



V SBQEE

Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica

17 a 20 de Agosto de 2003

Aracaju – Sergipe – Brasil



Código: AJU 02 054

Tópico: Fontes de Distúrbios

## AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS, DE ILUMINAMENTO E DE SUPORTABILIDADE A CHAVEAMENTOS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS

J. W. Resende, M.I. Samesima, D.Petean, G.C.Ribeiro \*  
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

C. Penna  
Empresa Energética do Mato Grosso do Sul  
(ENERSUL)

### RESUMO

Este trabalho apresenta resultados de investigações desenvolvidas com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC's), relativamente às suas características elétricas (níveis de distorção harmônica, valores dos fatores de potência e o consumo de potência ativa das LFC's), níveis de iluminação e níveis de suportabilidade a chaveamentos. Foram analisadas LFC's de quatro das maiores marcas vendidas no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Harmônicos, iluminação, fator de potência.

### 1.0 – INTRODUÇÃO:

Neste artigo são apresentados resultados de investigações desenvolvidas com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC's) de quatro das maiores marcas vendidas no Brasil, as quais serão denominadas, neste trabalho, por fabricantes F1, F2, F3 e F4. Os modelos das LFC's analisados nesta pesquisa compreenderam as duas potências de consumo mais vendidas (15 [W] e 20 [W]) nas duas tensões de alimentação usuais no Brasil (220 [V] e 127 [V]). Os ensaios experimentais desenvolvidos visaram investigar e comparar a performance das LFC's, com relação a:

- Características elétricas (níveis de distorção harmônica, valores dos fatores de potência e o consumo de potência ativa das LFC's);
- Níveis de iluminação;
- Níveis de suportabilidade a chaveamentos.

As lâmpadas foram adquiridas em casas de comércio especializado em material elétrico.

### 2.0 – ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DAS LFC's

Nestes ensaios foram analisadas e comparadas, para os 4 fabricantes, as seguintes características:

- Os níveis de distorção harmônica das LFC's;
- Os valores dos fatores de potência informados nas LFC's comparados com os valores medidos;
- Os valores da potência ativa nominais fornecidos pelos fabricantes e o confronto desses valores com medições efetuadas;

Os ensaios desta etapa foram realizados com o auxílio do osciloscópio digital de marca TEKTRONIX, modelo TDS 744A.

Procurando-se minimizar as eventuais particularidades individuais de uma única lâmpada, neste ensaio foram analisadas, para cada fabricante, três lâmpadas de 20W nas tensões de 127V e outras três na tensão de 220V. Assim, cada resultado a ser mostrado compreende a média aritmética dos números obtidos para três lâmpadas de cada fabricante.

#### 2.1) Análise dos níveis de distorção harmônica

##### 2.1.1) LFC's de 20W, 220V:

Inicialmente, foram medidas as correntes harmônicas de cada lâmpada. Ainda que não mostrado neste artigo (devido à limitação de espaço), durante os ensaios foi observado que a LFC do fabricante F1 é a que apresenta os maiores índices de distorções harmônicas individuais de corrente. Por outro lado, a simples observação do conteúdo harmônico individual não foi suficiente para uma comparação entre as

LFC's produzidas por F4 e F3. Isso aconteceu porque, em certas ordens harmônicas, a LFC do fabricante F4 produz mais harmônicos do que a do fabricante F3, mais precisamente: nas ordens 13, 15, 17 e 19, enquanto que o oposto ocorre nas ordens harmônicas, 9 e 11. Assim, para fins de comparação entre os fabricantes, optou-se pela análise da Distorção Harmônica Total de corrente (DHTi), a qual expressa o conteúdo harmônico com apenas um número.

Neste sentido, a figura 1<sup>a</sup> mostra que as LFC's de 20W, 220V do fabricante F1 apresentam um DHTi = 148,3%. O que confirma que esta é a LFC que mais gera harmônicos. Em segundo lugar, bem abaixo, estão as LFC's da marca F3 (DHTi=115,28%).

Praticamente empatadas ficam as LFC's das marcas F4 e F2 (111,51% e 110,91%, respectivamente).

### 2.1.2) LFC's de 20W, 127V:

Com relação à tensão de 127V, a figura 1b mostra que as LFC's da marca F1, com DHTi = 133,24%, tal como para a tensão de 220V, novamente são as que mais produzem correntes harmônicas. Em segundo lugar, com DHTi= 129,58% estão as LFC's da marca F2.

Em terceiro lugar estão as LFC's da marca F3 (DHTi = 121,79%). Em último lugar, aparecem as LFC's de marca F4 (DHTi = 106,69%).

### CONCLUSÕES PARA AS LFC's DE 20W:

As LFC's da marca F4 são as de menor conteúdo harmônico (DHTi entre 106% e 112%). As de maior conteúdo harmônico são as da marca F1 (DHTi entre 133% e 148%).

### 2.1.3) LFC's de 15W (220V e 127V)

Ainda que, por falta de espaço no artigo, os resultados relativos às LFC's de 15W não tenham sido ilustrados com gráficos, para a potência de 15W, 220V, as LFC's da marca F3 apresentaram DHTi muito alto: 167,82%, enquanto que as demais marcas ficaram bem abaixo (entre 128% e 108%).

Finalmente, para a potência de 15W, 127V, as 4 marcas não apresentam grandes diferenças de DHTi: os valores oscilam entre 121% e 109%.

## 2.2) Fator de potência (fp):

### 2.2.1) Potência de 20W:

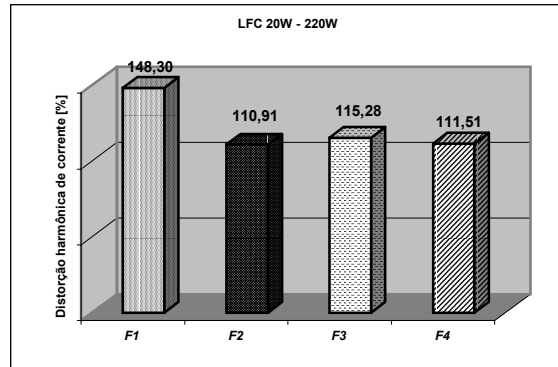
Os resultados destas medições estão ilustrados nas figuras 2a e 2b. Os fatores de potência variam entre 0,651 e 0,542.

Destacam-se aqui, pela ordem, a marca F4, com fp's de 0,651 (em 127V) e 0,618 (em 220V) e a marca F2 (com fp's de 0,623 (em 220V) e 0,582 (em 127V).

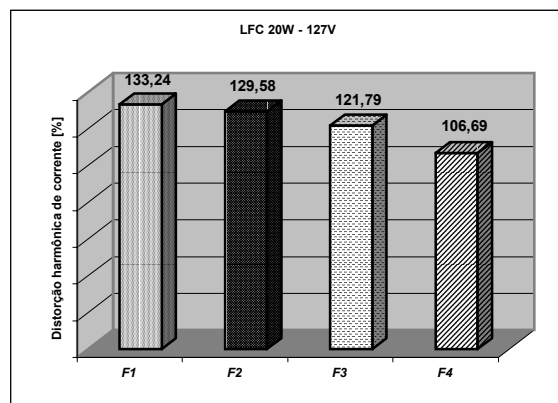
Os fp's mais baixos foram medidos nas LFC's das marcas F3 e F1 (esta apresentando o pior fp: 0,542).

### 2.2.2) Potência de 15W:

Os fatores de potência variaram entre 0,591 e 0,494 (variação em torno de 10%). Ressalta-se, porém que, nas duas tensões, as LFC's da marca F4 são as de maior fp.



(a)



(b)

Figura 1: DHT de corrente para LFC's de 20W: a) tensão de 220V; b) tensão de 127V

## 2.3- Potência ativa

Os resultados obtidos neste ensaio apresentam dois aspectos importantes a serem avaliados: o primeiro consiste na possibilidade de se confrontar os resultados das medições com os dados nominais usualmente impressos nas bases das LFC's. O segundo ponto importante é a possibilidade de se poder comparar entre si as LFC'S quanto ao consumo de energia.

### 2.3.1 Potência de 20 W:

A figura 3 ilustra os resultados das medições efetuadas. A figura 3a refere-se às LFC's de 220V. Ela mostra que:

I) A LFC da marca F1 consome 21,3W (6,3% acima do valor nominal);

II) A LFC da marca F3 consome 18,7W (6,3% abaixo do valor nominal);

III) A LFC da marca F2 consome exatamente os 20W nominais;

IV) A LFC da marca F4 consome 19,4 W (3% abaixo do valor nominal).

Com relação às LFC's de 20W na tensão de 127V (figura 3b), pode ser observado que as LFC's das marcas F1, F3 e F4 possuem consumos semelhantes e bem próximos do valor nominal. Já a LFC da marca F2 consome 22W. Isso significa um valor 10% acima do valor nominal.

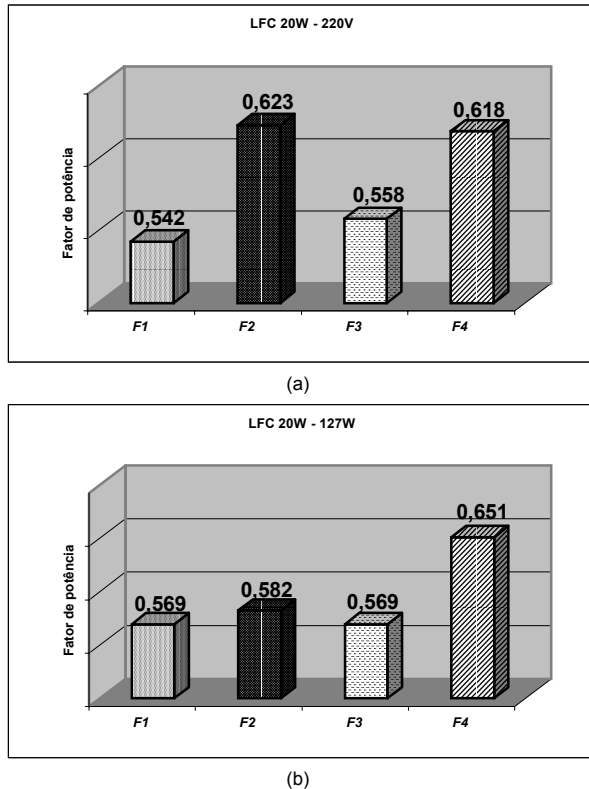


Figura 2: Fator de potência para LFC's de 20W: a) tensão de 220V; (b) tensão de 127V

### 2.3.2 Potência de 15 W:

De início, faz-se necessário destacar aqui que, na categoria de 15W, as efetivas potências nominais informadas nas próprias LFC's da marca F3 são 16W (e não 15W).

Para a tensão de 220V, obteve-se que:

I) A LFC da marca F1 consome 16,6 W (10,6% acima do valor nominal);

II) A LFC da marca F3 consome 16,4 W (2,5% acima do valor nominal de 16W).

IV) A LFC da marca F2 consome 13,4W (10,6% abaixo do valor nominal);

V) A LFC da marca F4 consome 14,3W (4,6% abaixo do valor nominal).

Com relação às LFC's de 15W na tensão de 127V, pode ser destacado que:

I) Todas as lâmpadas consomem menos do que o valor nominal de 15W. Os resultados da marca F1

surprenderam: as LFC's desta marca consomem apenas 11,8W (21,3% abaixo do valor nominal).

II) As LFC's das marcas F3 e F4 apresentaram resultados semelhantes (aproximadamente 14% abaixo do valor nominal).

A LFC da marca F2 consumiu 13,3W (11,3% abaixo do valor nominal).

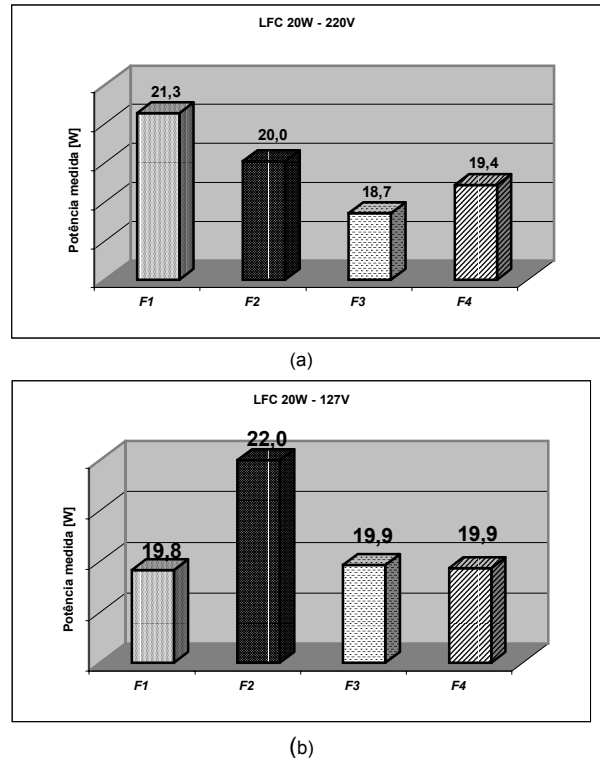


Fig. 3: Medições de Potência ativa para LFC's de 20W: (a) tensão de 220V; (b) tensão de 127V

### 3.0 – ANÁLISE COMPARATIVA DE NÍVEIS DE ILUMINAMENTO ENTRE **LFC's**:

Nesta etapa foram tomadas medições da iluminância (ou do "nível de iluminamento"), cuja unidade é [Lux], das diversas LFC's disponibilizadas. Em seguida, estes níveis foram comparados entre as LFC's de potências iguais.

Nesses ensaios, procurou-se manter as condições mais próximas possíveis de um usuário comum. Neste sentido, foram tomadas medições da iluminância sempre no mesmo local (uma pequena sala, de dimensões 3m x 3m, a qual continha paredes e teto claros).

Vale ressaltar que, nesta pequena sala, na ausência de luz artificial, o nível de iluminância era **nulo**. Isso porque, durante os ensaios, as janelas e a porta foram totalmente vedadas contra a luz solar.

As lâmpadas, ao serem testadas, foram colocadas em um receptáculo comum (base padrão E27), afixado no teto. Procurou-se, assim, medir os níveis de iluminamento de tal forma que não houvesse influência de eventual reflexão

causada por uma luminária especial. O luxímetro adotado para as medições é do tipo digital, da marca “Instrutherm”, modelo LDR-208. Dentre outras características deste medidor, destacam-se as facilidades de possuir *interface* PC da série RS-232 e ter o tipo de luz selecionável pelo usuário (conforme manual de utilização do equipamento).

O sensor ótico do referido luxímetro foi colocado em cima de uma escrivaninha. A distância entre o receptáculo das lâmpadas e o sensor ótico do luxímetro foi de aproximadamente 1,73m. Durante as medições, observou-se que o nível de iluminação das LFC's é muito dependente da posição da mesma em relação ao plano horizontal, ou seja, ao teto (que, normalmente, é um bom refletor). A tabela 1 ilustra isso. Por exemplo: a LFC de 15W, 127V do fabricante F4, na posição *vertical* em relação solo, apresentou a iluminância de 40 Lux enquanto que, na posição “*Horizontal pos3*” ilustrada na figura 4c, apresentou a iluminância de 70 Lux (um acréscimo de 75%). Neste trabalho, a posição “*Horizontal pos3*” refere-se à lâmpada colocada horizontalmente ao plano do sensor ótico enquanto que, no seu rosqueamento, os filamentos são posicionados de tal forma que façam um ângulo de 45° com o plano do teto. As demais posições mostradas na figura 4 e seus correspondentes níveis de iluminação medidos, estão na tabela 1 (apenas para a potência de 15W).

**TABELA 1: Lâmpadas fluorescentes compactas de 15W**  
Níveis de iluminação [Lux].

COR	Posição da lâmpada	15 W								
		127V				220V				
		F 4	F 3	F 2	F 1	F 4	F 3	F 2	F 1	
Temperatura da cor: 2700K (Amarela)	Vertical	40	47	48	48	45	47	44	51	
	Horizontal	Pos 1	63	69	65	73	69	64	64	73
		Pos 2	63	N F	56	N F	66	N F	57	N F
		Pos 3	70	N F	70	N F	75	N F	65	N F
Temperatura da cor: 4000K (Branca)	Vertical	44	46	42	N D	42	47	46	N D	
	Horizontal	Pos 1	68	66	55	N D	69	68	65	N D
		Pos 2	70	N F	50	N D	64	N F	56	N D
		Pos 3	74	N F	63	N D	71	N F	68	N D

**Legenda:** ND: Não encontrada para compra.

NF: Modelo não fabricado com os filamentos em paralelo, mas sim, distribuídos simetricamente (fig.4d).

Conforme mostrado na Tabela 1, na maioria dos casos, a LFC apresenta melhor iluminância quando colocada na posição “Horizontal Pos3” (figura 4c).

Diante do exposto, para fins de comparação entre as LFC's, nos resultados relativos a níveis

de iluminação que se seguem, cada tipo de LFC foi representado pela “posição” em que a lâmpada mais eficientemente se apresentou, em termos de iluminância.



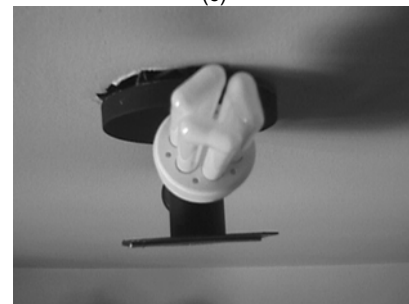
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4: Posicionamentos dos filamentos:

(a): LFC na posição “Horizontal pos1”

(b): LFC na posição “Horizontal pos2”

(c): LFC na posição “Horizontal Pos3” (filamentos fazendo um ângulo de 45° com o plano do sensor ótico).

(d): LFC com filamentos distribuídos simetricamente

### 3.1 Potência de 20W:

A figura 5a resume os resultados para as LFC's de 20W, na temperatura de cor 2700K:

I) Na tensão de 127V, destacam-se as LFC's dos fabricantes F2 (102 Lux) e F3 (104 Lux).

II) Na tensão de 220V, os melhores níveis de iluminamento são os das LFC's das marcas F2 e F4 (ambas com 95 Lux). Com níveis 10% abaixo, estão as LFC's das marcas F1 e F3.

III) A figura 5b mostra as iluminâncias medidas para as LFC's de 20W, na temperatura de cor 4000K. Na tensão de 127V, destacou-se a LFC da marca F3 (98 Lux). Aproximadamente 7% abaixo disso (91 Lux) ficou a LFC da marca F4. A LFC da marca F2 ficou bem abaixo, com apenas 81 Lux (20% abaixo da iluminância medida para a LFC da marca F3).

IV) Na tensão de 220V, a LFC da marca F2 (que ficou em último lugar na análise feita para a tensão de 127V) foi a melhor, com 100 Lux. A pior performance foi a da LFC da marca F3 (que foi a melhor para a tensão de 127V) com apenas 86 Lux (14% abaixo da marca F2).

### 3.2 Potência de 15W:

I) na temperatura de cor 2700K (cor mais amarelada) E para a tensão de 127V, a LFC da marca F1, com 73 Lux, foi a de melhor rendimento. Ressalte-se, porém, que as demais marcas não apresentaram resultados muito longe disso (entre 69 e 70 Lux).

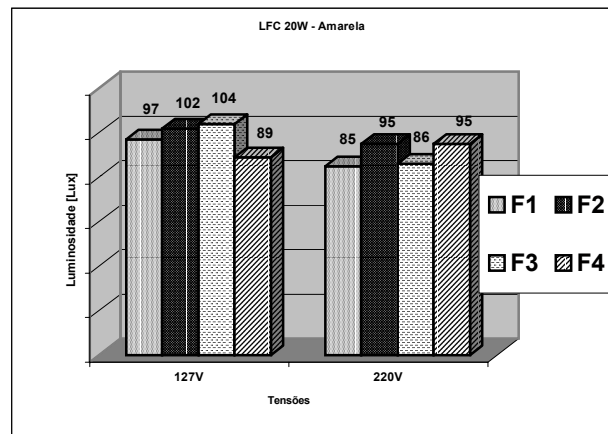
II) Ainda para a temperatura de cor 2700K, na tensão de 220V, a LFC da marca F1 continuou se destacando (73 Lux) mas a LFC de marca F4 foi ainda um pouco melhor (75 Lux). Por outro lado, as LFC's das marcas F2 e F3 apresentaram resultados cerca de 10% inferiores a este (respectivamente 65 e 64 Lux).

III) Na temperatura de cor 4000K (branca fria), ao contrário do que se notou para a tensão de 127V, houve muita diferença de rendimentos: a LFC da marca F4 desponta bem à frente das demais, com 74 Lux (as demais ficaram na faixa de 65 Lux).

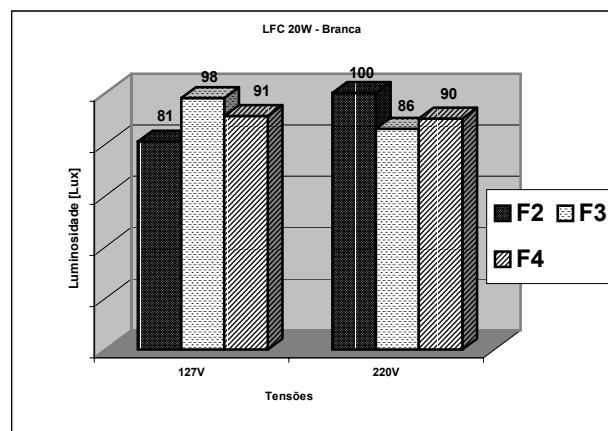
IV) Ainda para a temperatura de cor de 4000K, porém para 220V, não há muita diferença de rendimentos. Porém a marca F4 está um pouco à frente, com 71 Lux, enquanto que as demais ficaram na faixa de 68 Lux.

## 4..0 – SUPORTABILIDADE A CHAVEAMENTOS

Este tipo de ensaio compreendeu a análise da suportabilidade das LFC's a um ciclo de operações que consistiu do acionamento e da conseqüente permanência das LFC's energizadas durante um minuto. Decorrido este tempo, todas as LFC's eram desligadas e assim permaneciam por um minuto. Em seguida, este ciclo foi repetido inúmeras vezes, até que todas as LFC's não mais conseguissem operar satisfatoriamente. Nestes ensaios, para cada modelo (20W ou 15W, 127V ou 220V), foram analisadas 5 lâmpadas por fabricante. Assim, foram analisadas 80 LFC's.



(a)



(b)

Figura 5: Níveis de iluminamento para LFC's de 20W.  
(a): LFC's de cor 2700K; (b) LCF's de cor 4000K

Para fins de análise dos resultados, cada modelo de LFC (e para cada fabricante) foi representado por uma *média* entre as amostras de 3 lâmpadas ( e não das 5 lâmpadas ensaiadas). Isso foi feito no intuito de não incluir nas análises um eventual defeito de fabricação de uma lâmpada ou algum caso excepcionalmente irreal. Assim, optou-se por excluir, para cada fabricante, as lâmpadas que apresentaram os menores e maiores números de chaveamentos suportados. Os resultados destas médias entre 3 LFC's de cada fabricante estão na Tabela 2. Ainda nesta tabela e visando-se estabelecer uma base de comparação entre os fabricantes, apresenta-se uma *média (de durabilidade) por modelo* de cada fabricante.

Tabela 2: Média das suportabilidades a chaveamentos

Fabricante	15 W		20 W	
	127 V	220 V	127 V	220 V
F1	7.427	11.400	5.919	15.385
F2	6.914	7.992	10.469	8.077
F3	11.508	10.533	8.990	5.128
F4	5.522	8.707	7.281	7.481
Média por modelo	7.843	9.658	8.165	9.018

#### 4.1 Análise dos resultados:

##### I) LFC de 15W, 127V:

Nesta categoria, apenas o fabricante F3, com 11.508 acionamentos, esteve acima da média (7.843 acionamentos). A pior performance foi a do fabricante F4, com 5.522 acionamentos, o que significa 70% da média e 48% da LFC do fabricante F3.

##### II) LFC de 15W, 220V:

Neste modelo, dois fabricantes (F1 e F3) atingiram resultados acima da média (9.658). O melhor resultado (11.400) pertence ao fabricante F1 (18% acima da média). A pior performance foi do fabricante F2 (7.992 acionamentos) o que significa 83% da média (e 70% do que a LFC do fabricante F1).

##### Conclusões para LFC's de 15W:

- As LFC's de 220V suportaram bem mais chaveamentos do que as de 127V: as respectivas médias foram: 9.658 e 7.843 (este sendo apenas 81% daquele).
- Outro destaque positivo da tensão de 220V é que o desvio em torno da média foi bem menor nesta tensão. Isso sugere que a qualidade das LFC's de 220V, independentemente do fabricante, é mais homogênea.
- De uma maneira geral, destaca-se o fabricante F3, que foi o único que esteve acima da média nas duas tensões.
- Como destaques negativos, ficaram os fabricantes F4 e F2, que apresentaram resultados abaixo da média, nas duas tensões.

##### III) LFC de 20W, 127V:

- Para esta categoria, dois fabricantes estão acima da média (8.165): F2 e F3. A melhor suportabilidade é a do fabricante F2 (10.469), que supera a média (8.165) em 28%. A pior performance é a do fabricante F1 (5.919), que está 38% abaixo da média.

##### IV) LFC de 20W, 220V:

A tabela 2 mostra que, nesta categoria, está a LFC que mais suportou a acionamentos: 15.385. Este número refere-se ao fabricante F1 e está 70% acima da média correspondente.

Em contrapartida, nesta categoria está a LFC com a pior performance: é a LFC do fabricante F3, que suportou a apenas 5.128 acionamentos (76% abaixo da média).

Comparando as performances das LFC's dos fabricantes F1 (com 15.385 acionamentos) e F3 (5.128 acionamentos) tem-se uma relação em torno de 3. Ou seja, a durabilidade da LFC do fabricante F1, na potência de 20W e tensão de 220V, é três vezes maior do que a do fabricante F3.

##### Conclusões para LFC's de 20W:

- Tal como para a potência de 15W, as LFC's de 220V suportaram bem mais chaveamentos do que as de 127V (ainda que não de forma tão

acentuada como no caso da potência de 15W): as respectivas médias foram: 9.018 e 8.165 (este sendo 90,5% daquele).

- Para LFC's de 20W, 220V encontrou-se a maior diferença de suportabilidade entre fabricantes: a durabilidade da LFC do fabricante F1 é três vezes maior do que a do fabricante F3.
- O fabricante F1 se destaca na fabricação de LFC's na tensão de 220V: sua LFC de 20W, 220V, suportou 15.385 acionamentos e a sua LFC de 15W, 220V suportou 11.400 acionamentos.
- Como destaque negativo nesta categoria está o fabricante F3, cuja LFC suportou a apenas 1/3 daquela do fabricante F1.

#### 4.2 Conclusões relativas a suportabilidade a chaveamentos:

1. As LFC's na tensão de 220V suportaram mais acionamentos.
2. Para as LFC's de 15W, 220V, a variação entre as quantidades de acionamentos foi a menor. Isso sugere que a qualidade das LFC's de 15W, 220V, independentemente do fabricante, é mais homogênea. Por outro lado, em nenhuma das outras 3 categorias analisadas isso pode ser reafirmado.
3. O fabricante F1 se destacou positivamente na fabricação de LFC's na tensão de 220V: sua LFC de 20W, 220V, suportou 15.385 acionamentos e a sua LFC de 15W, 220V suportou 11.400 acionamentos. Por outro lado, na fabricação de LFC's de 20W, 127V este fabricante foi o de pior qualidade (5.919 acionamentos apenas).
4. O fabricante F3, que foi o destaque negativo nas LFC's de 20W, 220V (apenas 5.128 acionamentos, o que representa a pior performance geral da Tabela 2), por outro lado, apresentou a melhor performance para as LFC's de 15W, 127V: 11.508 acionamentos.
5. Outra conclusão surpreendente relativa ao fabricante F3: apesar de sua performance ter sido a pior dentre todos os números mostrados na Tabela 2, este fabricante é o único que, nas demais categorias, sempre apresentou resultados acima da média correspondente.
6. Em contraste com o fabricante F3, o fabricante F4, para as 4 categorias analisadas, foi o único que não apresentou nenhum resultado acima da média correspondente.

#### 5.0 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A (ENERSUL) nesta pesquisa.

#### 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schelb, A.H.C.; Samesima, M.I. – "Modelagens de cargas não lineares: lâmpadas de descarga"- Dissertação de mestrado – UFU/2000.