



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GGH / 08

17 a 22 de Outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil

GRUPO I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA (GGH)

CRITÉRIOS PARA COMPARAÇÃO DE TESTES DE DESCARGAS PARCIAIS ENTRE GERADORES E SUGESTÃO PARA VALORES LIMITES.

Peter Kantardziski *
Iris Power Engineering

Vicki Warren
Iris Power Engineering

Dorinato Gomes de Lima
MRDM Engenharia Ltda

RESUMO

Monitoração de descargas parciais (DP) no enrolamento de hidrogeradores tem estado comercialmente disponível e tem sido usada com sucesso por mais de 10 anos. Uma grande quantidade de dados, adquiridos com a última geração de instrumentos em centenas de geradores de vários fabricantes e idades foi analisada recentemente. Esta análise foi a primeira tentativa estatística de se fazer comparações de DP entre máquinas diferentes, e de se avaliar os fatores que mais influenciam tais comparações. Este trabalho reflete os resultados preliminares desta análise oferecendo sugestões para melhorias futuras.

PALAVRAS CHAVES

Descargas Parciais, DP, Corona, Centelhamento

1.0 INTRODUÇÃO

O objetivo principal de se conduzir testes elétricos no estator de hidrogeradores é identificar problemas, fazer reparos com sucesso, e portanto ampliar a vida do enrolamento. Testes de descargas parciais em operação tem sido usados por décadas com este objetivo. Sendo um teste em operação, a máquina estará sujeita às condições normais de trabalho, incluindo esforços mecânicos, térmicos, químicos e elétricos. Com o tempo a máquina desenvolve mecanismos de falhas e podem aparecer vazios no isolamento. Durante o ciclo de CA a tensão através destes vazios será uma parte da tensão aplicada, determinada pela capacitância relativa. Quando a tensão exceder o limite da rigidez dielétrica (V/mm) do meio gasoso acontecerá uma

centelha elétrica. Se a centelha acontecer apenas em uma parte do espaço existente entre o condutor e o

núcleo, será definida como descarga parcial[1]. A monitoração da magnitude, quantidade e polaridade destas descargas ajudam a determinar que mecanismos de falha estão ocorrendo bem como a razão da deterioração. Descargas não são apenas sintomas de muitos mecanismos de falhas, mas também contribuem para acelerar o processo de envelhecimento. Apesar do teste de PD vir sendo usado satisfatoriamente por décadas, sua interpretação não tem sido tarefa fácil. Entende-se que dados coletados da mesma máquina sob os mesmos parâmetros, com os mesmos ajustes de teste, são diretamente comparáveis. A questão recorrente tem sido se resultados de máquinas diferentes, com diferentes ajustes de teste e de parâmetros, seriam diretamente comparáveis. A principal dificuldade na interpretação de DP em estatores, envolve a calibração de leituras em mV numa quantidade absoluta tal como pC. A calibração implica pressupor que a detecção de DP será previsível para qualquer máquina ou ajuste de teste [3]. A primeira dificuldade desta calibração é a influência da geometria da máquina e tipo de isolamento no comportamento e transmissão dos pulsos de DP. Possuindo cada máquina uma geometria única oriunda do projeto, fabricação e serviço, a calibração entre máquinas se torna virtualmente impossível.

2.0 AJUSTES DOS TESTES

2.1 Sensores e instrumentos de teste

Provavelmente, três dos maiores fatores que influenciam a detecção de DP são: amplitude da faixa de frequência, escolha e localização do sensor. Dois métodos são normalmente empregados: O primeiro utiliza dispositivos de detecção em alta frequência (>40 MHz) afim de captar a magnitude inicial do pulso. O segundo utiliza baixas frequências (< 1MHz) para integrar a energia de dissipação do pulso. A energia

IRIS POWER ENGINEERING

1 westside drive unit 2

Etobicoke – Ontario – CANADA M9C 1B2

Tel – 416 6205600 Fax 4166201995 – Email Pkan@irispower.com

total medida por qualquer destes métodos depende da frequência e faixa de teste, sendo portanto ambígua qualquer comparação entre eles. É portanto imperativo que os dados sejam obtidos utilizando-se o mesmo instrumento e a mesma configuração. Afim de minimizar qualquer ambiguidade, os resultados apresentados neste trabalho são todos obtidos com capacitores de 80pF conectados seja no anel seja nas barras de saída dos geradores. Estes capacitores bloqueiam os sinais 50/60 Hz e transmitem os pulsos de alta frequência >40MHz de rápida elevação. Os instrumentos de teste usados possuem uma faixa de entrada de 0.12 a 350MHz sendo capazes de detectar pulsos com um tempo de elevação de 1ns (DP típica possui tempo de elevação de 1 a 5ns) [2]. Baseado nos sensores e no instrumento, a faixa total de frequência de teste é de 40-350MHz.

Os acopladores podem ser instalados de duas maneiras: Diferencial (Anel) e Direcional (Barra). O esquema diferencial (utilizado normalmente em grandes geradores) requer a instalação de dois acopladores nos lados opostos do anel, sendo que ambos registram DP oriundos da máquina, rejeitando qualquer ruído que pelo arranjo, chegam simultaneamente aos mesmos.

Na forma direcional (utilizada normalmente em pequenos geradores) os dois acopladores são instalados nas barras de saída do gerador, com uma separação mínima de dois metros entre eles. Neste arranjo somente o acoplador junto á maquina registra DP oriundo da mesma, o segundo registra os ruídos do sistema.

2.2 Apresentação de dados

Os resultados obtidos a partir destes testes são separados baseado em magnitude de pico do pulso, quantidade, polaridade e localização em relação a tensão de fase a terra. Os dados são mostrados em dois formatos: O gráfico de 2D plota os dados de magnitude de pulso X quantidade de pulsos, i.e, pulsos por segundo. Somente os pulsos que ocorrem nas posições de fase esperadas para DP típicas de máquinas são incluídos no gráfico de 2D. Quatro variáveis sumárias (+NQN, -NQN, +Qm, -Qm) são calculadas automaticamente para cada acoplador (ver Figura 1).

O numero de quantidade NQN normalizado, é a soma dos retângulos aproximados sob a curva. Estes valores, separados por polaridade, representam o estado geral de degradação do enrolamento estático. A magnitude de pico Qm, por definição é a magnitude para uma repetição de 10 pulsos por segundo. A escala vertical indica o grau de deterioração do isolamento – A escala horizontal indica quão intenso são os pulsos – i.e. quão próximo de uma falha se encontra o isolamento

3.0 PROCESSO DE ANÁLISE

Registros de testes de DP em operação, coletados de centenas de máquinas foram compilados em um único conjunto de dados. Afim de se evitar duplicação de uma mesma máquina, somente os resultados dos últimos testes a plena carga, com a máquina quente, foram incluídos. A seleção foi feita tomando-se a carga e a temperatura mais altas da data mais recente para cada conjunto de dados coletados. Uma vez que o reconhecimento de padrões está além do escopo deste trabalho, somente as quatro variáveis sumárias relacionadas em 2.2 foram analisadas.

O critério de amostragem consistiu no seguinte:

- Total de exemplares de testes 13873
- Exemplares a plena carga 2470

Os dados foram divididos em acordo com o seguinte critério:

- Esquema de instalação (Anel ou Barra)
- Tipo de isolamento
- Classe de tensão
- Meio refrigerante
- Carga e temperatura

Assumiu-se que :

- Cada sensor monitora uma única seção do isolamento sendo portanto uma amostra independente
- As variáveis sumárias (Qm e NQN) refletem apenas a verdadeira DP da máquina – A técnica de rejeição de ruído do ajuste de teste efetivamente rejeita todo o ruído do sistema.

Nota: Uma vez que o propósito deste trabalho é estabelecer comparações genéricas de DP coletados de diferentes máquinas, estas premissas não afetam os resultados

4.0 ANALISES

4.1 Efeito do esquema de instalação do sensor

A divisão de dados por esquema de instalação, Anel ou Barra, está mostrada na figura 2. Não há uma diferença óbvia de resultados entre os acopladores, estejam eles instalados em uma arranjo direcional ou diferencial. Portanto, para comparações genéricas, desde que o projeto do acoplador seja consistente e que os acopladores estejam adequadamente instalados, o esquema de instalação não afeta significativamente o resultado

4.2 Efeito do tipo de Isolação

A divisão dos dados somente por tipo de isolação (ver Figura 3) não apresenta diferença significativa entre três tipos de resinas a saber: Asfalto, Poliester e Epoxi. Como esperado, as maquinas mais antigas de Asfalto-Mica, tendem a apresentar valores ligeiramente mais

altos de DP do que as novas de Classe F ou de Poliester e Epoxi. Ainda que o tipo de isolamento possa determinar qual mecanismo de falha seja mais provável, não parece haver diferença significativa no nível geral de DP com base no tipo de isolamento.

4.3 Efeito de parâmetros operacionais

A variação de parâmetros operacionais, tais como tensão, meio refrigerante, carga e temperatura, influenciam a intensidade e a quantidade de descargas medidas (DP). A tensão e o meio gasoso determinam o ponto no qual ocorre o rompimento. A dimensão física do vazão, portanto DP, pode variar com a carga e com a temperatura. Descargas que acontecem entre a superfície do isolamento e o núcleo, são também diretamente dependentes das forças mecânicas, portanto da corrente elétrica. Os efeitos de cada um destes parâmetros operacionais nos resultados dos testes de DP foram analisados como segue.

4.3.1 Tensão

Talvez o maior impacto na atividade de descarga parcial, além do meio refrigerante, seja a tensão aplicada. Afim de analisar esta influência, o conjunto de dados foi dividido em diversos intervalos baseados na tensão de operação durante o teste. Ver figura 4. Conforme esperado, baseado apenas na tensão, as máquinas que operam em tensões menores do que 7 Kv apresentam as menores quantidades de DP. Máquinas operando entre 10 e 15 Kv, apresentam padrões similares. Um aumento considerável em relação a este intervalo aparece nas máquinas operando acima de 15 Kv. A razão para esta súbita mudança não está muito clara, podendo entretanto ser devida ao projeto da máquina, fabricação, ou altas cargas nominais, típicas de máquinas nestas tensões. Devido portanto a diferença de DP observada entre os diversos intervalos de tensão, somente máquinas com tensões similares devem ser comparadas.

4.3.2 Meio Refrigerante

A divisão de dados entre gases refrigerantes confirma o impacto do hidrogênio nos resultados de DP (ver Figura 5) Sendo a rigidez dielétrica do hidrogênio muito maior do que a do ar, menor quantidade de DP é esperada em máquinas com este refrigerante. Esta expectativa é confirmada na Figura 5, onde os dados estão separados baseados em geradores com e sem hidrogênio (H₂). Devido a diferença significativa entre máquinas refrigeradas a ar e hidrogênio, é de suma importância que apenas máquinas com meios de refrigeração similares sejam comparadas.

4.3.3 Carga e Temperatura

A divisão de todos os dados por carga e temperatura, não conduz a diferenças conclusivas. A influência destes parâmetros operacionais dependem muito das condições do enrolamento do estator, para serem previsíveis. Tipicamente, máquinas que trabalham mais quentes e com cargas maiores, envelhecem mais rapidamente, são submetidas a mais mecanismos de falhas, portanto a mais DP, do que as que trabalham com cargas mais baixas, mais frias. Sendo a monitoração de descargas utilizada para detectar estes problemas, variações em carga e temperatura devem somente ser usadas para comparar resultados da mesma máquina.

Por exemplo, sendo as forças mecânicas diretamente proporcionais ao quadrado da corrente de carga, qualquer aumento de carga será acompanhado por um aumento de forças mecânicas. Se as bobinas estiverem soltas nas ranhuras, este aumento de esforços mecânicos pode conduzir a um aumento nas descargas na superfície da bobina (positiva). Neste particular o uso da monitoração contínua em operação, facilita a coleta de dados em várias cargas e temperaturas

A Figura 6 mostra os resultados de DP obtidos através de sistemas de monitoração contínua em operação, de duas máquinas do mesmo fabricante com projeto e história operacional similares, ambas com isolamento classe F, com 11 anos de operação. A máquina com as barras bem fixadas nas ranhuras, e com baixo DP, não apresenta descargas dependentes da carga. Por outro lado, a máquina com barras mal fixadas, instaladas sem calços laterais e com alto DP, mostra descargas claramente dependentes da carga. A observação destes padrões de DP torna aparente o fato de que a comparação destas máquinas ainda que similares, com base nas descargas parciais em função da carga poderia conduzir a conclusões totalmente falsas.

5.0 SUMÁRIO

Sintetizando, os maiores impactos nos resultados de teste são causados pelos Ajustes de Teste, Meio Refrigerante e Tensão. Se estes parâmetros forem mantidos relativamente constantes, comparações genéricas entre máquinas, conforme mostrado nas tabelas 1 e 2, poderão servir como referência limite para quando executar testes e inspeções adicionais afim de se determinar as condições do isolamento. Estes valores poderão também ser utilizados para o ajuste adequado dos limites de alarme para sistemas de monitoração contínua. Um alarme deve ser ajustado num ponto, onde análises posteriores se fazem recomendadas

TABELA 1- Q_m (mV) para Barra & Anel medido com um PDA-IV ou TGA (Refrigeração a Ar)

Tensão	< 7 Kv	10-15 Kv	>15 Kv
--------	--------	----------	--------

Nominal			
Bom	< 60	< 170	< 300
Mau	>140	> 400	> 600

TABELA 2- Qm (mV) para Barra & Anel medido com um PDA-IV or. TGA (Refrigeração a Hidrogênio)

Tensão nominal	< 15 Kv	15-18 Kv	> 18 Kv
Bom	Não dispon.	< 20	< 40
Mau	Não dispon.	> 150	> 90

Bom : Será assim considerado quando aproximadamente 75% dos resultados dos testes estiverem abaixo desta magnitude

Mau : Será assim considerado quando aproximadamente 10% dos resultados dos testes estiverem acima desta magnitude.

6.0 CONCLUSÃO

Tem sido bastante conhecido o fato de que dados coletados da mesma máquina operando com parâmetros similares e com os mesmos ajustes de teste, são diretamente comparáveis e os mais proveitosos. A fim de que dados de máquinas diferentes sejam comparáveis, os ajustes de testes isto é os sensores e os instrumentos devem ser os mesmos. O tipo de isolamento e arranjo de instalação, não influenciam significativamente os resultados. A tensão e o meio refrigerante podem afeta-los decisivamente, portanto, somente máquinas com projetos similares devem ser comparadas. Dependendo do tipo e das condições do isolamento, carga e temperatura também podem influenciar significativamente os resultados e portanto não podem ser usadas nestas comparações., que devem ser reservadas apenas para múltiplos testes, com a mesma máquina, tais como aqueles executados com a monitoração continua de descargas.

Fatores que influenciam significativamente os resultados	Fatores com pequena influência nos resultados
<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento de teste • Sensor • Tensão • Meio refrigerante 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de isolamento • Arranjo dos sensores

Concluindo: Se os quatro critérios – instrumento de teste, sensor, tensão e meio refrigerante forem consistentes, comparações genéricas (Tabelas 1 e 2) poderão ser feitas entre máquinas diferentes. Estes valores poderão ser utilizados para o ajuste de alarmes

para monitoração continua ou para propiciar ao pessoal de manutenção um critério adequado para aceitação de resultados de teste. Recomenda-se que em todos os casos em que os resultados indiquem algum problema, testes e inspeções adicionais sejam realizados para um diagnóstico específico. A razão de deterioração deve também ser monitorada, comparando-se os resultados de teste da mesma máquina, em condições de operação similares. Uma observação final: Testes e inspeções podem orientar o pessoal de manutenção na descoberta de quais mecanismos de falha podem estar ocorrendo em uma máquina, mas não existe maneira de se prever com precisão e segurança qual a vida restante de um isolamento.

7.0 BIBLIOGRAFIA

[1] IEEE P1434 (proposed draft) IEEE Guide to the measuring of Partial Discharges in Rotating Machinery.

[2] H.sedding “Basics of Rotating Machine Partial discharge Testing” Associação Elétrica Canadense – Quarta conferência Internacional sobre Procedimentos de Teste de Descarga Parcial em Motores e Geradores, Houston, Maio 1996.

[3] G.C.Stone “Partial Discharge Part XXV: Why PD calibration is Difficult in Motors and Generators” IEEE Electrical Insulation Magazine, janeiro/fevereiro 1998 pp 9-12

[4] M.Kurtz, J.F. Lyles,G.C.Stone “Aplicacion of Partial Discharge Testing to Hydrogenerator Maintenance “ IEEE Atas sobre Dispositivos e Sistemas de Potência.PAS-103, 1984, pp 2148-57.

8.0 BIOGRAFIA

Peter Kantardziski, nascido em 1946 em Skopje, Yugoslavia é gerente de projetos internacionais da Iris Power Engineering. Graduado em 1971 pela Universidade de Belgrado, Yugoslavia com grau B.Sc. em Engenharia Elétrica e Física. Sua experiência inclui projeto conceitual, propaganda e vendas implementação, supervisão de campo apoio e treinamento aos clientes. Desde 1989 tem estado envolvido no desenvolvimento de equipamentos de descarga parciais e serviços relacionados.

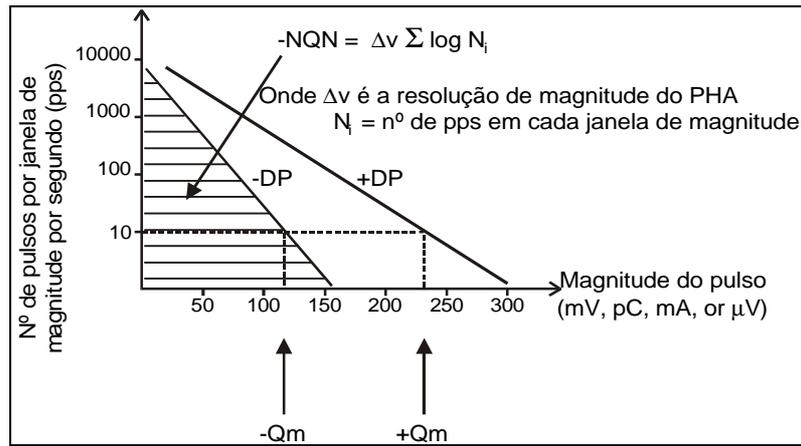


Figura 1 – Variáveis Sumárias

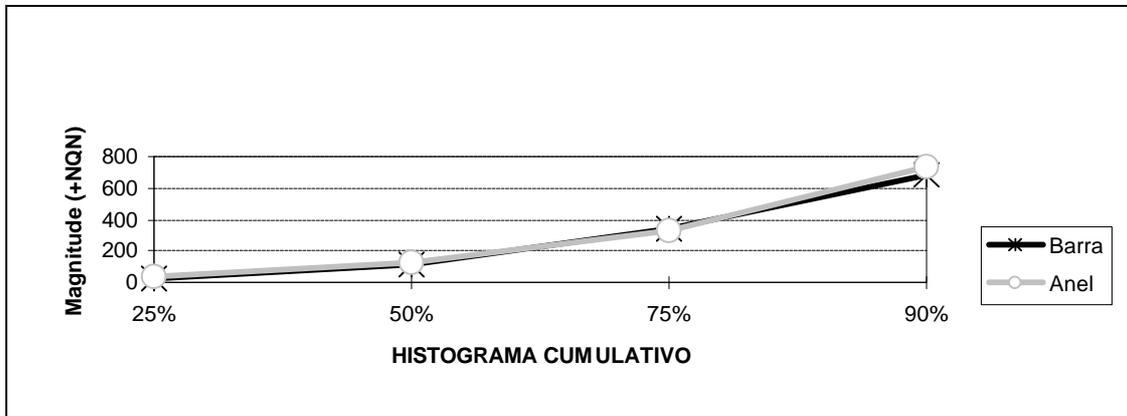


Figura 2. Efeito do esquema de instalação de acopladores / Barra & Anel

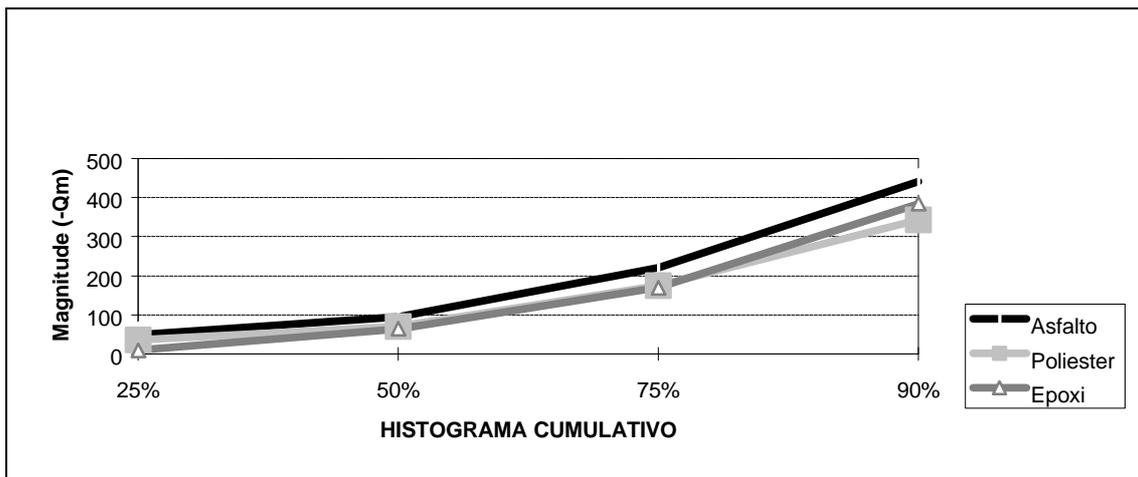


Figura 3. Efeito do tipo de isolamento (Barra & Anel)

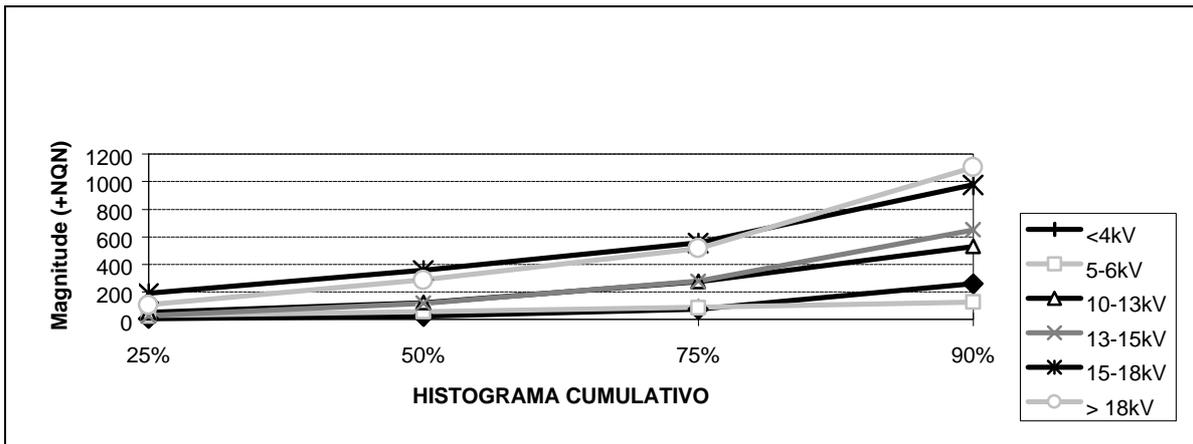


Figura 4. Efeito da tensão de operação (Barra & Anel)

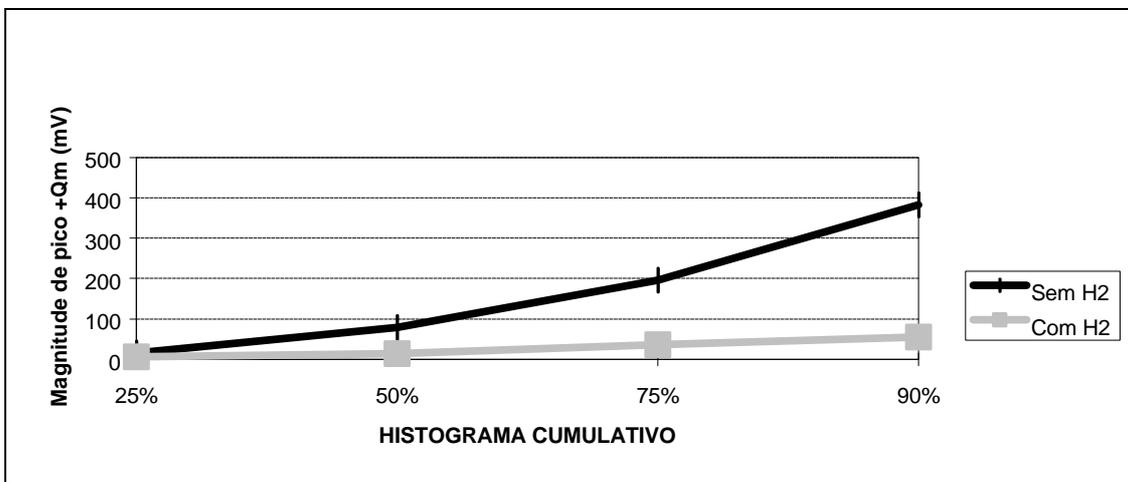


Figura 5. Efeito da Regrigeração a Hidrogênio (Barra & Anel)

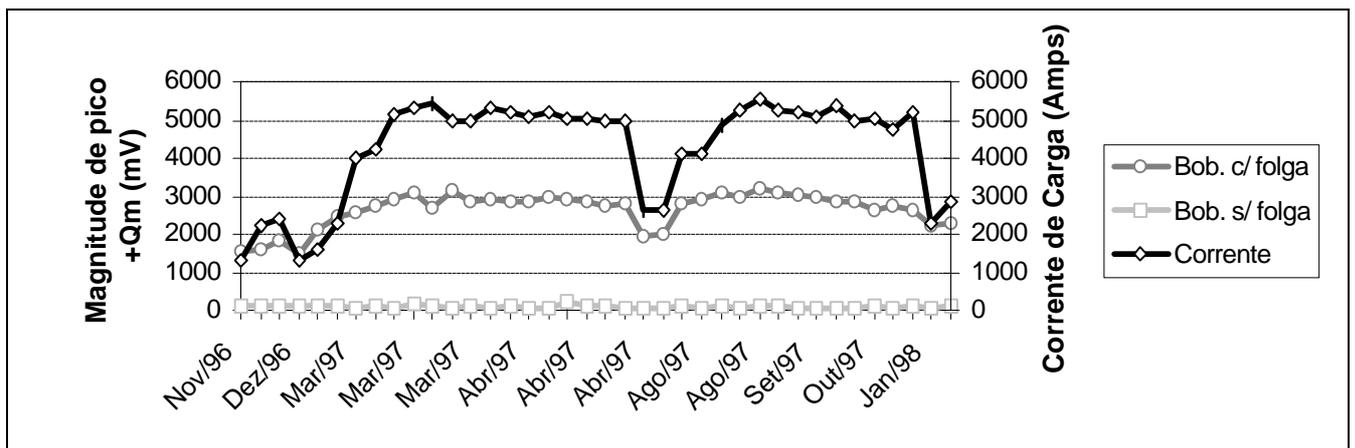


Figura 6. Efeito da Carga