



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPT 14
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS- GPT

AValiação DO IMPACTO DA CONEXÃO DE EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOBRE O SISTEMA ELÉTRICO ENFOCANDO OS INDICADORES DA QUALIDADE DA ENERGIA

**Rodrigo A. Peniche¹ * Alexandre R. Aoki¹ José M. M. Silva¹ Mateus D. Teixeira² José L. Brittes³
Antônio R. Donadon³ João C. Camargo⁴**

(1)LACTEC/PR (2) ARTECHE/PR (3) CPFL/SP (4)HYTRON/UNICAMP

RESUMO

A proliferação de equipamentos de geração distribuída e seus impactos sobre o sistema de energia elétrica tornaram-se temas de extrema relevância para o setor elétrico. Atualmente, existem inúmeras tecnologias voltadas à geração de energia próxima aos consumidores finais, citando-se como as mais relevantes, as células a combustível, os sistemas fotovoltaicos e as microturbinas. Não obstante cada tecnologia possua suas particularidades técnicas, neste trabalho, focar-se-á a microturbina, por se tratar de uma das mais promissoras tecnologias de GD. Nesta perspectiva, o presente trabalho se propõe a investigar o impacto da operação de uma microturbina (modelo C30, potência de 30 kW, do fabricante *Capstone*), sobre o sistema elétrico através da monitoração e análise dos indicadores associados à qualidade da energia elétrica. As investigações recaíram sobre as distorções harmônicas de tensão e corrente, aos desequilíbrios de tensão e às variações de tensão em regime permanente.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Distribuída, Microturbinas, Qualidade da Energia Elétrica, Distorções Harmônicas, Desequilíbrios de Tensão

1.0 - INTRODUÇÃO

O mundo está assistindo uma mudança completa nos modelos de produção e suprimento de energia e de eletricidade, em particular. Cada vez se torna mais difícil a construção de grandes usinas (hidrelétricas ou não) por restrições ambientais, o petróleo se torna escasso e caro e a queima de carvão nos ameaça com "terríveis" alterações climáticas. Por outro lado, o desenvolvimento tecnológico nos permite utilizar novos energéticos (luz solar, biomassa, vento) e a eletrônica de potência facilita consideravelmente a conexão de pequenos geradores, de maneira segura.

A geração de energia através de pequenos geradores dispersos e isolados é algo bastante comum e vem sendo feito desde os primórdios da eletricidade. Em algumas regiões do mundo e do Brasil, esta ainda é a forma predominante de geração. Porém, as concessionárias sempre criaram barreiras à conexão de pequenas fontes aos seus sistemas de transmissão e distribuição. Contudo, em vista da possível escassez de energia e da existência de novos equipamentos, esta conexão está se tornando necessária.

Atualmente, existem inúmeras tecnologias voltadas à geração de energia distribuída (GD), próxima aos consumidores finais, citando-se como as mais relevantes, as células a combustível, os sistemas fotovoltaicos e as microturbinas. Não obstante cada tecnologia possua suas particularidades técnicas, neste trabalho, focar-se-á a microturbina, por se tratar de uma das mais promissoras tecnologias de GD.

Essencialmente, a microturbina é composta por uma turbina a combustão e por um gerador elétrico, conectados ao mesmo eixo, produzindo tensão alternada em alta frequência. A tensão terminal compatível com a

rede elétrica é obtida mediante o uso de um conversor CA/CC, um elo de corrente contínua e um conversor CC/CA, ligados em cascata nos terminais do gerador elétrico.

Devido à possibilidade de utilização em grande escala das microturbinas, somada a forte presença de conversores eletrônicos em sua construção, torna-se imperativo quantificar os impactos causados por estes equipamentos sobre o sistema elétrico, enfocando, sobretudo, os fenômenos da qualidade da energia elétrica. Inserido neste contexto encontra-se este trabalho, que se propõe a investigar a operação de uma microturbina (modelo C30, potência de 30 kW, do fabricante Capstone), através da monitoração e análise dos indicadores associados à qualidade da energia elétrica, após a sua conexão com a rede elétrica.

No entanto, com o intuito de evitar riscos ao sistema da concessionária e aos seus consumidores, os estudos foram realizados em um sistema elétrico hipotético representativo da rede de distribuição de energia. O sistema foi composto por um grupo motor-gerador diesel, cargas elétricas lineares e não lineares e a microturbina. A estruturação laboratorial e a avaliação do impacto sobre a rede elétrica foram concebidos em consonância com o Padrão Normativo IEEE 1547, “*Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*”, cujo conteúdo discorre sobre testes em equipamentos de interconexão da GD com o sistema elétrico (1). Adicionalmente, foram consideradas para os trabalhos de investigação aqui propostos as diretrizes dos Procedimentos da Distribuição (PRODIST) (2) e dos Procedimentos de Rede do ONS (3).

2.0 - ESTRATÉGIAS PARA A REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS

Os estudos realizados neste trabalho, conforme já mencionado anteriormente, abrangeram essencialmente investigações experimentais, focadas nos aspectos da qualidade da tensão de suprimento, quando da conexão de equipamentos de geração distribuída em paralelo com a rede de distribuição em baixa tensão. A estruturação laboratorial e as análises conduzidas para avaliar os resultados dos ensaios sobre a qualidade da energia elétrica foram respaldadas pelo Padrão IEEE 1547, pelos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico e pelos Procedimentos de Distribuição, ainda em fase de revisão. Na seqüência do texto encontram-se detalhados toda a estrutura laboratorial utilizada nos estudos bem como as diretrizes estabelecidas para a realização do presente trabalho.

2.1 Identificação do Equipamento de Geração Distribuída Utilizado nos Ensaios

O equipamento sob investigação neste trabalho refere-se à Microturbina, modelo C30, fabricado pela Capstone e disponível comercialmente. A fotografia do aparelho utilizado nos ensaios laboratoriais encontra-se ilustrada na Figura 1(a). Como a tensão gerada pela microturbina é incompatível com a tensão da rede elétrica de distribuição, foi necessário utilizar um transformador de ajuste, apresentado na Figura 1(b), para possibilitar a operação do equipamento em paralelo com o sistema de energia.



(a) Microturbina Capstone 30kW



(b) Transformador 45kVA 220/380V

FIGURA 1 – Sistema Microturbina Utilizado nos Ensaios

Essencialmente, a microturbina é composta por uma turbina a combustão e por um gerador elétrico, conectados ao mesmo eixo, produzindo tensão alternada em alta frequência. A tensão terminal compatível com a rede elétrica e com os equipamentos elétricos convencionais é obtida mediante o uso de conversores eletrônicos. As principais características operativas da microturbina encontram-se sintetizadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Parâmetros do Equipamento Utilizado nos Ensaios

Tensão Nominal [V]	Frequência [Hz]	Corrente Nominal [A]	Potência Nominal [kW]
360~480	Entre 10 e 60	46 por fase	30

2.2 Estrutura Laboratorial

A conexão de geradores modulares de energia na rede de distribuição em baixa tensão deve ser respaldada por uma série de exigências de segurança, tanto para os recursos técnicos da rede elétrica, quanto para os recursos humanos que acessam o sistema da concessionária. Devido às citadas restrições e diante da necessidade da realização de ensaios laboratoriais, optou-se por estruturar um sistema elétrico hipotético que representasse, com certa margem de fidelidade, o sistema real da concessionária.

Para se atingir o propósito mencionado, utilizou-se um grupo motor-gerador diesel, cuja capacidade de fornecimento gira em torno de 150 kVA, em 220 V. A seleção do grupo motor-gerador diesel, conforme citado anteriormente, obedeceu aos requisitos estabelecidos pela norma IEEE 1547. Complementarmente ao gerador, utilizou-se nos ensaios um grupo de cargas elétricas (uma carga linear ativa 38kW, um transformador operando em vazio 45kVA) e dois equipamentos de aquisição e tratamento de dados. O diagrama unifilar do sistema elétrico estruturado para a realização dos ensaios encontra-se ilustrado na Figura 2.

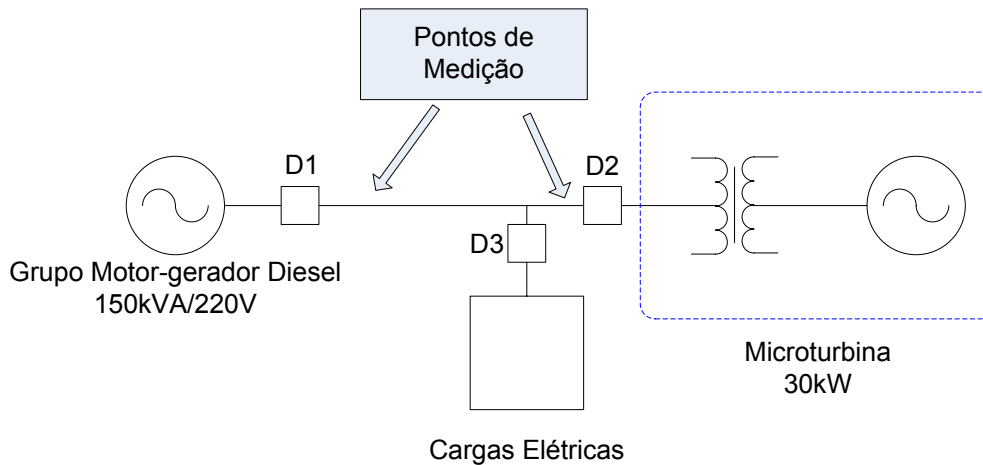


FIGURA 2 – Diagrama Esquemático da Microturbina

Deve-se ressaltar que a aquisição dos sinais de tensão e corrente, durante a aplicação dos ensaios, foi feita nos terminais de saída da microturbina (Transformador) e nos terminais do grupo motor-gerador diesel (barramento 220V). As Figuras 3 (a) e (b) apresentam os equipamentos e a estrutura laboratorial utilizada nos ensaios.



(a) Grupo Motor-Gerador Diesel 150kVA – 220V



(b) Montagem Laboratorial

FIGURA 3 – Estrutura Laboratorial Utilizada nos Ensaios

2.3 Normas e Recomendações Limites Admissíveis

Uma ampla gama de questões surge quando unidades de geração distribuída (GD) são conectadas ao sistema elétrico da concessionária. As mais importantes estão relacionadas com o desempenho da proteção, confiabilidade e operação do sistema elétrico diante da iminente utilização massiva deste tipo de tecnologia. Esta preocupação ganha proporções maiores pelo fato da geração distribuída dispor de diferentes tipos de tecnologia para a produção de energia elétrica. Em face desta diversidade de opções tecnológicas na geração de energia

dispersa, aliada a forte presença de componentes eletrônicos na sua interface com a rede elétrica, torna-se extremamente necessário o estabelecimento de resoluções normativas para avaliar a interconexão de equipamentos de geração distribuída com o sistema elétrico.

Vislumbrando preencher esta lacuna o IEEE publicou, em 2003, um padrão normativo para auxiliar as concessionárias e os usuários de energia elétrica sobre a instalação de fontes modulares de geração de energia à rede elétrica. Trata-se do Padrão IEEE 1547, citado anteriormente, cujo foco principal associa-se com o estabelecimento de critérios e requisitos para a conexão de tecnologias de geração distribuída no sistema elétrico de potência. Mais precisamente, este documento apresenta algumas exigências concernentes ao desempenho, à operação, à estruturação de testes, à segurança e à manutenção associados com a conexão da GD ao sistema elétrico. Apesar da abrangência do referido padrão normativo, neste trabalho foram enfocados tão somente os requisitos afetos à qualidade da energia elétrica.

No âmbito nacional, o PRODIST (Procedimentos de Distribuição) terá como objetivo possibilitar o acesso aos sistemas de distribuição tanto para consumidores como para produtores de energia, garantindo que os indicadores de desempenho ou de qualidade de serviço sejam atingidos de forma clara e transparente, preservando, dentre outros aspectos, a segurança, a eficiência e a confiabilidade dos sistemas elétricos. No entanto, é importante salientar que os procedimentos da distribuição se encontram em fase de revisão, sendo que a última versão foi atualizada em agosto de 2006. Deve-se destacar por fim, que os Procedimentos de Rede do ONS também foram consultados para nortear as atividades ora propostas.

Dentro deste contexto, após uma minuciosa investigação nas referências normativas citadas anteriormente, ficou evidenciado que o impacto da conexão de equipamentos de geração distribuída sobre a qualidade da energia elétrica do sistema de distribuição deve ser mensurado através dos seguintes indicadores: distorções harmônicas de tensão e corrente, níveis de desequilíbrios e regulação de tensão.

2.3.1 Níveis de Tensão em Regime Permanente

A interconexão de equipamentos de geração distribuída com a rede elétrica não pode provocar variações dos níveis de tensão no ponto de acoplamento comum, de forma a causar violações de limites proibitivos pré-estabelecidos. Os níveis de tensão eficazes nos sistemas em baixa tensão devem permanecer dentro de certos patamares que garantam o correto funcionamento de equipamentos elétricos. No Brasil, os níveis de tensão em regime permanente são regulamentados pela Resolução nº. 505 da ANEEL. Para uma maior clareza, a Tabela 2 apresenta os limites permitidos para variação de tensão em regime permanente, ao nível de distribuição em baixa tensão, conforme estabelecido pela ANEEL.

TABELA 2 – Pontos de Entrega em Tensão Nominal Igual ou Inferior a 1kV

TENSÕES NOMINAIS PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Precários das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)
Ligação	Volts			
Trifásico	(220) (127)	(201≤TL≤231) (116≤TL≤133)	(189≤TL<201 ou 231<TL≤233) (109≤TL<116 ou 133<TL≤140)	(TL<189 ou TL>233) (TL<109 ou TL>140)

2.3.2 Distorções Harmônicas

Os limites de distorção harmônica de tensão, no cenário nacional, serão estabelecidos pelo PRODIST, cuja abrangência contemplará principalmente as redes de distribuição de energia elétrica. Neste contexto, a tensão gerada pelos equipamentos de GD conectados à rede de distribuição deverá atender aos requisitos estabelecidos na presente norma. A Tabela 3 apresenta os limites estabelecidos pelo PRODIST no tocante às distorções harmônicas de tensão.

TABELA 3 - Níveis de referência para distorções harmônicas de tensão

Vn ≤ 1 kV			
Ímpares		Pares	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3 e 7	6,5	2	2,5
5	7,5	4	1,5
11	4,5	≥ 6	1
13	4,0	-	-
17	2,5	-	-
Demais ordens	>2,0	-	-
Distorção Total = 10%			

Para complementar as informações sobre o fenômeno harmônico, o IEEE 1547 estabelece que quando o equipamento de GD estiver suprindo cargas lineares e equilibradas, o conteúdo harmônico de corrente deve permanecer dentro de patamares estabelecidos. A Tabela 4 apresenta tais restrições.

TABELA 4 – Resumo dos índices de conformidade para harmônicos de corrente.

Ordem Harmônica	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	Distorção Harmônica Total de Demanda (DDT)
Percentual (%)	4,00	2,00	1,50	0,60	0,30	5,00

2.3.3 Desequilíbrios de Tensão

A Tabela 5, elaborada com base nos documentos consultados, quantifica os índices de conformidade referentes aos desequilíbrios de tensão.

TABELA 5 – Limite global do Fator de desequilíbrio (Metodologia das Componentes Simétricas).

Recomendação / Norma	Limite
ONS - Submódulo 2.2	2%
PRODIST	2%

3.0 - SITUAÇÕES INVESTIGADAS

Os estudos a serem enfocados neste trabalho visaram atender as análises do impacto da conexão de GD à rede elétrica, enfocando a investigação de distúrbios do tipo: distorções harmônicas, desequilíbrios de tensão e variações de tensão em regime permanente. Para um maior esclarecimento acerca dos ensaios elaborados para atender o escopo deste artigo, a título de ilustração, mostra-se, na Tabela 6, detalhes associados aos testes selecionados.

TABELA 6 – Casos investigados

Ensaio	Objetivo	Características
1.1	Análise do Sistema Elétrico sem a Presença da Microturbina	<ul style="list-style-type: none"> Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; Banco de Resistência de 38kW
1.2	Microturbina Operando em Vazio	<ul style="list-style-type: none"> Microturbina programa para operar no modo "stand alone"
1.3	Microturbina Fornecendo 5,5kW ao Sistema Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; Microturbina fornecendo 5,5kW ao sistema; Banco de Resistência de 38kW
1.4	Microturbina Fornecendo 15kW ao Sistema Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; Microturbina fornecendo 5,5kW ao sistema; Banco de Resistência de 38kW
1.5	Microturbina Fornecendo 30kW ao Sistema Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; Microturbina fornecendo 5,5kW ao sistema; Banco de Resistência de 38kW

4.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados oriundos dos testes nos equipamentos de Geração Distribuída conforme apresentado em tabelas anteriores. Por questões de compactação do espaço e objetivando evitar repetições desnecessárias que não trariam qualquer benefício adicional, a opção feita nesta etapa dos trabalhos foi pela citação e fornecimento apenas dos resultados mais críticos.

4.1 Síntese dos Resultados do Ensaio 1.1

Neste teste foram realizadas monitorações no sistema elétrico hipotético, com o intuito de analisar os indicadores da qualidade da energia elétrica mais relevantes, quando o sistema opera sem a presença de fontes de geração distribuída. O objetivo deste ensaio foi obter valores de referência, que serão confrontados com os resultados das monitorações dos ensaios com a microturbina, vislumbrando mensurar o impacto da instalação desta sobre o sistema elétrico. As medições foram executadas quando o sistema hipotético alimentava o banco resistivo de 38kW juntamente com o transformador de 45kVA a vazio. A Tabela 7 apresenta uma síntese sobre as medições conduzidas no sistema elétrico hipotético.

TABELA 7 – Síntese dos resultados do ensaio

Grandeza e Unidade		Valor Nominal ou Recomendado	Valores Medidos		
			Máximo	Mínimo	Médio
Tensão RMS Rede Elétrica [V]	A	127	127,00	127,00	127,00
	B		127,00	126,00	126,45
	C		127,00	127,00	127,00
DHTV [%]	A	6	2,10	1,80	1,97
	B		2,50	2,10	2,21
	C		2,50	2,00	2,22
Desequilíbrio [%]		2	0,21	0,19	0,20

4.2 Síntese dos Resultados do Ensaio 1.5

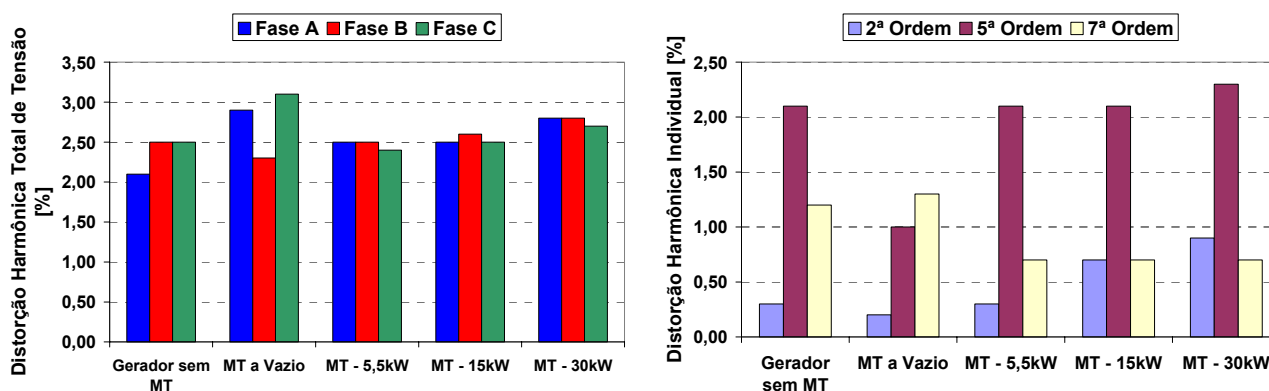
A Tabela 8 apresenta, de forma resumida, os valores mais relevantes obtidos através do ensaio experimental quando a microturbina fornecia 30 kW à rede.

TABELA 8 – Síntese dos resultados do ensaio

Grandeza e Unidade		Valor Nominal ou Recomendado	Valores Medidos		
			Máximo	Mínimo	Médio
Tensão RMS Rede Elétrica [V]	A	127	127,03	126,97	127,00
	B		126,69	126,63	126,65
	C		126,09	126,04	126,06
DHVT [%]	A	6	2,80	2,30	2,47
	B		2,80	2,20	2,48
	C		2,70	2,20	2,46
Desequilíbrio [%]		2	0,22	0,21	0,22
Corrente RMS Microturbina [A]	A	77,72	63,92	62,66	63,34
	B		64,92	63,70	64,36
	C		67,13	65,89	66,55
DHIT [%]	A	-	19,30	14,80	16,99
	B		18,20	14,70	16,49
	C		18,00	13,90	16,11
DDT [%]	A	5,00	15,31	-	-
	B		14,57	-	-
	C		15,00	-	-

4.3 Análise Comparativa dos Resultados

A Figura 4 (a) e 4 (b) apresentam, respectivamente, o gráfico comparativo das distorções harmônicas totais e individuais mais significativas da tensão para todas as situações analisadas anteriormente.

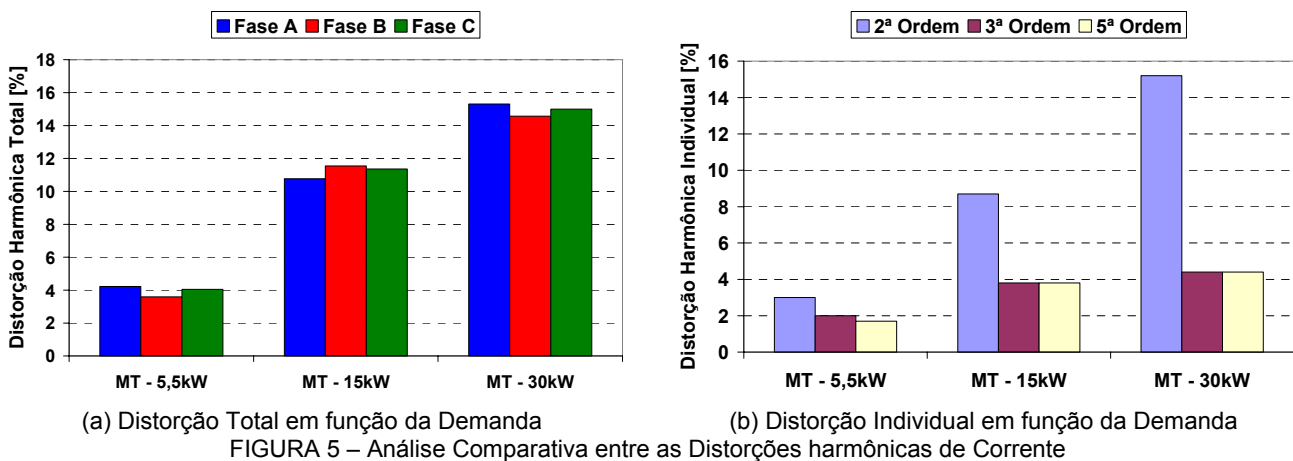


(a) Distorção Total

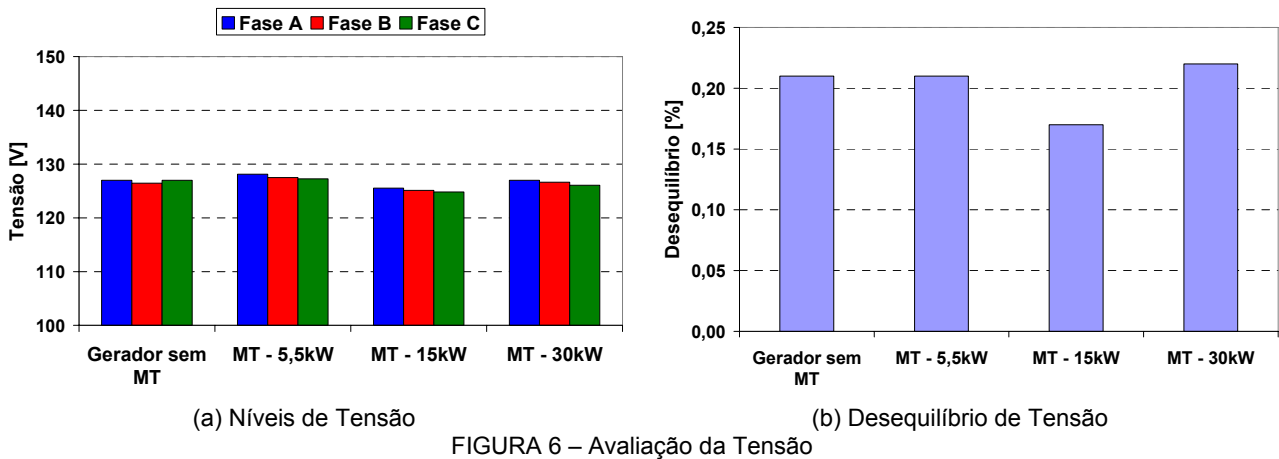
(b) Distorção Individual mais Significativa

FIGURA 4 – Análise Comparativa entre as Distorções harmônicas de tensão

No que concerne às correntes harmônicas, a Figura 5 (a) e (b) apresentam o comportamento da distorção total e individual em função da demanda.



A Figura 6 (a) apresenta o gráfico comparativo dos níveis de tensão para as diversas situações estudadas. Com relação ao desequilíbrio de tensão, o gráfico de barras ilustrando o comparativo entre os resultados dos ensaios, está apresentado na figura 6 (b).



Após a apresentação dos resultados concernentes à qualidade da energia elétrica, deve-se destacar que:

- Para todos os ensaios afetos à qualidade da energia elétrica, não houve aumento significativos das distorções harmônicas de tensão, conforme ficou evidenciado pelo gráfico da figura 4 (a). Os maiores patamares de distorção harmônica, registrados para o caso no qual a microturbina operava em plena carga, não transgrediram o limite recomendado pelo PRODIST.
- O mesmo parecer pode ser aplicado às harmônicas individuais de tensão, cuja ordem mais significativa foi a 5ª harmônica.
- No que concerne às harmônicas de corrente, verificou-se que a tendência do indicador DDT foi aumentar na medida em que a microturbina operava próximo aos seus limites nominais. Analisando a figura 5 (a), observou-se que para os ensaios 1.4 e 1.5 os níveis de DDT extrapolaram os limites recomendados pelo IEEE 1547. No entanto, deve-se destacar que tal limite somente pode ser aplicado quando o equipamento de GD alimenta cargas lineares equilibradas, o que não foi o caso para os ensaios aplicados. Ademais, fazendo uma correlação deste indicador, com a distorção de tensão, pode-se concluir que, não obstante tenha sido registrado um alto grau de distorção da corrente, este não implicou na degradação da tensão do sistema elétrico.
- Quanto às distorções individuais de corrente, pode-se observar um alto conteúdo harmônico de 2ª ordem nos testes com a microturbina. Apesar deste nível acentuado não ter provocado distorções acentuadas na tensão do sistema, a circulação de correntes de ordens pares pode provocar efeitos indesejáveis sobre o sistema elétrico.
- Com relação aos desequilíbrios de tensão, ficou evidenciado que não houve transgressão dos limites proibitivos impostos pela norma vigente.

5.0 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os resultados de ensaios experimentais em uma microturbina, com o intuito de avaliar a conexão deste equipamento com a rede elétrica. Os ensaios foram conduzidos de forma a atender aos requisitos estabelecidos pelo Padrão IEEE 1547. Os estudos compreenderam análises da degradação dos níveis de conformidade da tensão de suprimento da rede elétrica quando da operação desta fonte de GD enfocando, sobretudo, o conteúdo harmônico, o desequilíbrio da tensão e os níveis de tensão em regime permanente.

Os fenômenos que foram contemplados nesta avaliação atenderam as recomendações normativas utilizadas como referência nas análises do impacto. Ressalva deve ser feita para o caso do indicador DDT (Distorção Total de Demanda), cujos patamares para alguns ensaios extrapolaram os limites máximos de injeção de correntes harmônicas. Contudo, conforme evidenciado, as distorções de correntes registradas não comprometeram a conformidade da tensão do sistema elétrico.

É importante frisar que as análises da conexão de equipamentos de geração distribuída com o sistema de distribuição não se restringem somente aos fenômenos listados anteriormente. Contudo, os testes que foram realizados, certamente, irão subsidiar, com bastante grau de segurança, futuras ações para a conexão dos equipamentos de GD à rede de distribuição.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE 1547 “Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems” 2003.
- (2) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: PRODIST - Procedimentos de Distribuição, disponível no sítio: www.aneel.gov.br.
- (3) ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO: Procedimentos de Rede , disponível no sítio www.ons.org.br.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Rodrigo A. Peniche nasceu em Ijaci, MG, Brasil. É graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) desde 2002. Obteve o título de mestre em ciências pela Universidade Federal de Uberlândia em 2004. Atualmente, atua como pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) na área de qualidade da energia elétrica.

Alexandre R. Aoki nasceu em Bauru, SP, Brasil. É engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) desde 1996. Obteve os títulos de Mestre e Doutor pela UNIFEI em 1999 e 2003. Atualmente é gerente da Divisão de Sistemas Elétricos do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, atuando na área de Inteligência Artificial aplicada a Sistemas Elétricos de Potência.

José M. M. Silva possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (1979) . Atualmente é Pesquisador do Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência.

Mateus Duarte Teixeira é natural de Viçosa, MG, Brasil. Graduou-se em engenharia elétrica pela Universidade Federal de São João del Rei em 2001. Obteve o título de mestre em ciências pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em 2003. Atualmente é gerente comercial de negócios na ARTECHE EDC, atuando, principalmente na área de qualidade da energia elétrica.

José L. Brittes possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade da São Paulo. Atualmente é Coordenador de P&D da Companhia Paulista de Força e Luz.

Antônio R. Donadon possui especialização em Informática pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1990) . Atualmente é Analista de Medição Pleno da Companhia Piratininga de Força e Luz. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica.

João C. Camargo é natural de Santa Cruz do Sul, RS. É engenheiro eletricitista graduado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestre e doutor pela UNICAMP. Atualmente trabalha em projetos de pesquisa relacionados à geração distribuída e a economia do hidrogênio no Laboratório de Hidrogênio do Instituto de Física da UNICAMP e no Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE da UNICAMP.