, após a sua instalação. O ponto de instalação do medidor, para ambas as medições, estava localizado no ramal de entrada de energia elétrica, entre o painel de medição da concessionária e a caixa de distribuição da residência, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Instalação do analisador no ponto de aquisição dos dados.

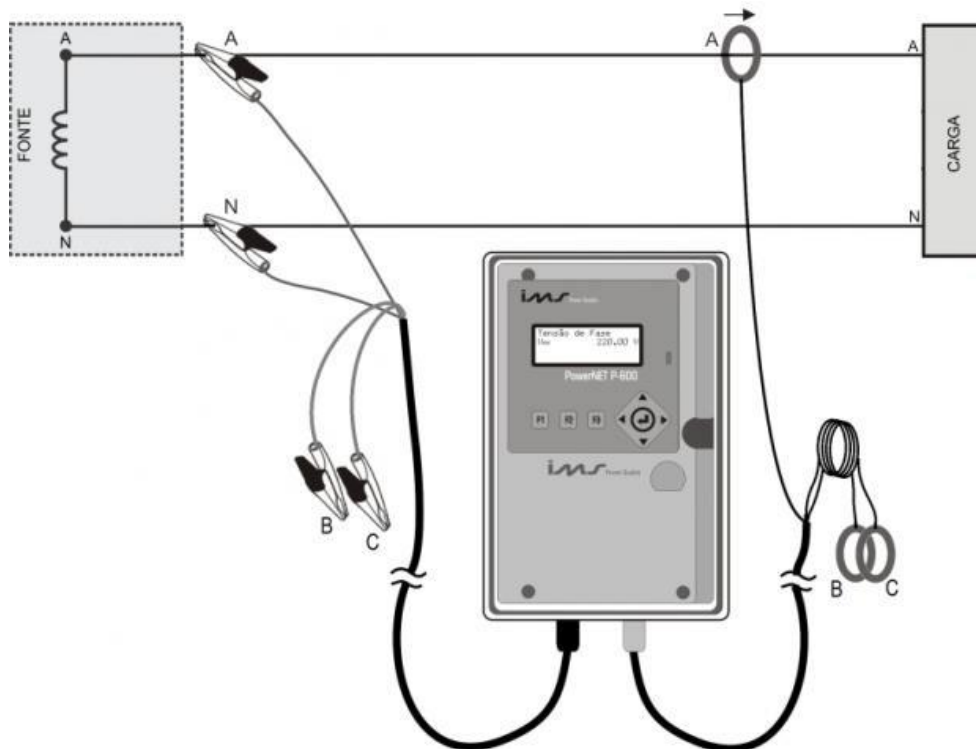


Fonte: Da autora, 2015

O equipamento conta com três alicates rígidos, TC de núcleo FeSi com isolamento galvânica, para medição de correntes entre 1 mA e 10 A e realiza medições de tensão através de pinças de medição de tensão elétrica do tipo jacaré com condicionamento de sinal através

de resistores de alta impedância e amplificador operacional. A Figura 14 ilustra a conexão realizada. Em comparação com a Figura 13, pode-se constatar que a medição monofásica foi replicada para os três alicates de tensão e corrente elétrica, essa decisão foi tomada para evitar possíveis falhas em alguma das entradas do aparelho.

Figura 14 - Esquemático da ligação do PowerNET P600 para um circuito monofásico (fase-neutro).



Fonte: Catálogo técnico PowerNET P600, Anexo B.

As medidas foram adquiridas durante dois períodos de sete dias, com tempo de integralização de 10 minutos, totalizando 1008 amostras para cada situação, conforme as especificações do Módulo 8 do PRODIST.

4.4 Resultados

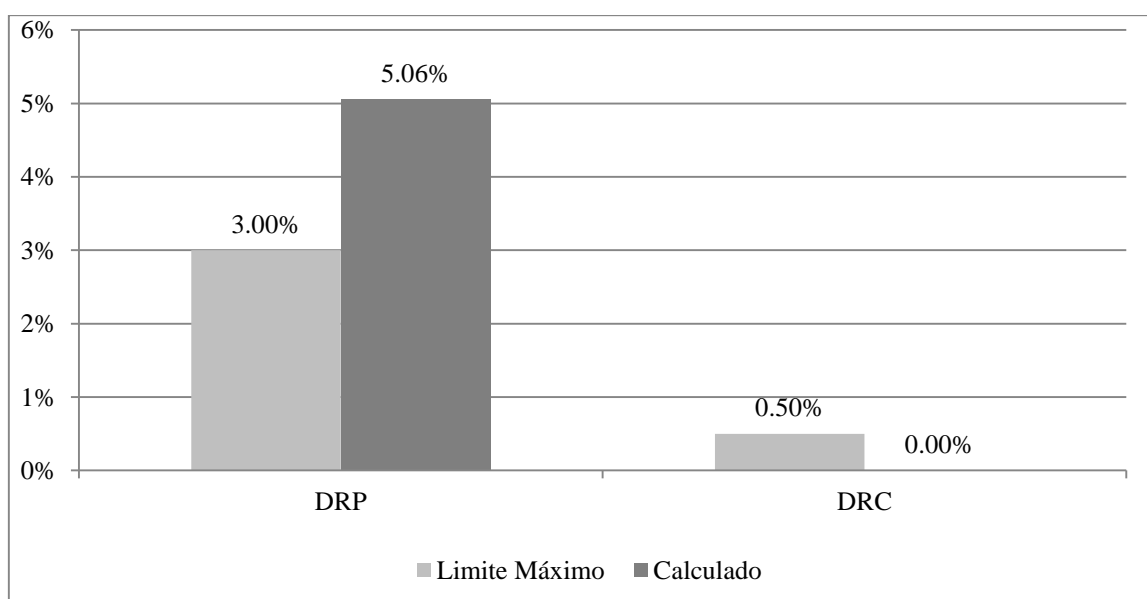
Esta seção apresenta os resultados obtidos da análise dos dados adquiridos em dois momentos, sendo o primeiro anterior à instalação do sistema de geração fotovoltaico e o segundo, posterior à sua implantação. Por simplicidade os períodos anterior – de 06/08/2015 a 12/08/2015 – e posterior – de 18/11 a 24/11/15 – à instalação do sistema de geração serão referidos ao longo do texto como Cenário I e II. A metodologia foi aplicada com base nos procedimentos descritos no PRODIST.

Foram avaliados os indicadores DRP e DRC (Duração Relativa da Transgressão para Tensão Precária e para Tensão Crítica) e flutuação de tensão nos dois cenários, a fim de comparar os níveis de tensão entregues pela concessionária e os gerados pela integração do sistema fotovoltaico. Com isso, deseja-se avaliar se a implementação deste sistema trouxe benefícios na qualidade da tensão elétrica consumida.

Analogamente, são comparadas as medidas da variação de frequência, fator de potência e conteúdo harmônico, para avaliar se o novo sistema oferece energia elétrica de maior qualidade em comparação à concessionária.

A Figura 15 ilustra os índices DRP e DRC que foram calculados conforme descrito no item 3.1.1, bem como seus valores máximos estabelecidos em [3].

Figura 15 - Índices DRP e DRC calculados a partir dos valores medidos para o Cenário I.

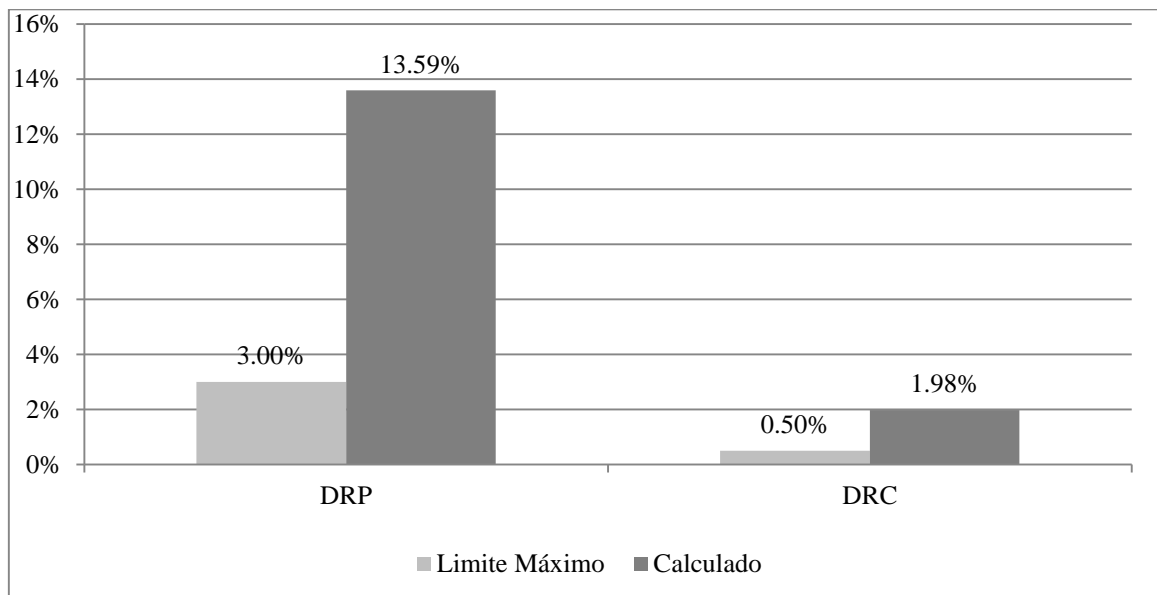


Na Figura 15, correspondente ao Cenário I, é possível observar que a tensão fornecida à residência pela distribuidora ultrapassa o limite do índice de transgressão máxima de tensão precária, DRP_M , estabelecido em 3% pela ANEEL, [3], pois apresenta um valor de 5,06%.

Todavia, é respeitado o limite de 0,50% estabelecido para o DRC durante o período de observação, não tendo sido verificada nenhuma ocorrência de tensão no intervalo crítico.

De modo a estabelecer a comparação, a Figura 16 apresenta os valores obtidos de DRP e DRC após a instalação do sistema fotovoltaico, comparados com seus respectivos limites estabelecidos, [3].

Figura 16 - Índices DRP e DRC calculados com os valores medidos para o Cenário II.

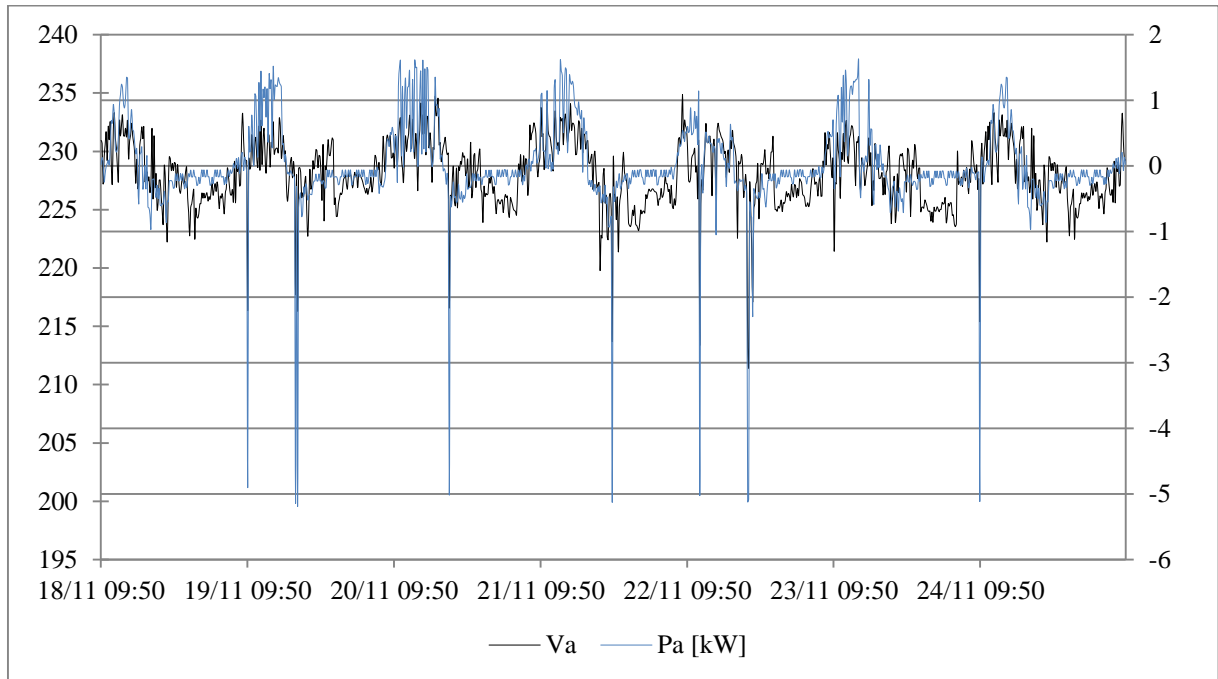


É possível observar na Figura 16 que a tensão elétrica fornecida pelo conjunto distribuidora-microsistema ultrapassa o limite estabelecido para o índice DRP de maneira mais expressiva em comparação à verificação anterior, atingindo o valor de 13,59%. Diferentemente do que foi medido anteriormente, o limite estabelecido para o índice DRC foi superado neste conjunto de medidas, resultando em 1,98%.

Deste modo, é possível inferir que a instalação do sistema impactou de forma negativa a transgressão dos valores de tensão, causando aumento em ambos os valores calculados para os referidos índices. A Figura 17 demonstra a correlação deste aumento nos valores calculados para os índices e a inserção da geração. O gráfico ilustra em a potência consumida,

valores negativos de P, e gerada, valores positivos de P, pela residência e o comportamento da tensão após a inserção da geração. É interessante observar que a tensão medida nos instantes em que a potência tem valores positivos provém da geração própria, enquanto nos momentos em que a potência assume valores negativos a tensão é fornecida pela rede da concessionária.

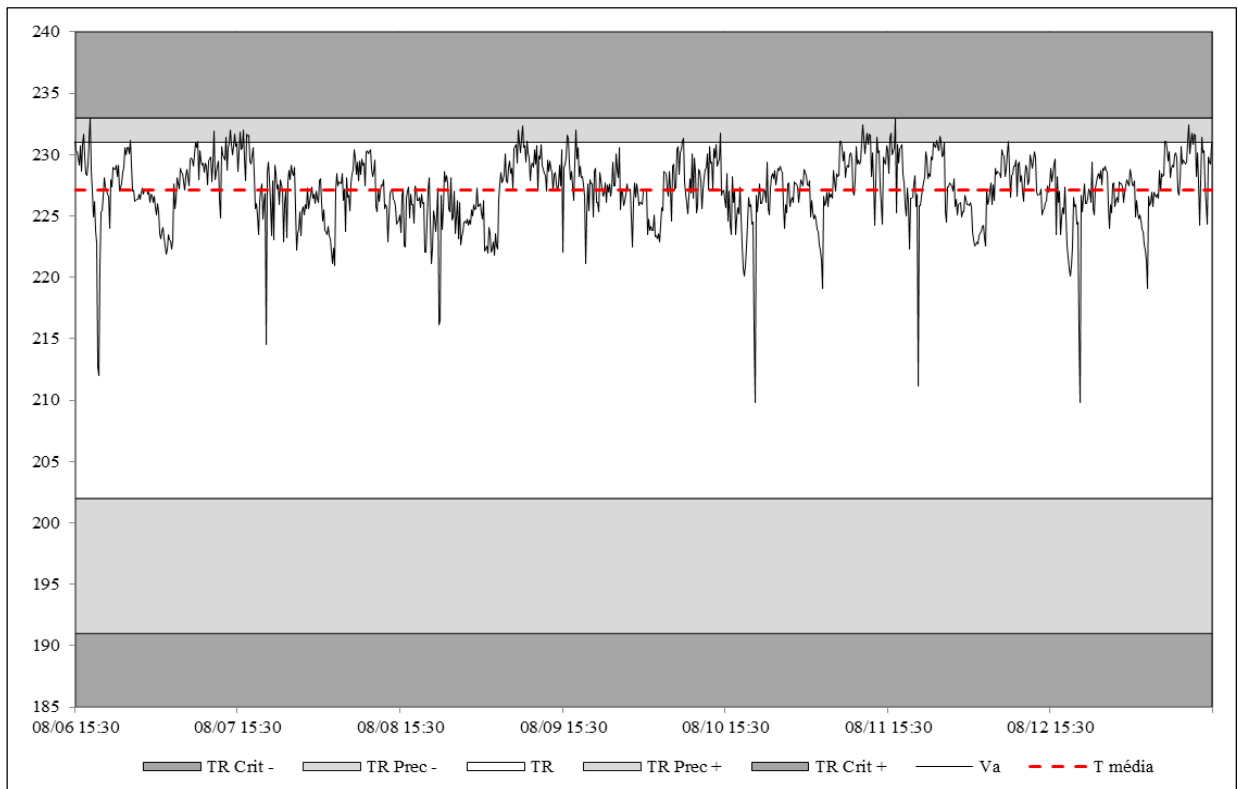
Figura 17 - Tensões e potências consumidas/geradas pela residência no Cenário II.



Pode-se observar que nos instantes em que a potência é potência ou seja, aqueles em que a geração fotovoltaica injeta energia na rede, as incidências de tensões consideradas na faixa precária, a cima de 233 V, ocorrem devido à implantação e funcionamento do sistema.

A Figura 18 apresenta os valores da tensão no Cenário I, evidenciando o valor médio da tensão elétrica no período.

Figura 18 - Tensões elétricas medidas no Cenário I.

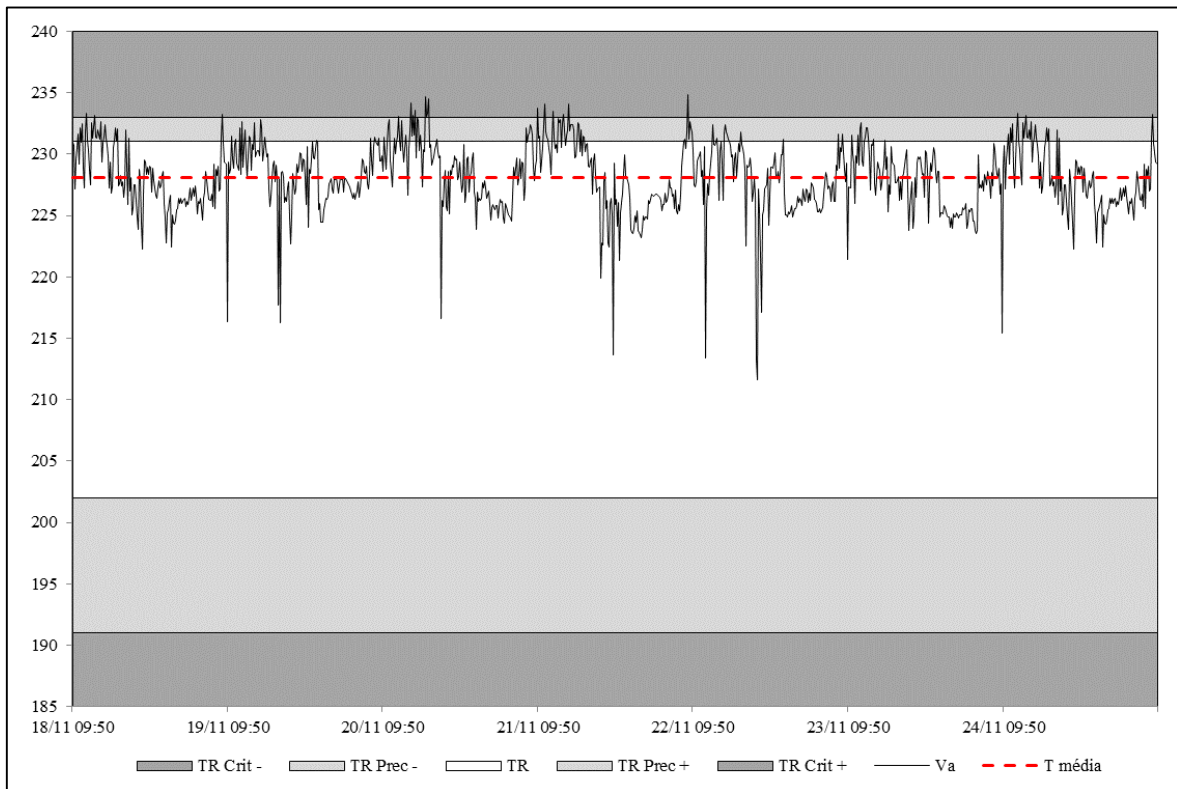


Na Figura 18, é possível notar que, quase com periodicidade diária, a tensão elétrica entregue pela distribuidora atinge patamares considerados precários de acordo com o PRODIST, [3]. A tensão média da Fase A, calculada com base nas amostras, é igual a 227,12V, que, embora dentro do limite de referência, está 3,24% acima do valor contratado de 220V.

O gráfico também apresenta um decaimento significativo na tensão elétrica com sazonalidade diária em torno das 19 horas, podendo-se inferir que é causado pelo pico na demanda doméstica de energia elétrica. Corrobora com esta conclusão a inexistência deste decaimento no dia 09/08/2015, que se trata de um domingo e, portanto, não apresenta a mesma característica de consumo dos demais dias.

De forma análoga, a Figura 19 apresenta as tensões medidas ao longo de sete dias após a instalação do sistema de geração na residência, com início às 9:50 do dia 18/11/2015.

Figura 19 - Gráfico das tensões elétricas medidas no Cenário II.



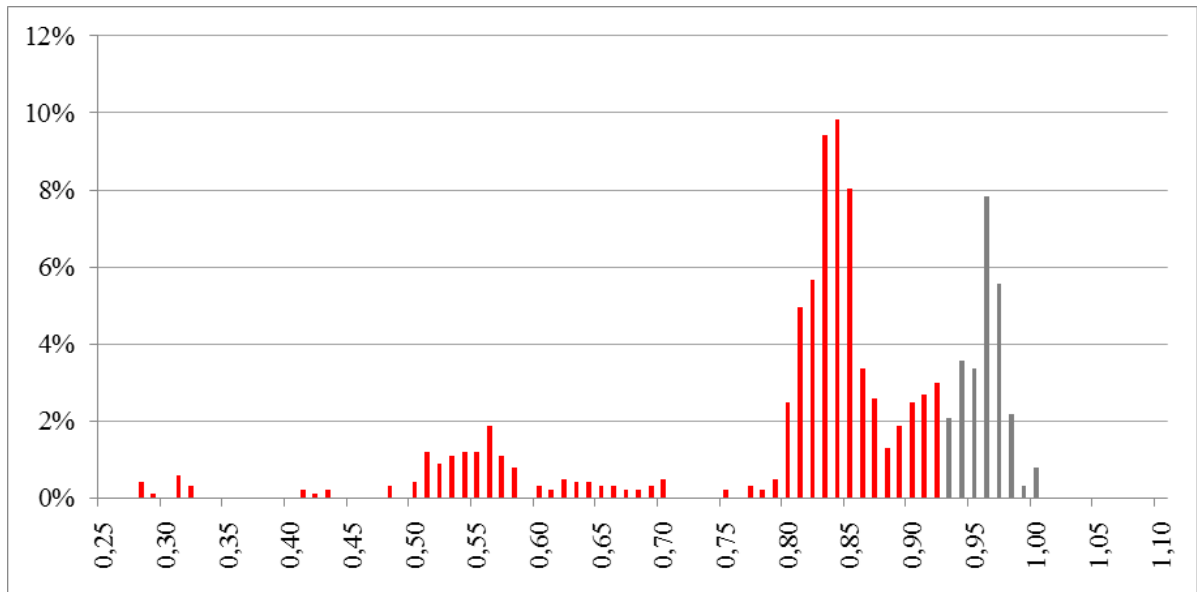
A análise da Figura 19 auxilia a compreender a alteração dos índices DRP e DRC e do comportamento da tensão elétrica após a inserção da microgeração. Com valor médio igual a 228,05 V, uma tendência diária de tensões acima do valor de referência da faixa central pode ser observada, entre os horários aproximados de 10 horas da manhã e 1 hora da tarde, correspondente à faixa de horário com pico de geração dos painéis.

Em contrapartida, continua presente o comportamento sazonal de queda de tensão observado na Figura 18, o que não é tido como um ponto negativo, pois a correção deste fenômeno não foi alvo do projeto, uma vez que o horário de pico de consumo e o período de maior capacidade de geração solar fotovoltaica não possuem correlação.

Após observados os resultados da grandeza da tensão elétrica, é possível verificar o comportamento do fator de potência, ilustrado na Figura 20, que demonstra a frequência com que os valores do fator de potência foram observados, expressa em termos do percentual do tempo total de duração da medições.

O gráfico apresenta em vermelho os fatores de potência considerados fora da faixa de aceitação pelo PRODIST, [3].

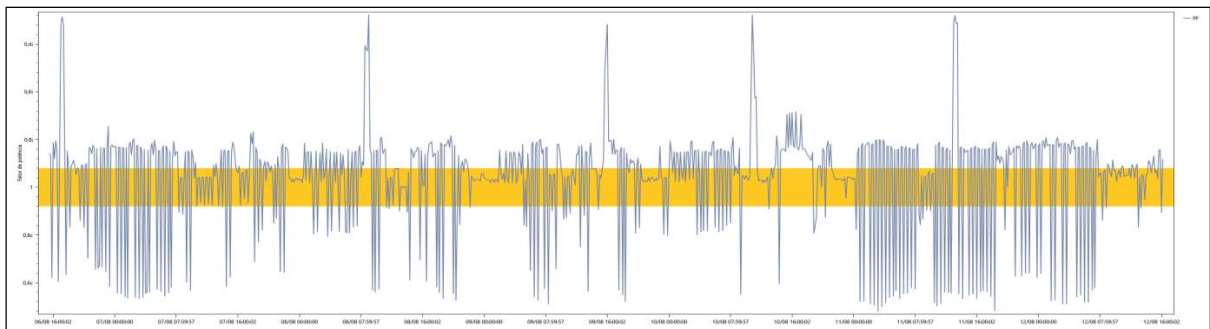
Figura 20 - Frequência percentual de ocorrência do Fator de Potência para o Cenário I.



A partir das medições realizadas, observou-se que o fator de potência esteve abaixo do valor mínimo de 0,92 recomendado pelo PRODIST [3], durante 71% do tempo. Como resultado, obteve-se o valor médio de 0,83, levando-se em conta as componentes harmônicas da tensão no cálculo.

O valor mais baixo medido neste cenário foi de 0,28 indutivo, durante um dos cinco picos do fator de potência, que podem ser atribuídos ao acionamento da bomba de água responsável por encher a caixa d'água da residência, conforme pode ser visto na Figura 21. Este gráfico, apresenta, com o tempo de interesse expresso na abscissa, uma faixa em amarelo englobando os valores de fator de potência entre 0,92 capacitivo – na parte inferior do eixo – e 0,92 indutivo, centralizando o fator de potência igual a 1.

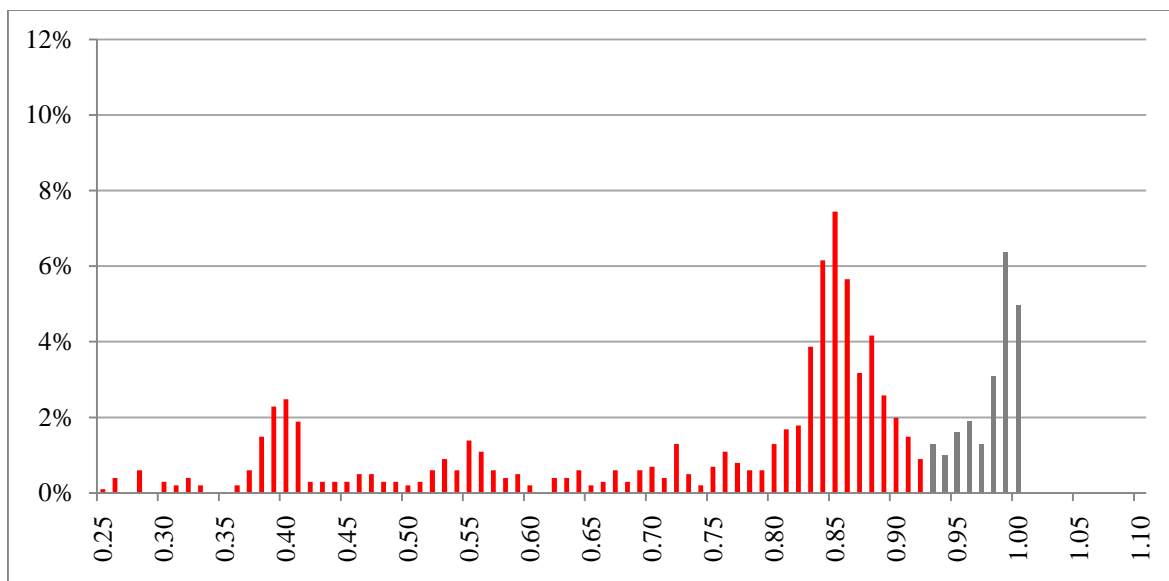
Figura 21 - Fator de potência medido no período anterior à instalação do microssistema.



Uma possível causa do baixo valor do fator de potência observado na primeira medição é relacionada à carga reduzida da residência, conectada à rede de média tensão através de transformador de grande porte. Neste caso, a o valor relativamente elevado da corrente de magnetização do transformador é uma possível causa da redução do fator de potência.

A Figura 22 ilustra o fator de potência após a instalação da geração fotovoltaica.

Figura 22 - Fator de Potência medido para o Cenário II, por incidência [%].



Através da análise da Figura 22, pode-se constatar uma diminuição no fator de potência, que atingiu um valor médio igual a 0,74.

Quanto aos índices de distorção harmônica, os valores obtidos nos dois cenários avaliados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Distorção Harmônica.

Categoria Harmônicas	Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]	Máximo Medido Antes [%]	Máximo Medido Depois [%]
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	2,47	2,45
	7	6,5	2,12	2,68
	11	4,5	1,45	1,36
	13	4,0	1,23	1,05
	17	2,5	1,07	1,00
	19	2,0	1,11	1,01
	23	2,0	1,07	1,14
	25	2,0	0,88	0,95
	> 25	1,5	0,71 (H29)	0,81 (H29)
Ímpares múltiplas de 3	3	6,5	2,24	2,49
	9	2,0	1,16	1,20
	15	1,0	1,05	1,10
	21	1,0	1,01	1,11
	> 21	1,0	0,77 (H27)	0,77 (H27)
Pares	2	2,5	0,22	0,23
	4	1,5	0,47	0,27
	6	1,0	0,57	0,39
	8	1,0	0,61	0,47
	10	1,0	0,69	0,58
	12	1,0	0,69	0,69
	> 12	1,0	0,81 (H26, H28)	1,08 (H26)
Total (THD)	Todas	10,0	2,10	1,85

Ao analisar-se os valores obtidos para o Cenário I, pode-se comprovar que o conteúdo harmônico da energia elétrica entregue pela distribuidora excedia os limites estabelecidos para 2 das 41 harmônicas observadas. Nestes casos onde houve excedente da distorção harmônica

individual de tensão, ordens 15 e 21, os valores superaram o limite máximo em 0,05 e 0,01 pontos percentuais, respectivamente.

A distorção harmônica total da primeira seção de medidas resultou em 2,10%, dentro do limite máximo aceitável de 10,0%.

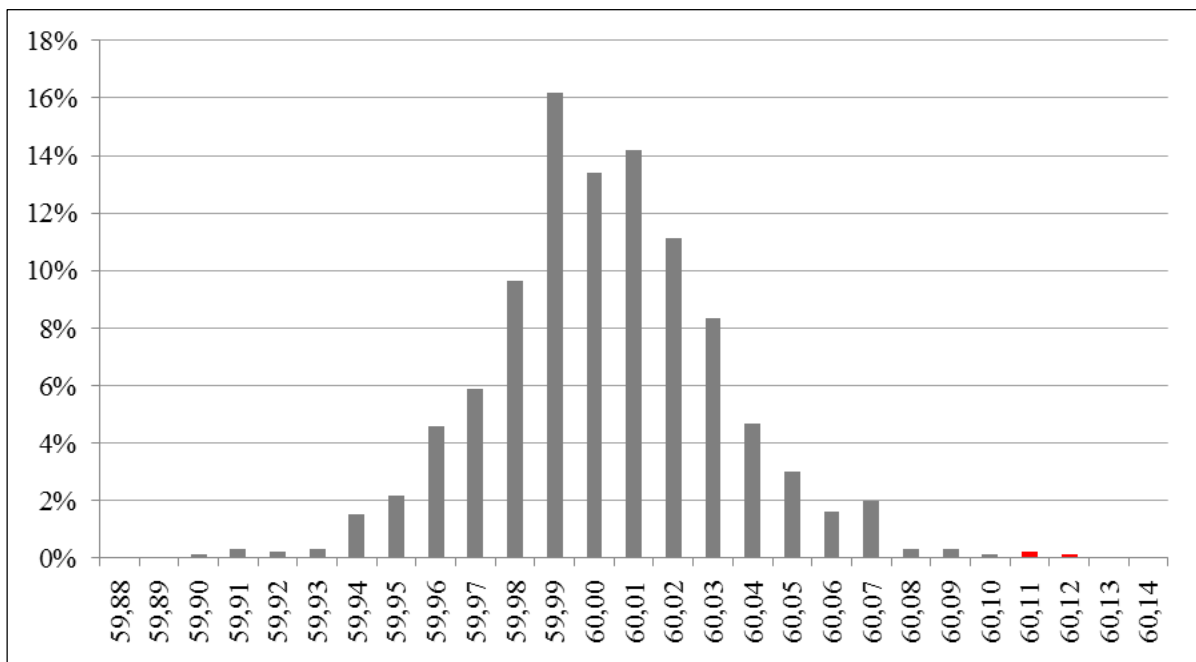
Após a instalação do sistema de geração, de modo geral, houve uma deterioração nas harmônicas individuais da energia elétrica entregue, que passa a exceder os limites estabelecidos para 3 das 41 harmônicas observadas.

Para as ordens 15, 21 e 26, onde houve excedente da distorção harmônica individual de tensão, os valores superaram o limite máximo em 0,10, 0,11 e 0,08 pontos percentuais, respectivamente. A nova transgressão aos valores limite, surgida na harmônica de ordem 26, pode ter sido gerada por componentes eletrônicos associados à conversão de energia elétrica realizada pelo inversor.

Contudo, houve uma diminuição da THD da tensão de 0,35 pontos percentuais, resultando em 1,85%.

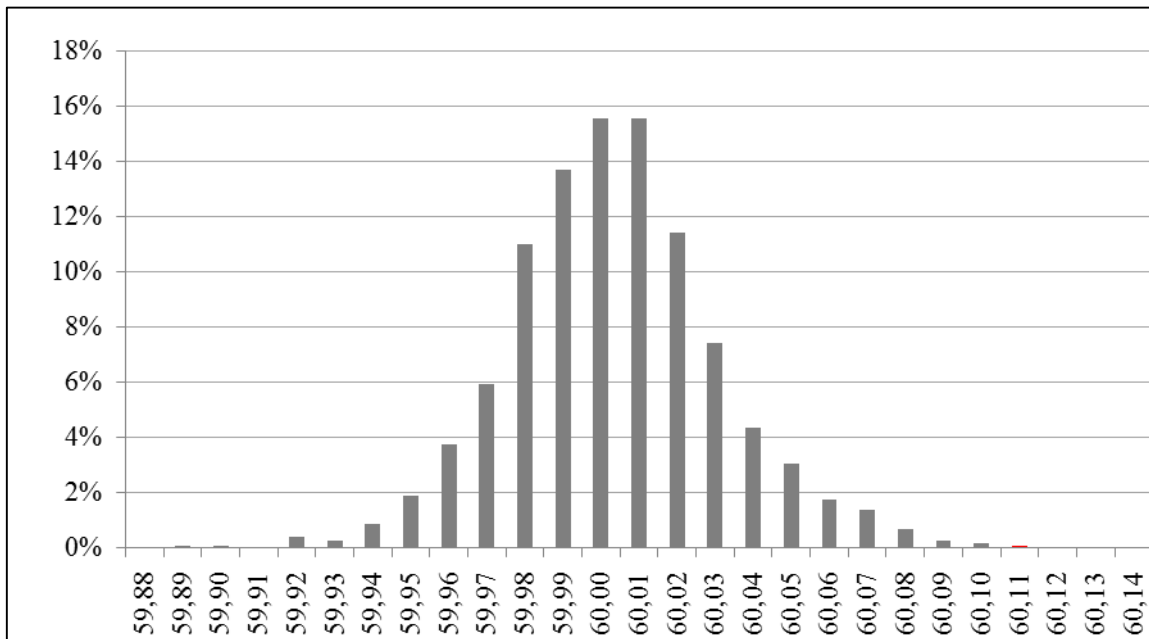
A variação de frequência medida pode ser observada no histograma presente na Figura 23, que apresenta a incidência dos valores de frequência durante o primeiro cenário de aquisição de dados.

Figura 23 - Variação de Frequência verificada no Cenário I.



Houve a ocorrência de frequências superiores ao limite máximo estabelecido pelo PRODIST [3] em 3 das 1008 medidas executadas, sendo que a média dos valores obtidos resultou em 60,00 Hz.

Figura 24 - Variação de Frequência verificada no Cenário II.



A Figura 24 permite observar que a instalação do sistema de geração exerce influência positiva sobre a variação de frequência, contribuindo com uma operação bem comportada, de média igual a 60,00 Hz e distribuição semelhante à normal.

Este comportamento é esperado, uma vez que é exigência das concessionárias que os sistemas de geração conectados à rede possuam dispositivos que garantam que a tensão injetada na rede esteja de acordo com os limites especificados para a frequência e possua capacidade de desconexão automática, caso fora destas faixas.

Das 1008 medidas efetuadas, foi observada apenas uma ocorrência acima do limite máximo estabelecido e nenhuma abaixo do limite mínimo.

5 CONCLUSÕES

O sistema elétrico brasileiro atual apresenta-se como um campo de oportunidades para o profissional da área, devido à necessidade de expansão deste sistema e o surgimento de novas tecnologias para geração elétrica. As novas necessidades dos consumidores e operadores trazem novas exigências aos profissionais e, com isso, a necessidade de constante atualização por parte destes.

Este trabalho cumpre com sua proposta inicial, que consiste em ser um trabalho de conteúdo inovador, que era analisar a utilização de um microssistema de geração solar fotovoltaico em uma residência da zona rural em termos da qualidade da energia fornecida pela mesma.

A leitura deste texto comprova, de maneira prática, que em termos gerais, a inserção de uma geração distribuída não melhora a qualidade de energia consumida pela residência e inserida na rede de distribuição. Este resultado vai de encontro com os problemas relacionados à geração distribuída e qualidade de energia conhecidos.

Um estudo mais aprofundado do comportamento do circuito eletrônico do inversor utilizado poderia ser implementado para a melhor compreensão dos fenômenos observados, uma vez que seu comportamento de acoplamento não é conhecido.

REFERÊNCIAS

1. JANNUZZI, ANTONIO C. **Regulação da Qualidade de Energia Elétrica Sob o Foco do Consumidor**. 2010. 234 f. (Dissertação). Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
2. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Nº 505**, Brasília: ANEEL, 2001.
3. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**, Brasília: ANEEL, 2015. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1877>. Acesso em: 10 ago. 2015.
4. BRASIL. **Glossário de termos técnicos**. Brasília: Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2015.
5. DUGAN, R. C.; *et. al.* **Electrical Power Systems Quality**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
6. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 345**, Brasília: ANEEL, 2008.
7. SAADAT, H. **Power System Analysis**. New York: WCB/McGraw-Hill, 1999.
8. KENNEDY, B. W. **Power Quality Primer**. New York: McGraw-Hill, 2000.
9. IEEE. **IEEE Std 1159 – 2009: Recommended Practice For Monitoring Electric Power Quality**. New York, 2009.
10. ARRILLAGA, J.; WATSON, N. R. **Power System Harmonics**. 2. ed. New York: Wiley, 2003.
11. KREYSZIG, E. **Advanced Engineering Mathematics**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1967.

12. KUO, F. F. **Network Analysis and Synthesis**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1966.
13. UNITED STATES OF AMERICA. National Electrical Manufacturers Association. **ANSI C84.1 – 2006 [B2]**. 2006. Disponível em: <<https://www.nema.org/Standards/ComplimentaryDocuments/Contents-and-Scope-ANSI-C84-1-2011.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.
14. MATTAR, CARLOS A. C. **Da gênese à Implantação dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST: Desafios e Oportunidades**. 2010. 200 p. (Dissertação). Mestrado em Engenharia da Energia - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
15. CERTAJA. **Acesso de Micro e Mini Geração com Fontes Renováveis e Cogeração Qualificada ao Sistema de Distribuição**. Porto Alegre: CERTAJA, 2013. Disponível em: <http://www.certaja.com.br/download/ener/POP-ENG-004_-_Versao%201.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.
16. IEEE. **IEEE Recommended Practice: Adoption of IEC 61000-4-15:2010, Electromagnetic compatibility (EMC) – Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications**. New York, 2011.
17. IMS. **Analisador Portátil de Energia: PowerNET P-600 G4**. 2015 Disponível em: <<http://www.ims.ind.br/br/produtos/p-600g4/>>. Acesso em: 12 out. 2015.
18. IEC. **Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto**. 2002.

APÊNDICE A - Memorial Descritivo e Plantas em AutoCAD do Sistema Fotovoltaico**Tabela 10** - Relação de Documentos do Anexo B, que acompanham o memorial descritivo.

Nome do Desenho	Desenho
EL01	Diagrama Unifilar Geral
EL02	Diagrama Trifilar Geral
EL03	Localização Equipamentos e Layout
EL04	Quadros de Proteção CC e CA

MEMORIAL DESCRITIVO - SISTEMAS ELÉTRICOS					
---	--	--	--	--	--

OBRA:	GERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL				
Contrato:	1462	Revisão:	1	Data:	21/08/2015

1. OBJETIVO

Este memorial tem por objetivo descrever os sistemas elétricos que foram desenvolvidos para o projeto executivo do gerador solar fotovoltaico residencial.

Os desenhos do projeto de instalações elétricas se complementam com as informações contidas neste memorial;

Os serviços relativos aos sistemas elétricos deverão ser executados de acordo com as indicações do projeto que, conjuntamente com este documento compõem o escopo dos serviços.

Assim, deverão ser seguidos rigorosamente as normas de execução, a parte descritiva, as especificações de materiais e serviços, garantias técnicas e detalhes, bem como mantidas as características da instalação de conformidade com as normas que regem tais serviços.

2. ESCOPO GERAL

O presente memorial descreve o projeto de geração de energia solar de uma planta solar fotovoltaica para uso residencial.

A planta possuirá 1,75kW de potência instalada e a geração destina-se a compensar o consumo local. A configuração do sistema será composta por um string com 7 módulos fotovoltaicos policristalinos de 250 Wp e um inversor central de 1,5kW, incluindo todos os sistemas de proteção elétrica e fixação dos módulos no telhado da residência.

O presente documento objetiva descrever os critérios técnicos a serem adotados na elaboração do Projeto Básico, bem como fornecer os elementos necessários para o desenvolvimento do Projeto Executivo, implantação do empreendimento.

3. PROPRIEDADE E LOCALIZAÇÃO

INES CRISTINA ARGEMI
CPF: 404.372.300-82
RUA BOM JARDIM DO CAI, S/N
CEP: 95780-000 – MONTENEGRO - RS

Coordenadas Geográficas:
Latitude: 29° 49' Sul
Longitude 51° 26' Oeste

4. ENERGIA

4.1. ALIMENTAÇÃO

A residência é alimentada pela rede da distribuidora/permissionária de energia local (CERTAJA) na tensão secundária de 220V (Fase-Neutro).

O local da entrada de energia é dotada de painel de entrada e medição e proteção localizada junto a divisa da propriedade, conforme indicado no projeto,

sendo que estes dados deverão ser confirmados junto à Concessionária, pois esta executará os serviços de rede e interligação do gerador fotovoltaico com a entrada de energia.

O ramal de ligação é aéreo com cabos singelos; sendo o eletroduto de descida até a caixa de medição junto ao poste particular em concreto, de PVC e de diâmetro nominal 25 mm, respeitando os requisitos do regulamento de instalações consumidoras.

4.2. CABINE DE ENTRADA E MEDIÇÃO

Cabine padrão da Concessionária local, em baixa tensão, para instalação interna (CI), embutido em mureta de uso exclusivo para a medição, constituídas medição e proteção geral.

A caixa para medição individual está instalada de modo que a parte superior da face frontal está a uma altura de 1,60m. A mesma é constituída de chapa de aço zincada e possui as dimensões externas de 50x56x20cm (Altura x Largura x Profundidade).

O medidor de energia atualmente instalado é do tipo mecânico, monofásico, unidirecional 2 fios, I_{max} 100A, Classe 2, devendo o mesmo ser substituído pela concessionária para adequação da medição bidirecional.

4.3. PROTEÇÃO GERAL

A entrada de energia em baixa tensão está protegida por disjuntor monopolar termomagnético com capacidade de interrupção mínima de 5kA e corrente nominal de 40A conforme indicado em diagrama unifilar geral.

4.4. DEMANDA E CARGAS

O perfil de consumo de energia da residência é de 263 kWh/mês (média de consumo do último ano – base Jul./2015). A caracterização das cargas é predominantemente de equipamentos de uso residencial, tais como refrigerador, lâmpadas, televisor, chuveiro elétrico, ar-condicionado, etc. Com base em medições realizadas durante uma semana, a potência ativa média conectada foi de 447 W, com pico chegando a 5070W.

4.5. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO E FORÇA

Os quadros de distribuição e força são aqueles que atendem aos pontos de iluminação, tomadas, equipamentos de pequenas potências.

O painel de distribuição de baixa tensão de energia está instalado na cozinha localizada no 1º subsolo. A montagem do quadro é embutida na parede sendo composto por proteção individual dos alimentadores dele derivados.

A alimentação do painel de energia normal é através de condutores isolados,

com isolamento em PVC, instalados no interior de eletrodutos de PVC desde o quadro geral de geração até o painel geral.

5. GERADOR FOTOVOLTAICO

5.1. INVERSOR

O inversor é o equipamento eletrônico que converte a energia gerada pelos módulos em corrente contínua (CC), para corrente alternada (CA). A topologia adotada foi de inversores centralizados. A seguir estão as principais características técnicas do inversor utilizado.

Marca / Modelo	Growatt 1500TL
Dimensões	360x329x132 mm
Potência CA	1600 W
Intervalo de Tensão MPPT	100 – 450V
Máxima Tensão CC	1000V
Entradas MPPT	1
Tensão nominal CA	220V
Eficiência Máxima	97%

5.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos selecionados pelo projeto utilizam a tecnologia tradicional de Silício policristalino (p-Si). As características detalhadas dos módulos são apresentadas na tabela abaixo:

Marca / Modelo	RISEN / SYP250P
Dimensões	1640x992x40mm
Potência de pico	250 Wp
Número de células	60
Máxima Tensão CC	1000V
Corrente de curto circuito Isc	8,9A
Tensão de circuito aberto Voc	37,30
Eficiência	15,37%

5.3. CONFIGURAÇÃO DOS ARRANJOS

A configuração módulo-inversor é resultado do estudo que concilia os padrões elétricos dos módulos e as características de operação do inversor. A seguir está apresentada a configuração da strings e as características de operação do sistema. O gerador fotovoltaico será configurado como mostra o esquema apresentado na tabela abaixo:

Inversor	Módulos em série	Módulos em paralelo	Carregamento do inversor	Voc 10°C	Isc 60°C
1600W	7	1	1.09	290V	9,5A

6. CONEXÕES E PROTEÇÕES

6.1. CONDUTORES ELÉTRICOS

Os condutores elétricos são dimensionados respeitando-se as capacidades máximas admissíveis. Nos cálculos admite-se uma queda máxima de tensão de 1 % no cabeamento CC como um todo e de 2% no cabeamento CA como um todo.

Os condutores serão instalados em locais apropriados, capazes de suportar os esforços mecânicos permanentes e variáveis, de maneira a evitar balanços, tensões ou estrangulamentos. Deve-se garantir que o local escolhido não acumule água, o que poderia danificar não só os cabos, mas também os conectores.

Os terminais elétricos e seus respectivos cabos serão abrigados em eletrocalhas e/ou eletrodutos, de maneira a não expor nem terminais nem cabos elétricos diretamente à luz do sol. Os eletrodutos deverão ser dimensionados de forma a não exceder a taxa máxima de ocupação.

6.2. CONECTORES

Os conectores CC fazem a conexão elétrica entre os cabos dos strings e o cabo principal que faz o paralelo do circuito e chega até o inversor. Todas as conexões utilizarão conectores Multi Contact® tipo MC4 ou similares que apresentem os mesmos padrões. Em terminações de cabos que não utilizam conectores do tipo MC4, deverão ser utilizados terminais pré-isolados. Emendas serão evitadas e, quando necessárias, deverão ser realizadas utilizando solda, fita autofusão e tubo termo retrátil com proteção UV.

6.3. PAINEL DE PROTEÇÃO CC E CA

O sistema Fotovoltaico possuirá painéis de proteção do lado de corrente contínua. Cada quadro possuirá dispositivos de proteção contra surtos e disjuntores. Em seu lado CA, o sistema Fotovoltaico possuirá disjuntores e DPS.

6.4. DISPOSITIVO PROTETOR DE SURTO (DPS)

Serão instalados DPS no lado de corrente contínua, entre módulos FV e inversores, e no lado de corrente alternada entre inversores e rede elétrica. DPS Classe II são normalmente utilizados nos lados CC e CA do sistema FV. No lado CC, ambos os polos devem ser protegidos.

6.5. DISJUNTORES

O projeto executivo prevê que a proteções de baixa tensão em CA deverá ser do tipo disjuntor termomagnético, sinalização de posição dos contatos,

dimensionado com capacidade de interrupção de acordo com cada circuito. No lado de corrente contínua os disjuntores devem seccionar obrigatoriamente os dois polos do circuito. A tensão do disjuntor será superior à tensão de circuito aberto do sistema FV.

6.6. ATERRAMENTO E PROTEÇÃO CONTRA DESC. ATMOSFÉRICAS

De acordo com a NBR 5410 / NBR14039, a infraestrutura de aterramento deve ser projetada para ser segura e atender aos pré-requisitos de segurança, operando de forma suficiente nos casos de falhas, sem comprometer o sistema. Os Inversores e todos demais equipamentos do sistema serão aterrados. Todas as estruturas metálicas e equipamentos conectados em BT serão conectados ao sistema de aterramento.

Os geradores fotovoltaicos não precisam de sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas.

Dispositivos de proteção contra surtos são necessários nas caixas de conexão, entre ambos os polos dos paralelos dos strings e a terra. Caso o condutor entre as caixas e o inversor tiver comprimento inferior a 20 m, o item não é obrigatório. A proteção contra descargas atmosféricas das edificações deve satisfazer as normas NBR 5419, IEC 61173 e IEC 60364-7-712.

7. NORMAS DE EXECUÇÃO

7.1. DA MONTAGEM

Os serviços serão executados de acordo com o andamento da obra, devendo ser empregadas somente ferramentas, equipamentos e técnicas apropriadas para cada tipo de tarefa.

Na ligação dos equipamentos, haverá estreito relacionamento com a coordenação, de forma a coordenar-se o exato posicionamento destes, em função de variações de LAY-OUT.

Inclui-se no escopo do contratado a montagem de todos os equipamentos do gerador fotovoltaico, incluindo módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de fixação e sistemas de proteção.

7.2. ACOMPANHAMENTO TÉCNICO

O acompanhamento da execução da obra será realizada por responsável com nível superior, com atribuições definidas em lei e experiência profissional compatível com o porte e natureza da obra, para além da condução das equipes de montagem, manter o contexto do projeto atualizado face às alterações que porventura forem introduzidas.

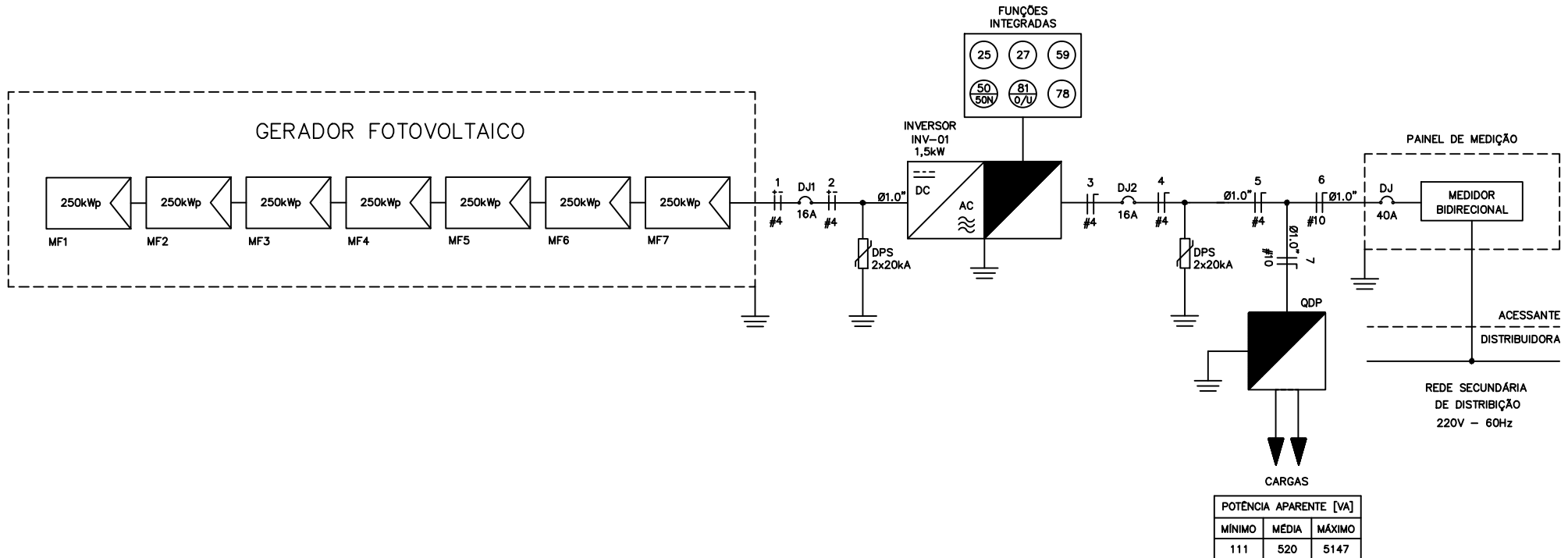
7.3. ENSAIOS E ACEITAÇÃO FORMAL DAS INSTALAÇÕES

Como procedimentos básicos, de inspeção e testes das instalações, devem ser

observados as exigências previstas no contrato.

A aceitação formal e final das instalações fica condicionada a:

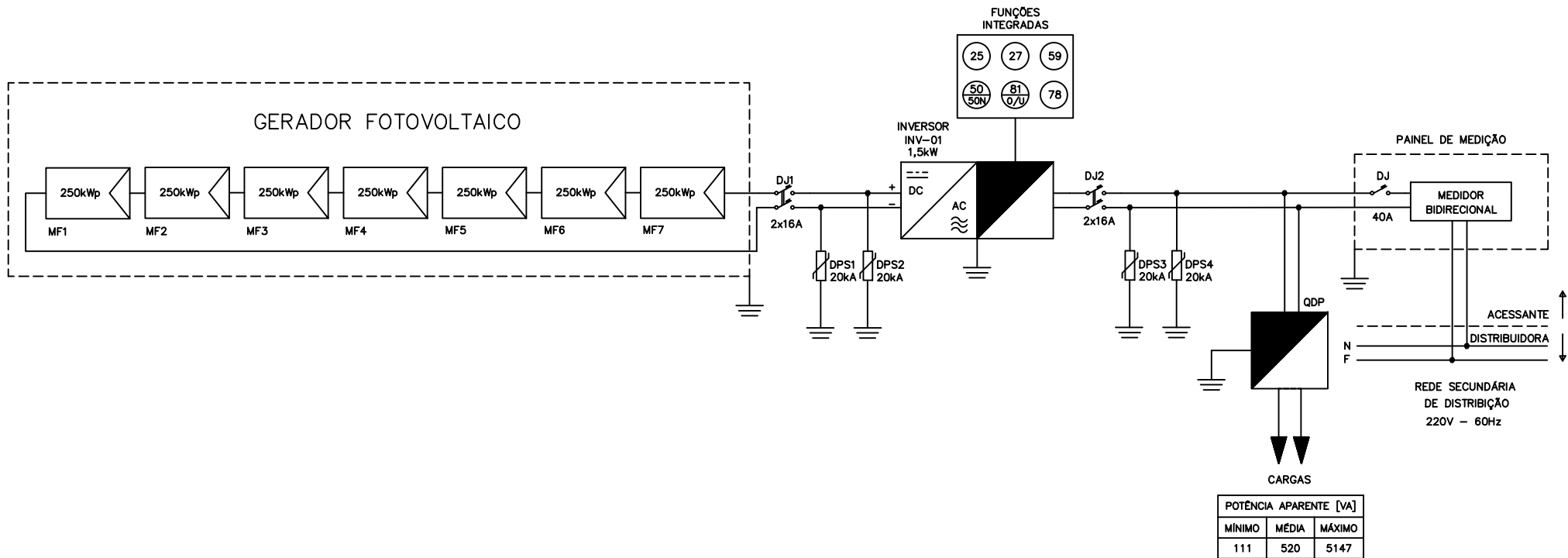
- Execução dos testes, ensaios e inspeções previstas neste escopo;
- Conexão efetiva do gerador fotovoltaico pela distribuidora de energia;
- Fornecimento dos certificados de garantia dos equipamentos.



A	VERSÃO INICIAL	JB	18/08/15
REV:	DESCRIÇÃO:	POR:	DATA:
ALTERAÇÕES:			

PROJETO: GERADOR FOTOVOLTAICO 1,75kW		SPV 1462 01 04 UNI DESENHO NO.		1462 PROJETO NO.	18/08/15 DATA	A4 FORMATO
TÍTULO: DIAGRAMA UNIFILAR GERAL		- ESCALA	JB DESENHADO	TB CONFERIDO	A REVISÃO	1 de 4 PÁGINA NO.

SEVENIA Inovação em Energia
 Av. Ipiranga, 6681, Prédio 96E, Sala 123
 CEP: 90619-900 - Partenon
 Porto Alegre - RS
 Tel.: +55 51 3095 2221
 www.sevenia.com.br



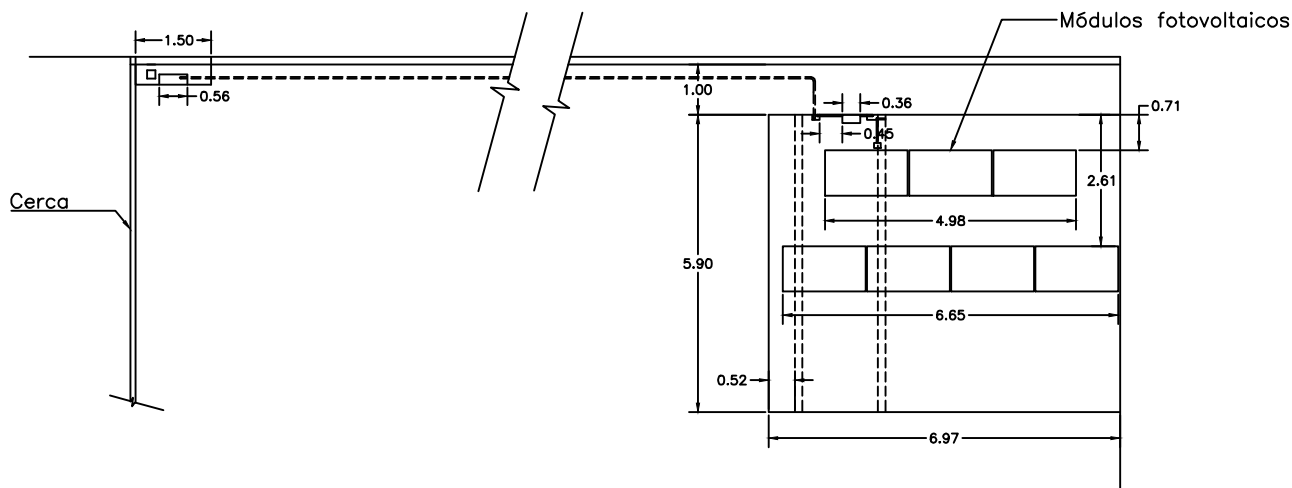
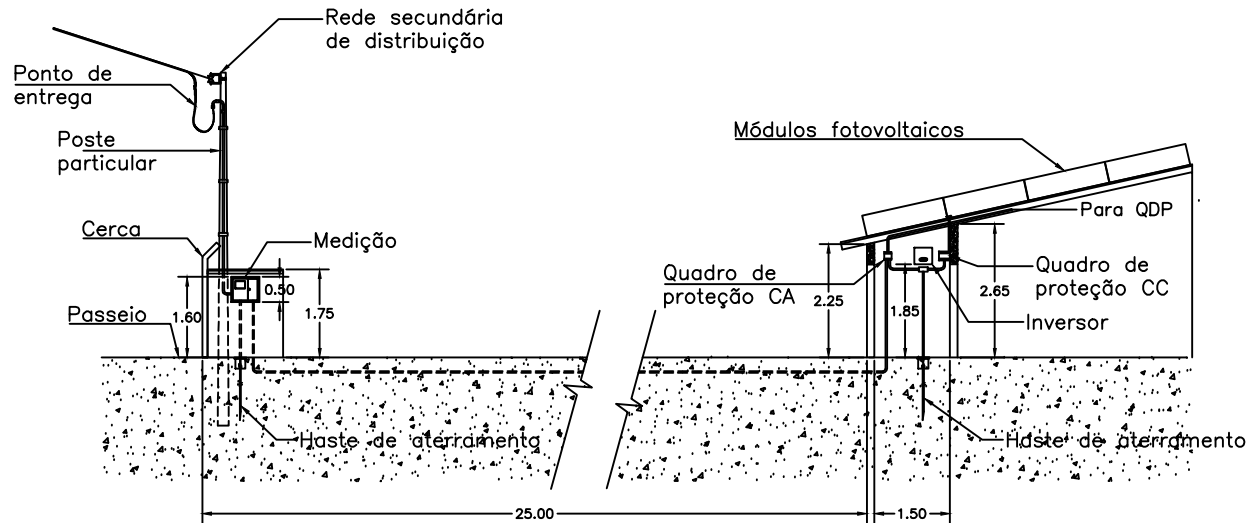
POTÊNCIA APARENTE [VA]		
MÍNIMO	MÉDIA	MÁXIMO
111	520	5147

A	VERSÃO INICIAL	JB	18/08/15
REV:	DESCRIÇÃO:	POR:	DATA:
ALTERAÇÕES:			

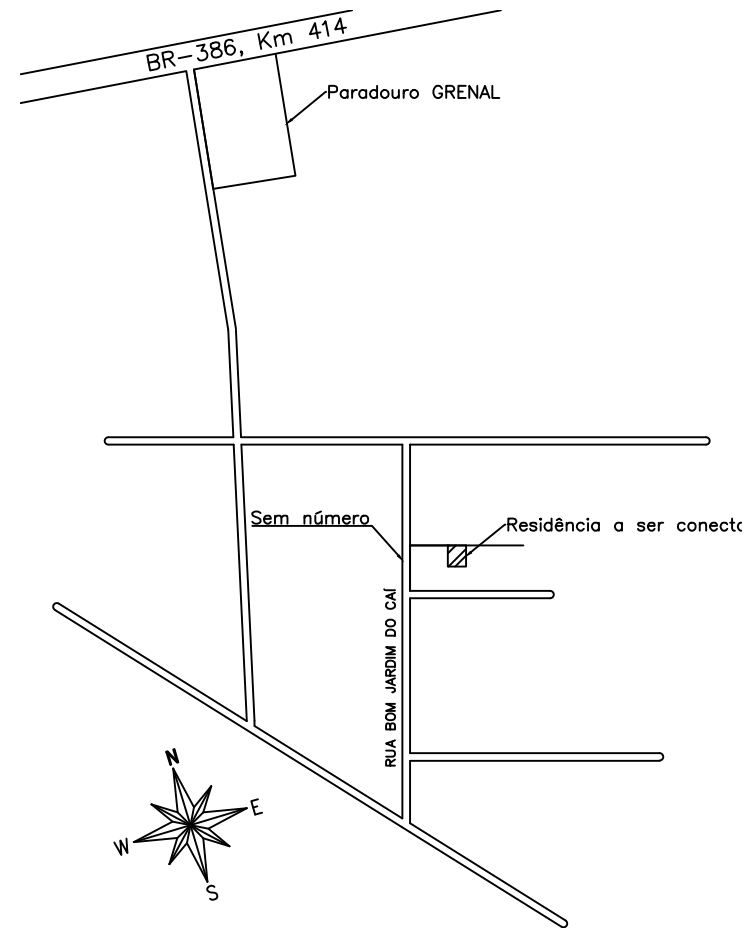
PROJETO: GERADOR FOTOVOLTAICO 1,75kW		SPV 1462 02 04 TRI DESENHO NO.		1462 PROJETO NO.	18/08/15 DATA	A4 FORMATO
TÍTULO: DIAGRAMA TRIFILAR GERAL		- ESCALA	JB DESENHADO	TB CONFERIDO	A REVISÃO	2 de 4 PÁGINA NO.



SEVENIA Inovação em Energia
 Av. Ipiranga, 6681, Prédio 96E, Sala 123
 CEP: 90619-900 - Partenon
 Porto Alegre - RS
 Tel.: +55 51 3095 2221
 www.sevenia.com.br



LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS E EQUIPAMENTOS
VISTA SUPERIOR E LATERAL
ESCALA 1:150



PLANTA DE SITUAÇÃO
LOCALIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA E RUAS
ESCALA 1:5000

B	ALT. LAYOUT PAINES	TB	24/08/15
A	VERSÃO INICIAL	TB	18/08/15
REV:	DESCRIÇÃO:	POR:	DATA:
ALTERAÇÕES:			

PROJETO:
GERADOR FOTOVOLTAICO 1,75kW

SPV 1462 03 04 LYT
DESENHO NO.

1462
PROJETO NO.
18/08/15
DATA

A4
FORMATO

TÍTULO:
LOCALIZAÇÃO EQUIPAMENTOS E LAYOUT

1:150
ESCALA

TB
DESENHADO

TB
CONFERIDO

B
REVISÃO

3 de 4
PÁGINA NO.



SEVENIA Inovação em Energia
Av. Ipiranga, 6681, Prédio 96E, Sala 123
CEP: 90619-900 - Partenon
Porto Alegre - RS
Tel.: +55 51 3095 2221
www.sevenia.com.br

1 2 3 4 5 6

A

A

B

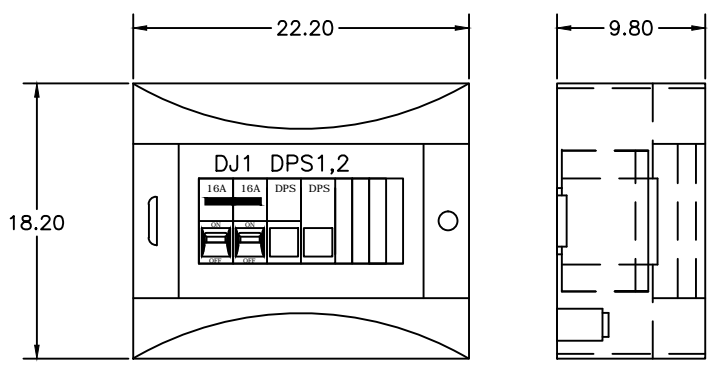
B

C

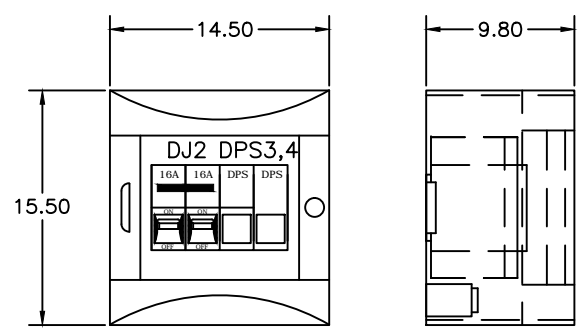
C

D

D



QUADRO DE PROTEÇÃO CC
VISTA FRONTAL E LATERAL
ESCALA 1:50



QUADRO DE PROTEÇÃO CA
VISTA FRONTAL E LATERAL
ESCALA 1:50

B	ALT. MODELOS PAINEL	TB	24/08/15
A	VERSÃO INICIAL	TB	18/08/15
REV:	DESCRIÇÃO:	POR:	DATA:
ALTERAÇÕES:			

PROJETO: GERADOR FOTOVOLTAICO 1,75kW	SPV 1462 04 04 PNL DESENHO NO.	1462 PROJETO NO.	18/08/15 DATA	A4 FORMATO
TÍTULO: QUADROS DE PROTEÇÃO CC E CA	1:50 ESCALA	TB DESENHADO	TB CONFERIDO	B REVISÃO
				4 de 4 PÁGINA NO.





SEVENIA Inovação em Energia
 Av. Ipiranga, 6681, Prédio 96E, Sala 123
 CEP: 90619-900 - Partenon
 Porto Alegre - RS
 Tel.: +55 51 3095 2221
 www.sevenia.com.br

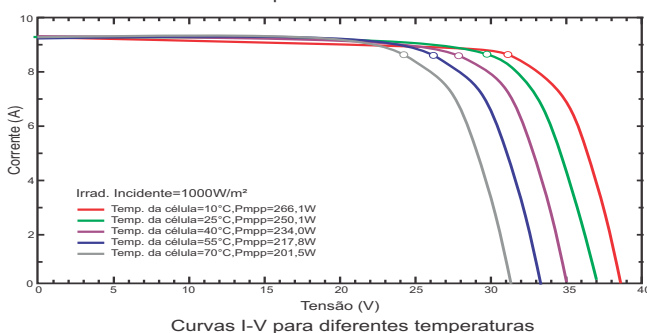
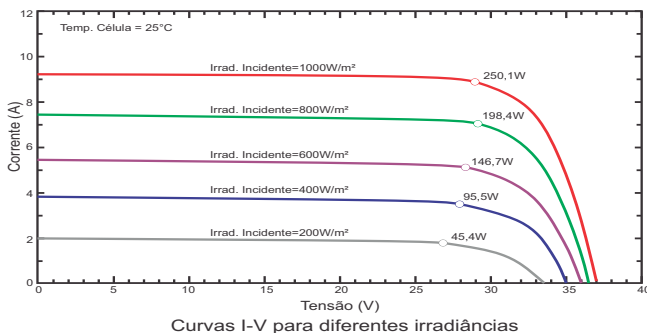
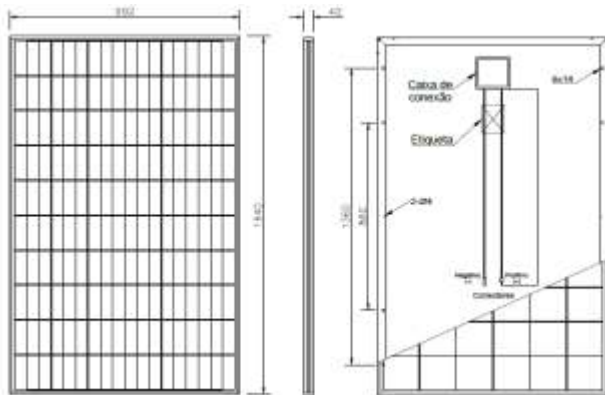
1 2 3 4 5 6

ANEXO A - Datasheets do Modulo Fotovoltaico e do Inversor de Frequência

MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO - 250Wp



Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante		SEVENIA INOVAÇÃO EM SHINEFAR
Marca		SEVENIA INOVAÇÃO EM SHINEFAR
Modelo		SF-P660250
Mais eficiente		A
A		
B		
C		
D		
Menos eficiente		
E		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)		15,4
Área Externa do Módulo (m ²)		1,63
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)		31,25
Potência nas Condições Padrão (W)		250,00
<small>Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica</small> <small>Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho</small>  PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONDIÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA  INMETRO IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR		



Fabricado pela Shinefar Group, multinacional no segmento de produtos para energia solar, o módulo possui as seguintes características:

- Produzido conforme rigorosas normas internacionais de qualidade e segurança
- Aceito e vendido nos mercados mais exigentes da Europa, EUA, Ásia e África
- Alta eficiência das células solares garantindo desempenho elevado mesmo em condições de pouca luz
- Elevada resistência mecânica: certificação TÜV

Garantia

10 anos por defeitos de fabricação e matéria prima; 15 anos 90%, 25 anos 83% e 30 anos 80% da potência nominal.

Características Elétricas

Pico de Potência (Pmax)	250W
Máxima Tensão (Vmp)	30.42V
Máxima Corrente (Imp)	8.645A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37.84V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9.13A
Eficiência da Célula	15.4%

Características Térmicas

Máxima Tensão do Sistema	DC 1000V
Coefficiente de Temperatura da Isc	30.42V
Coefficiente de Temperatura da Voc	8.645A
Temperatura Normal de Operação da Célula	45 ± 2

Características Mecânicas

Dimensões do Módulo	1640 x 992 x 40 mm
Peso do Módulo	18.00kg
Tamanho das Células	156 x 156 x 0.19 mm
Número de Células	60 células em série
Moldura	liga de Al anodizado

Selos de Qualidade e Ambientais



Este produto tem seu desempenho avaliado pelo INMETRO e está em conformidade com o Programa Brasileiro de Etiquetagem. Concessão n° 004542/2015.

INVERSORES GROWATT 1500/3000/5000



Com tecnologia de ponta, os inversores Growatt se destacam pelas seguintes características:

- Eficiência máxima de 97.3% e larga escala de entrada de tensão
- Chaveamento interno para DC
- Topologia sem transformador (GT topology)
- Design compacto
- Ethernet / RF technology / Wi-Fi
- Controle de som
- Fácil instalação

Entrada

	Growatt 1500	Growatt 3000	Growatt 5000
Máxima Potência CC	1900W	3300W	5800W
Máxima Tensão CC	450V	500V	580V
Tensão de partida	90V	120V	120V
Faixa de Tensão PV	70V - 450V	90V - 500V	90V - 580V
Faixa de tensão de funcionamento MPPT / Tensão nominal	70V-450V/360V	95V-500V/360V	95V - 580V/360V
Faixa de tensão CC com carga total	175V - 400V	250V - 450V	250V - 500V
Número de MPP trackers/strings por MPPT tracker	1 / 1	1 / 2	1/3
Máxima corrente de entrada por string de tracker	10A	15A	20A/20A

Saída (AC)

	Growatt 1500	Growatt 3000	Growatt 5000
Potência Nominal de Saída CA	1600W	2850W	4600W
Máxima potência CA	1650W	2850W	5000W
Máxima corrente de saída	8A	15A	25A
Tensão nominal CA; alcance	220V/230V/240V; 180Vac-280Vac	220V/230V/240V; 180Vac-280Vac	220V/230V/240V; 180Vac-280Vac
Frequência de rede CA; alcance	50, 60Hz;±5Hz	50, 60Hz;±5Hz	50, 60Hz;±5Hz
Fator de Potência	1	1	1
THDI	<3%	<3%	<3%
Conexão CA	Monofásico	Monofásico	Monofásico

Eficiência

	Growatt 1500	Growatt 3000	Growatt 5000
Eficiência máxima	97%	97.3%	97.8%
Euro-eta	96.5%	96.5%	97.4%
MPPT	99.5%	99.5%	99.5%

Dispositivos de Proteção

	Growatt 1500	Growatt 3000	Growatt 5000
Proteção polaridade reversa CC	Sim	Sim	Sim
Chave CC para cada saída MPPT	Sim	Sim	Sim
Proteção contra sobrecorrente	Sim	Sim	Sim
Proteção contra sobretensão de saída – varistor	Sim	Sim	Sim
Monitorador de falta	Sim	Sim	Sim
Monitorador de rede	Sim	Sim	Sim

Dados Gerais

	Growatt 1500	Growatt 3000	Growatt 5000
Dimensões (largura, altura, profundidade)	360/329/132 mm	360/329/132 mm	406/406/192 mm
Peso	11.5 Kg	12.2 Kg	21 Kg
Temperatura de operação	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C
Escala de emissão de ruído	≈25 dB(A)	≈25 dB(A)	≈25 dB(A)
Consumo (típico)	< 0.5 W	< 0.5 W	< 0.5 W
Topologia (noite)	Sem transformador	Sem transformador	Sem transformador
Dispositivo de resfriamento	Natural	Natural	Natural
Avaliação da proteção	IP 65	IP 65	IP 65
Altitude	2000m sem desclassificação	2000m sem desclassificação	2000m sem desclassificação
Humidade relativa	100%	100%	100%

Características

	Growatt 1500	Growatt 3000	Growatt 5000
Conexão CC	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
Conexão CA	Terminal de parafuso	Terminal de parafuso	Terminal de parafuso
Display	LCD	LCD	LCD
Interfaces: RS232/RS485/	sim / sim	sim / op	sim / op
Ethernet/RF/WiFi	opcional	opcional	opcional
Garantia: 5 anos / 10 anos	sim / op	sim / op	sim / op

Certificados: CE, VDE 0126-1-1, G83, RD1663, EN50438, VDE-AR-N4105, IEC 62109, ENEL-Guide, CEI 0-21

ANEXO B - Catálogo Técnico do PowerNET P600 G4

PowerNET P-600 G4

Analizador Portátil de Grandezas elétricas

Introdução

A nova geração do PowerNET P-600 G4 é um analisador e registrador portátil de grandezas elétricas projetado para realizar medição em sistemas de distribuição de energia elétrica. Pode ser usado para medir valores instantâneos, agregados e estatísticos das principais grandezas atribuídas para o monitoramento da qualidade da energia elétrica.

Único no mercado com entrada Mini USB. Sua interface foi desenvolvida para facilitar a navegação, tornando-se muito intuitiva e inteligente. Sua capacidade de memória é de 16MB.



Foto Ilustrativa

1. Aplicações típicas

- ✓ Análises e medições de energia;
- ✓ Atender* ao PRODIST (Módulo 8) da ANEEL;
- ✓ Utilizado pelas concessionárias de energia;
- ✓ Campanhas de medição;
- ✓ Estudos de eficiência energética.

2. Grandezas medidas/registradas

- ✓ Tensão por fase e média [V]
- ✓ Tensões Máximas e Mínimas [V]
- ✓ Corrente por fase e média [A]
- ✓ Correntes Máximas e Mínimas [A]
- ✓ Corrente de Neutro [A]
- ✓ Fator de Potência por fase e médio
- ✓ Fatores de Potência Máximos e Mínimos
- ✓ Consumo Ativo e Reativo trifásico
- ✓ Demanda Ativa e Reativa trifásica
- ✓ Energia Direta e Reversa
- ✓ Potência Ativa Instantânea por fase e média [W]
- ✓ Potência Reativa Instantânea por fase e média [VAR]
- ✓ Potência Aparente Instantânea por fase e média [VA]
- ✓ Frequência da fase de referência [Hz]
- ✓ THD de Tensão (%)
- ✓ THD de Corrente (%)
- ✓ Harmônicas Pares de Tensão (%) até 40º ordem
- ✓ Harmônicas Pares de Corrente (%) até 40º ordem
- ✓ Harmônicas Ímpares de Tensão (%) até 41º ordem
- ✓ Harmônicas Ímpares de Corrente (%) até 41º ordem

*Este equipamento não contempla integralmente os fenômenos de flutuação de tensão (flicker) e variações de tensão de curta duração: interrupção, afundamento (sag) e elevação (swell). Para esta aplicação consultar o [PowerNET PQ-600](#).

3. Exatidão

01. Tensão	$\pm 0,20\%$
02. Corrente	$\pm 0,20\% \pm 1\%$ do sensor de corrente
03. Frequência	$\pm 0,01$ Hz
04. Potências	$\pm 0,40\% \pm 1\%$ do sensor de corrente
05. Fator de potência	$\pm 0,40\% \pm 1\%$ do sensor de corrente

4. Características elétricas

01. Alimentação AC	70 a 300 Vac
02. Alimentação DC	Sob consulta
03. Consumo	20 VA
04. Frequência	50 ou 60 Hz*
05. Indicação de Sequência de Fase	Sim
06. Medição de corrente com alicate rígido	10A ou 200A (opcional)
07. Medição de Corrente com Sensor Flexível	1000A ou 3000A*
08. Medição de Tensão	50 a 500 Vac
09. Memória de Massa	16MB
10. Tipo de Ligação	Delta / Estrela / Monofásico / bifásico / Bifásico+neutro

*Escolher na hora da compra

5. Características mecânicas

01. Dimensões - AxLxP	285 x 208 x 125mm
02. Display	4 linhas x 20 colunas (80 caracteres)
03. Backlight	Sim
04. Grau de Proteção	IP 659
05. Material Construtivo	Termoplástico com alta resistência mecânica, antichama e proteção UV
06. Peso	1,6 Kg aproximadamente

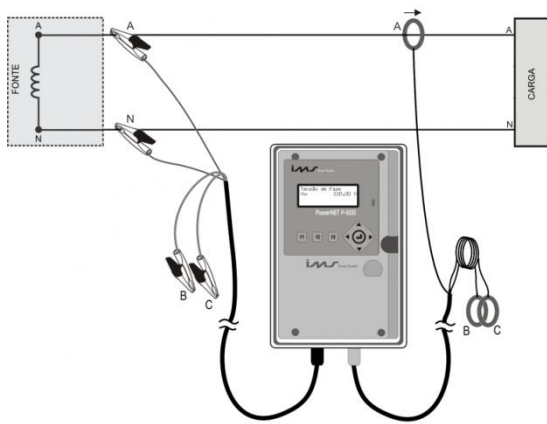
6. Comunicação

01. Número de portas	1 (USB CDC)
02. Padrão elétrico	USB Mini
03. Protocolo	MODBUS-RTU

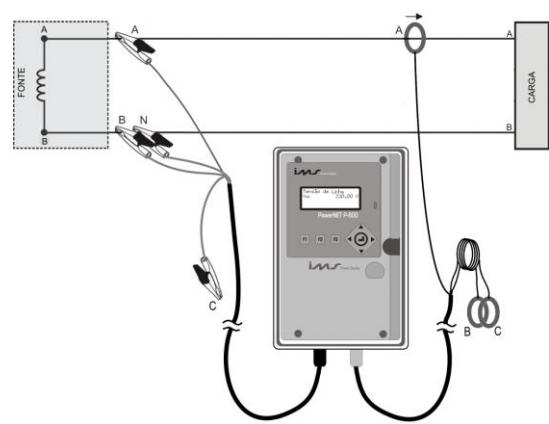
7. Parâmetros programáveis

01. Primário do TP	50 a 999999V
02. Secundário do TP	50 a 500V
03. Primário do TC	1 a 99999A
04. Secundário do TC	1 a 99999A
05. Número de elementos	2 ou 3
06. Intervalo de registros	00:00:00:200 a 24:00:00.000
07. Tipo de ligação	Delta/Estrela
08. Tipo de memória	Linear/Circular
09. Relógio	Data/Horário
10. Taxa de atualização do display	Sim
11. Parâmetros de perturbação	Sim
12. Parâmetros da ANEEL	Sim
13. Endereço de rede	Sim

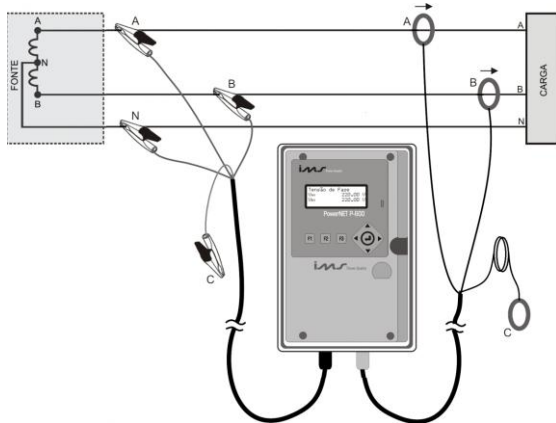
8. Tipos de ligações



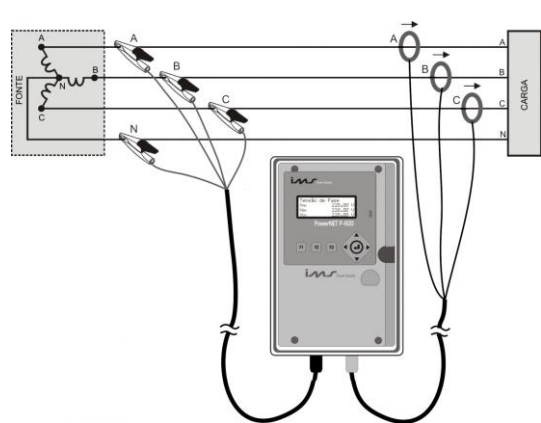
Sistema 01: 1P2W-1V1C - Monofásico (LN)



Sistema 02: 2P2W-1V1C - Bifásico (LL)



Sistema 03: 2P3W-2V2C - Bifásico (LL+N)



Sistema 04: 3P4W-3V3C - Trifásico 4 Fios, Estrela, Conexão Direta

9. Softwares aplicáveis

- ✓ PowerMANAGER Desktop que acompanha o equipamento;
- ✓ PowerMANAGER WEB – Gerenciamento via internet.

10. Itens fornecidos com o produto

- ✓ Guia rápido de instalação e operação;
- ✓ Pinças de medição de tensão tipo jacaré;
- ✓ Conjunto de sensores flexíveis de corrente e/ou alicates rígidos;
- ✓ Cabo de comunicação (USB – Mini USB);
- ✓ Bolsa para transporte do equipamento e acessórios;
- ✓ Software PowerMANAGER Desktop Standard.

11. Acessórios opcionais

- ✓ Adaptador de TCs (adapta qualquer TC “xxx/5A” para realizar medições de correntes com o PowerNET P-600);
- ✓ Software PowerMANAGER WEB;
- ✓ CD contendo os documentos técnicos da linha de produtos IMS.

12. Normas atendidas

- ✓ IEC 61000-4-7;
- ✓ IEC 61000-4-15.



IMS Soluções em Energia Ltda
Av. Bernardino Silveira Pastoriza, 720 - Porto Alegre/RS - Brasil
Fone: +55 51 3382.2300 | Fax: +55 51 3382.2301
www.ims.ind.br | ims@ims.ind.br

A IMS dispõe de uma linha completa de multimedidores, transdutores, controladores de demanda, controladores de fator de potência, analisadores portáteis de qualidade da energia e softwares de gerenciamento. As informações contidas neste catálogo têm por objetivo auxiliá-lo na utilização e especificação correta do equipamento. Devido ao constante aperfeiçoamento, a **IMS se reserva no direito de alterar as informações contidas neste material sem aviso prévio.**