



## TELEVISORES A LED: MODELAGEM COMPUTACIONAL E VALIDAÇÃO SOB CONDIÇÕES DE SUPRIMENTO IDEAIS E NÃO-IDEAIS

Paulo H. O. Rezende\*<sup>1</sup>, Afonso B. Almeida Jr.<sup>2</sup>, Isaque N. Gondim<sup>1</sup>, José C. de Oliveira<sup>1</sup>, Carlos E. S. P. Filho<sup>3</sup>, Jean E. Costanzi<sup>4</sup>, Amilton F. Cardoso Jr.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>FEELT - Universidade Federal de Uberlândia

<sup>2</sup>IFTM - Instituto Federal do Triângulo Mineiro,

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisa Eldorado

<sup>4</sup>Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (CELESC)

**Resumo** — O presente trabalho propõe uma representação computacional para aparelhos televisores a LED visando, sobretudo, estudos da consistência ou não donexo causal atrelado com as análises de pedidos de indenização por danos elétricos. Tal objetivo se reveste de importância diante do crescente número de reclamações associadas com o mencionado eletrodoméstico e a necessidade da inserção do mesmo num software de análise existente para o estabelecimento da correlação entre causas e efeitos de natureza dielétrica e térmica. A proposição se fundamenta na estrutura física que compõe o equipamento em pauta e, a partir da identificação de suas principais unidades frequentemente danificadas, procede-se ao estabelecimento de uma representação computacional no simulador ATPDraw. Com vistas ao estabelecimento de um processo de validação da proposta, estudos de cunho computacional são correlacionados com experimentos laboratoriais sob condições ideais e não-ideais de suprimento, fato este que permite constatar no nível de aderência da proposta aos objetivos delineados.

**Palavras-chaves** — Qualidade da Energia Elétrica, Ressarcimento de Danos Elétricos - PID, Televisor a LED, Modelagem Computacional, Validação Experimental, ATPDraw.

### LED TV: COMPUTATIONAL MODELING AND VALIDATION UNDER IDEAL AND NON-IDEAL SUPPLY

**Abstract** – This work proposes a computational modeling for LED TV's in order to support reimbursement requests analysis. It is important to highlight the increasing number of requests concerning this device and the need of reliable models on simulation studies. These studies are performed to evaluate the relationship between causes and effects from dielectric and thermal nature, using an existing analysis software. This proposal is based on the equipment physical structure and, after the identification of its most common damage units, a computational modeling is implemented using ATPDraw software. In order to validate the strategy, experimental analysis are made and correlated with the computational results under ideal and non-ideal supply.

\*paulohenrique.rezende@ufu.br

**Keywords** – Power Quality, Reimbursement Requests, LED TV, Computational Modeling, Experimental Validation, ATPDraw.

### I. INTRODUÇÃO

O grande número de pedidos de ressarcimento por danos em equipamentos elétricos e eletrônicos tem, nos últimos tempos, merecido a atenção das concessionárias de energia, agências de regulação, consumidores e outros órgãos governamentais. Tais preocupações estão associadas não apenas com os volumes financeiros envolvidos, mas, sobretudo, com os impactos sociais atrelados com solicitações, decisões, conflitos e outras questões que envolvem a relação entre as concessionárias de serviços públicos de distribuição e seus consumidores.

Por conseguinte, o tema vem motivando investigações direcionadas à melhoria do processo de análise das questões em foco, domínio e difusão do conhecimento da correlação entre os distúrbios e efeitos [1], assim como o fornecimento de diretrizes para o oferecimento de produtos que possuam um maior nível de suportabilidade diante dos distúrbios típicos nas redes elétricas [2][3].

A primeira destas frentes aponta no sentido do estabelecimento de um processo avaliativo dos pedidos de indenização de forma justa e coesa; a segunda visa à obtenção de dados que esclareçam sobre a relação entre as solicitações térmicas e dielétricas sobre os equipamentos; e a terceira contempla aspectos relacionados com melhorias da fabricação dos diversos componentes presentes nas instalações residenciais, comerciais e industriais, bem como a utilização de dispositivos mitigadores de distúrbios na rede elétrica.

Buscando subsídios para a matéria em pauta, um dos balizadores para as prováveis controvérsias está alicerçado nas orientações da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), nos procedimentos das empresas e, porque não dizer, na experiência e no bom senso que norteiam as soluções de conflito. Não obstante a busca por pareceres consistentes, os métodos comumente utilizados não encontram, via de regra, sustentação em princípios científicos ou técnicos e, diante

desta situação, muitas vezes ocorrem incompreensões e insatisfações quanto aos pareceres finais.

Da argumentação acima desprende a necessidade do desenvolvimento de procedimentos sistematizados, em que pese o equilíbrio entre o emprego de recursos computacionais atrelados com ensaios laboratoriais, os quais, uma vez combinados, podem produzir ferramentas confiáveis destinadas a balizar as decisões das concessionárias quanto aos pedidos de ressarcimento de danos. Assim agindo, acredita-se, serão viabilizados meios para minimizar os desgastes das empresas junto aos consumidores, e ainda, a quantidade e os altos custos associados com as demandas judiciais. De fato, a concordância ou contestação dos pedidos encaminhados para análise torna-se extremamente difícil, restando às concessionárias apenas a verificação do nexa causal e a suposição da severidade dos impactos do evento ocorrido sobre os produtos reclamados.

Visando oferecer um panorama amplo sobre a questão em foco, a Fig. 1 ilustra as porcentagens dos principais equipamentos solicitados, em pedidos de ressarcimento para uma dada concessionária distribuidora em 2015, a qual é aqui identificada por “A”.

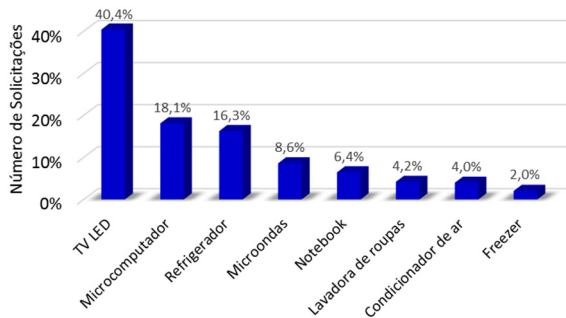


Fig. 1 - Principais equipamentos reclamados – dados obtidos de uma distribuidora A

Dentro do exposto, percebe-se a grande importância da modelagem computacional de aparelhos eletroeletrônicos, e principalmente de aparelhos televisores a LED por representarem quase metade dos pedidos de ressarcimento de danos elétricos, além de possuir um custo de reparo e ou substituição relativamente alto.

À luz do fato que, em consonância com [4] reconhece-se a disponibilidade de um software de análise às questões ora postas, e ainda, que este não se apresenta com modelos representativos dos eletrodomésticos em foco, isso apontou para a necessidade de desenvolvimentos, os quais culminaram na proposta contida neste trabalho, a qual, uma vez consolidada, passa a oferecer novas potencialidades de uso para o aplicativo de análise.

## II. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO TELEVISOR A LED

A Fig. 2 mostra um televisor a LED comercial, alvo dos estudos aqui descritos. Nesta pode-se identificar as principais partes e componentes eletrônicos que perfazem o dispositivo.

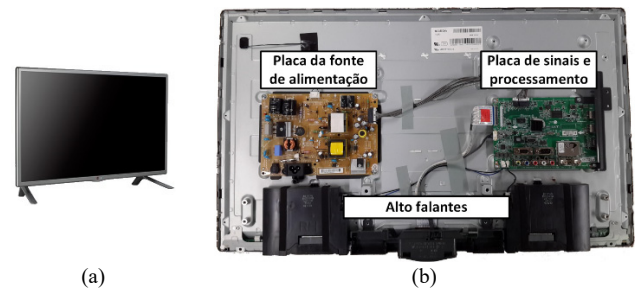


Fig. 2 Televisor utilizado nos estudos: (a) equipamento utilizado (b) Detalhes internos dos principais componentes

A Fig. 3 ilustra os principais componentes de sua fonte de alimentação, a qual, de acordo com relatos feitos em [5][6] se apresenta como a unidade de maior fragilidade aos esforços dielétricos e térmicos advindos da rede de alimentação. Isto justifica o maior detalhamento feito, na sequência, para este componente, que corresponde, como amplamente conhecido, uma fonte chaveada comercial.

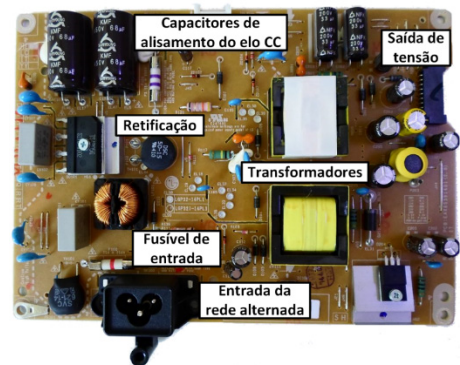


Fig. 3 Placa da fonte do televisor

Uma vez reconhecida a presença da fonte chaveada, constata-se que a sua constituição física se apresenta na forma de um retificador em ponte, uma unidade para filtragem e diversos componentes eletrônicos destinados ao controle e o controle e regulação dos níveis de tensão, dentre outros. Esta composição pode ser observada na Fig. 4.

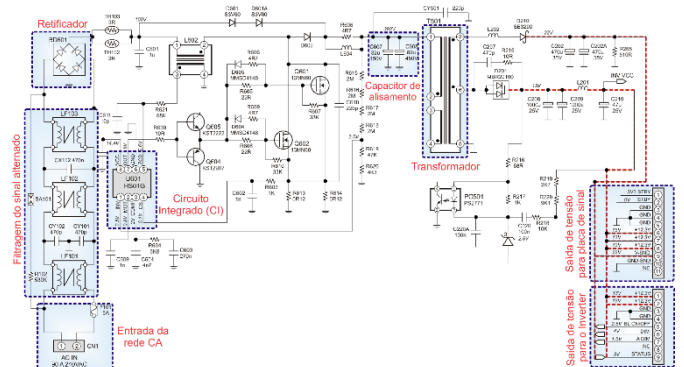


Fig. 4 Diagrama elétrico aplicável ao televisor a LED

Tendo em mente que os componentes frequentemente danificados compreendem a unidade de retificação e o capacitor de filtragem, resta que, para fins deste trabalho, as demais unidades são tratadas de forma simplificada como consumos de potência constante. Isto é uma propriedade intrínseca ao fato que tais eletrodomésticos se apresentam compatíveis com tensão de alimentação com uma grande faixa de variação, a exemplo de valores compreendidos entre 90 e 240 V. Em assim sendo, o modelo desenvolvido e implementado no simulador ATPDraw se apresenta

compatível com o diagrama simplificado mostrado Fig. 5. Maiores detalhes desta representação podem ser encontrados em [7].

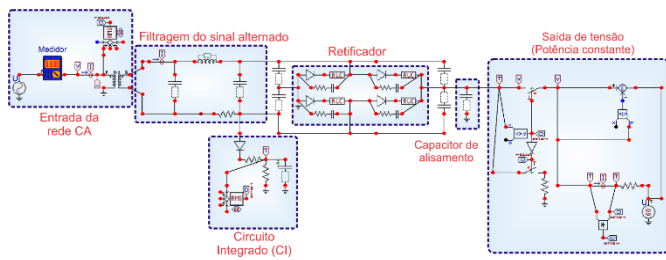


Fig. 5 Modelagem do TV a LED no ATPDraw

### III. VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Uma vez estabelecido o modelo computacional, sua validação deve, necessariamente, se apoiar em uma correlação entre os desempenhos da representação elaborada diante de resultados, sob condições similares, derivadas de ensaios experimentais. Para tanto, contando com uma fonte programável que permite a reprodução de tensões com os mais distintos padrões de distúrbios, foram feitos, concomitantemente, estudos de cunho teórico que foram prontamente comparados com resultados obtidos dos ensaios feitos em um ambiente laboratorial controlado.

Num contexto de um grande número de experimentos conduzidos, foram adotadas 5 situações, extraídas de [6], para os fins aqui almejados. Cada qual representa uma determinada situação quanto ao suprimento do equipamento, sendo que a Tabela I descreve as principais características dos testes feitos.

TABELA I Características dos ensaios para validação do modelo computacional da TV a LED

Casos	Características
<b>1 - Tensão nominal e ideal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensão nominal trifásica equilibrada de 220 V, fase-fase, rms, 60 Hz;</li> <li>Puramente Senoidal.</li> </ul>
<b>2 - Distorção harmônica superposta à tensão fundamental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensão fundamental de 220 V, rms, 60 Hz;</li> <li>Distorção Harmônica Total - DHT = 20%;</li> <li>Sinal constante ao longo do tempo;</li> </ul>
<b>3 - Afundamento da tensão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz;</li> <li>Afundamento para 60% da tensão nominal;</li> <li>Duração do evento de 10 ciclos.</li> </ul>
<b>4 - Interrupção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz;</li> <li>Interrupção da tensão (0,0 V);</li> <li>Duração do evento de 10 ciclos.</li> </ul>
<b>5 - Elevação da tensão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz;</li> <li>Elevação para 120% da tensão nominal;</li> <li>Duração do evento de 10 ciclos.</li> </ul>

A estrutura laboratorial empregada se apresentou fundamentada nos seguintes recursos: uma fonte programável monofásica da marca Chroma, modelo 61505, com potência nominal de 4000 W, um osciloscópio digital 200MHz com 4 canais Tektronix TDS3014 e um microcomputador destinado ao controle da fonte programável.

A Fig. 6 mostra a estrutura estabelecida enquanto que a Fig. 7 ilustra a montagem experimental assim obtida.

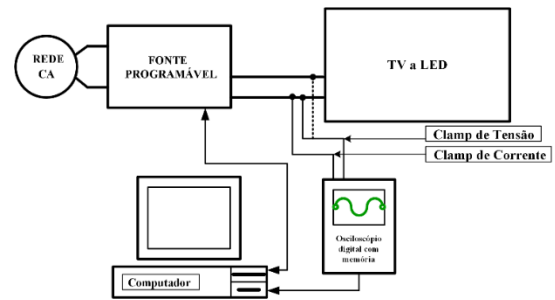


Fig. 6 Diagrama ilustrativo da estrutura experimental utilizada nos ensaios

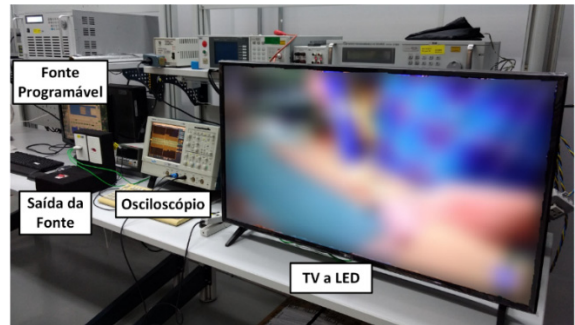


Fig. 7. Arranjo físico para a realização dos ensaios experimentais

No que tange às grandezas selecionadas para monitoração e posterior comparação com resultados de desempenho computacionais, estes foram: tensões na entrada do equipamento, tensão nos terminais CC da fonte e as correntes na entrada do equipamento.

Apresenta-se, a seguir, os resultados de cunho experimental e computacionais, advindos dos ensaios constantes na Tabela I.

#### • Caso 1 - Condições operativas ideais e nominais

Este primeiro teste visa avaliar o funcionamento do televisor a LED quando o mesmo se encontra suprido por uma tensão que se apresenta com padrões ideais quanto a seu valor e forma de onda. Assim, aplicando-se uma tensão de suprimento senoidal, de amplitude fixa com valor eficaz de 220V, tem-se os resultados experimentais indicados na Fig. 8, os quais evidenciam as formas de onda da tensão de alimentação, da tensão já retificada no barramento CC e também da corrente envolvida no processo. Observa-se que, como esperado, a forma de onda da corrente se mostra com alto nível de distorção, fato que denota uma natureza não linear para a carga suprida.

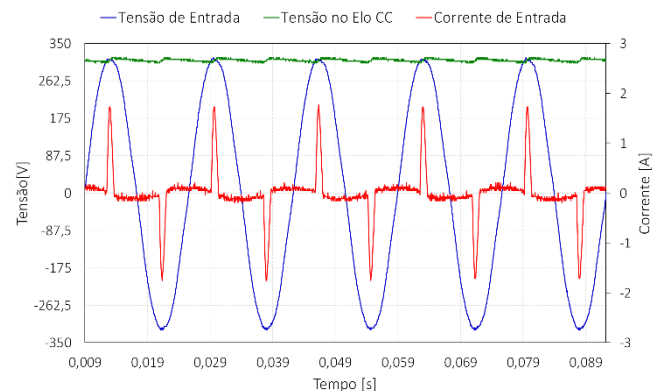


Fig. 8 Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) – Suprimento ideal e nominal - resultados experimentais:– Caso 01

Estudo semelhante realizado com o modelo do televisor implementado no simulador, nos termos anteriormente esclarecidos, conduziu aos resultados fornecidos pela Fig. 9.

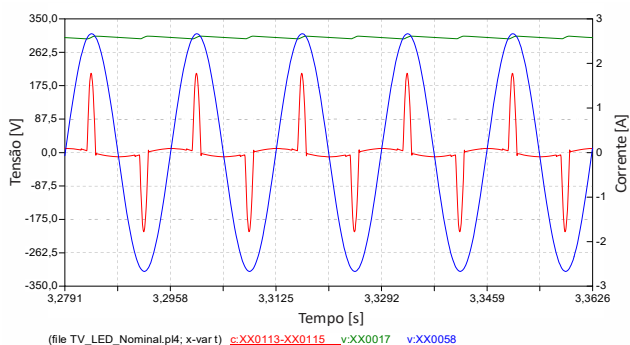


Fig. 9 Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) – Suprimento ideal e nominal – resultados computacionais – Caso 01

A título de ilustração do grau de aderência dos resultados, a Fig. 10 permite uma comparação dos espectros harmônicos advindos da simulação computacional e do ensaio experimental.

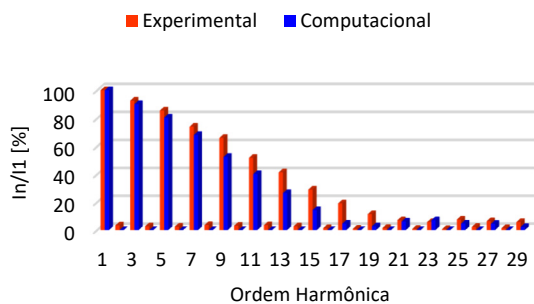


Fig. 10. Espectro harmônico da corrente de entrada – Experimental e computacional – Caso 01

Complementarmente, a Tabela II resume as principais grandezas mais representativas do funcionamento do televisor.

TABELA II. COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS COMPUTACIONAIS E EXPERIMENTAIS SOB CONDIÇÕES IDEAIS E NOMINAIS DE SUPRIMENTO – CASO 01

GRANDEZA		EXP.	COM.	DIF.	
Valor eficaz [mA]		463	502	8,42 %	
Corrente De Entrada	Harmônicas mais Significativas [%]	3 <sup>a</sup>	92,63	90,15	2,68 %
	DTI [%]	85,62	80,54	5,93 %	
	Valor de pico [A]	178,20	157,12	11,82 %	
Tensão no Elo CC	Valor médio [V]	1,72	1,77	2,90 %	
Valor médio [V]		298,81	301,20	0,79 %	

Por fim, resta constatar que os resultados indicam, com clareza, que o modelo estabelecido se apresenta totalmente consonante com o funcionamento físico do dispositivo, validando, portanto, as condições ideais então impostas.

• **Caso 2 - Suprimento com Tensões Distorcidas**

Essa situação encontra-se direcionada ao processo avaliativo da influência de uma tensão de suprimento contendo distorções harmônicas na rede de alimentação do televisor. Muito embora um conjunto de investigações com distintos níveis de distorções tenham sido explorados, apenas um caso,

com DTT de 20%, foi selecionado para apresentação e discussões.

As Fig. 11 (experimental) e Fig. 12 (computacional) mostram os resultados obtidos para a tensão de suprimento, tensão no barramento CC e corrente total do equipamento em foco.

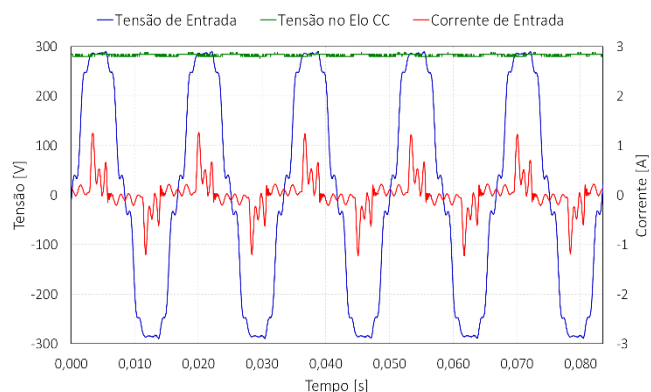


Fig. 11. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo distorção harmônica total (DTT) de 20% – resultados experimentais – Caso 02

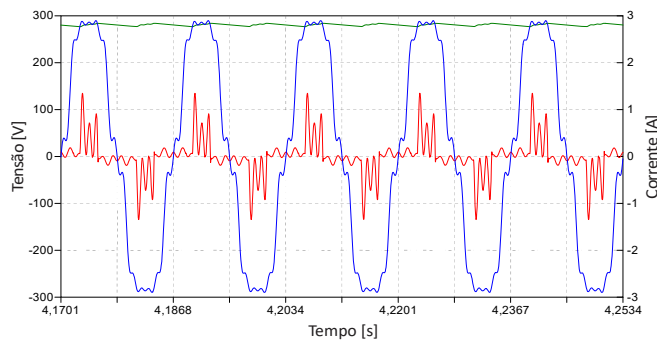


Fig. 12. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo distorção harmônica total (DTT) de 20% – resultados computacionais – Caso 02

As figuras evidenciam, novamente, uma boa concordância entre as respostas obtidas pelos dois métodos, fato este que, mais uma vez, corrobora a adequação do modelo implementado computacionalmente.

A Fig. 13 representa o espectro harmônico das correntes para os trabalhos laboratoriais e computacionais, evidenciando, novamente uma boa aderência entre o desempenho do modelo e o equipamento físico.

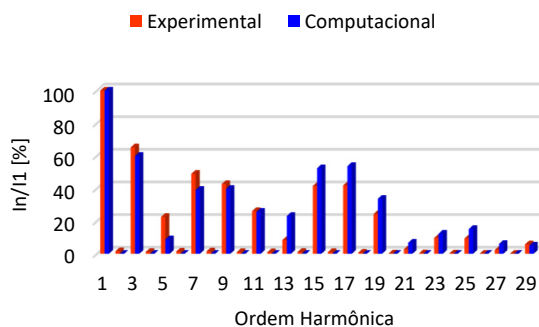


Fig. 13. Espectro harmônico da corrente de entrada do televisor a LED - Suprimento contendo distorção harmônica total (DTT) de 20% - resultado experimental e computacional - Caso 02

- **Caso 3 - Suprimento com Afundamentos Temporários de Tensões**

Os estudos em questão foram realizados para um afundamento de 40% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos. A Fig. 16 ilustra as formas de onda para a tensão aplicada, tensão no barramento CC e corrente na entrada do televisor a LED avaliado.

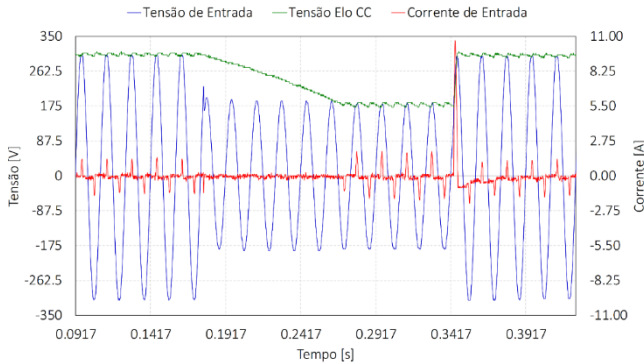


Fig. 14. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo um afundamento de tensão de 40% com duração de 10 ciclos – resultados experimentais – Caso 04

Como para os demais casos, a Fig. 17 ilustra os desempenhos computacionais correspondentes.

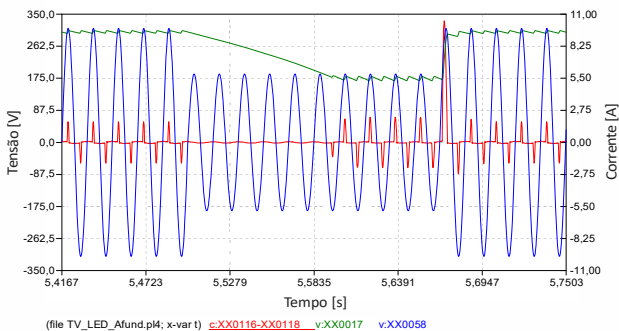


Fig. 15. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo um afundamento de tensão de 40% com duração de 10 ciclos – resultados computacionais – Caso 04

Em decorrência do afundamento de tensão aqui utilizado, a corrente solicitada pelo aparelho de TV a LED se anula pela polarização reversa dos diodos da ponte retificadora, permanecendo nesta condição durante os 7 primeiros ciclos do fenômeno. Uma vez restabelecida a tensão, como se constata nas figuras, ocorre um pico de corrente (cerca de 5,5 vezes o valor nominal) devido à recarga do capacitor, restabelecendo a condição de regime permanente após alguns ciclos.

Observa-se também, que a tensão no barramento CC acusou um afundamento correspondente, apresentando um decréscimo em seu valor para um nível compatível com aquele apresentado pela tensão de alimentação. Isto ocorreu em cerca de 5 ciclos após o início do fenômeno manifestado na tensão de alimentação. Analogamente, a tensão retorna ao seu patamar inicial quando a tensão da rede restabelece seu valor nominal.

Mais uma vez fica evidenciado que o modelo computacional se apresenta com uma boa aderência em relação ao funcionamento experimental do Televisor a LED.

- **Caso 4 - Suprimento com Interrupções das Tensões**

Na Fig. 18 estão ilustradas as formas de onda da tensão de suprimento e da corrente total absorvida pelo componente durante o referido experimento.

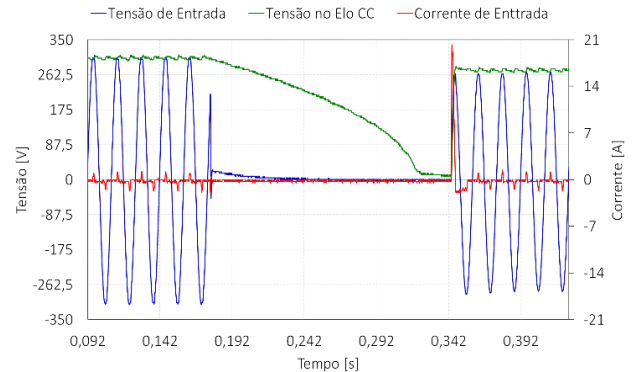


Fig. 16. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo uma interrupção de tensão de 0% com duração de 10 ciclos – resultados experimentais – Caso 05

Observa-se, novamente, que no instante da aplicação da interrupção, a corrente na entrada do aparelho de TV a LED se anula, fato este que ocasiona o desligamento do televisor, permanecendo nesta situação enquanto perdura o distúrbio. No instante do restabelecimento da tensão aos padrões normais, o pico de corrente atinge 13 vezes o seu valor nominal quando dos estudos experimentais e 11 vezes para o caso computacional. Isto pode ser comprovado pela Fig. 19.

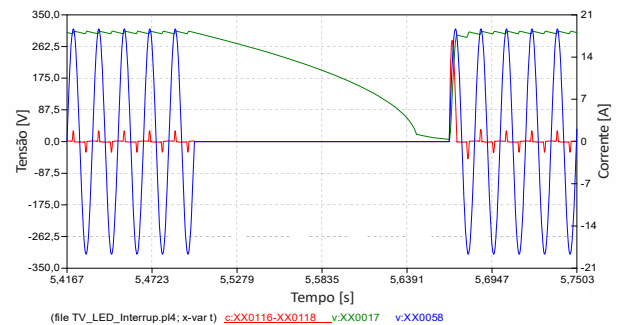


Fig. 17. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo uma interrupção de tensão de 0% com duração de 10 ciclos – resultados computacionais – Caso 05

Com relação ao comportamento da tensão no barramento CC, verifica-se um desempenho semelhante ao descrito para o afundamento de tensão.

- **Caso 5 - Suprimento com Elevações de tensão**

Esta última avaliação contempla o processo avaliativo do desempenho do modelo computacional sob a ação de uma elevação momentânea de tensão para 120% do valor nominal, com duração de 10 ciclos.

As Fig. 20 e Fig. 21 mostram as formas de onda da tensão de suprimento, tensão no barramento CC e da corrente de entrada do dispositivo, para os casos experimental e computacional, respectivamente.

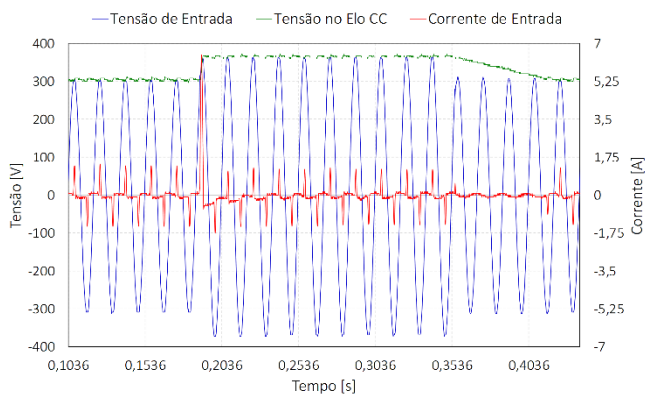


Fig. 18. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo uma elevação momentânea de 20% por 10 ciclos – resultados experimentais – Caso 06

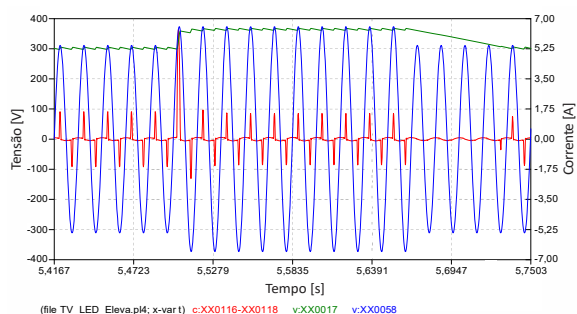


Fig. 19. Tensão de alimentação (azul), tensão no barramento CC (verde) e corrente de entrada (vermelho) - Suprimento contendo uma elevação momentânea de 20% por 10 ciclos – resultados computacionais – Caso 06

Observa-se nos resultados que, no instante da elevação da tensão, ocorre um pico de corrente de cerca de 4 vezes o valor nominal, fato este associado com o comportamento transitório do capacitor do barramento CC. Ao término da perturbação, a corrente se anula por alguns ciclos, assumindo os valores de regime permanente em seguida. Esse fenômeno se reflete também na tensão do barramento CC, de forma inversa àquela observada quando do afundamento de tensão analisado.

Mais uma vez, constata-se uma boa concordância entre as respostas obtidas pelos dois métodos, fato este que ratifica as questões de ordem qualitativa e quantitativa do modelo proposto e implementado computacionalmente.

#### IV. CONCLUSÕES

O presente artigo contemplou o estabelecimento de uma modelagem, no domínio do tempo, de aparelhos televisores a LED. Uma vez reconhecidos os principais circuitos e componentes, estes foram inseridos no simulador ATP, o qual serve como base se simulação de um aplicativo computacional destinado a avaliação da consistência do nexo causal entre fenômenos ocorridos numa rede de distribuição e danos físicos em produtos pertencentes a unidade consumidora. De um modo geral, constatou-se uma boa correlação entre os resultados de cunho teórico/computacional com aqueles fornecidos dos ensaios, fato este que ratificou, qualitativa e quantitativamente, um bom desempenho da proposta feita.

#### V. REFERÊNCIAS

[1] R. C. Dugan, M. F. Granaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, 2ª. New York: McGraw-Hill,

2002.

- [2] M. H. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. Piscataway: IEEE Press, 2000.
- [3] H. R. P. M. Oliveira, N. C. JESUS, and M. L. B. MARTINEZ, “Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaios de Sobretensões,” in *XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, 2005.
- [4] I. N. Gondim, P. H. O. Rezende, J. C. Oliveira, J. R. Macedo Junior, A. C. O. Salomão, and N. Kagan, “Reimbursement Procedure due to Electrical Damages: the Subject Relevance, Juridical Fundamentals, Agency Standards, Analysis Procedures and Trends,” *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 10, p. 1/6, 2012.
- [5] I. N. Gondim, “Contribuições para o Aplicativo APR: Novos Limites de Suportabilidade, Perturbações via Medições e Sistematização no Processo da Configuração da Rede Elétrica,” Universidade Federal de Uberlândia, 2012.
- [6] C. E. Tavares, “Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores,” Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
- [7] Paulo Henrique Oliveira Rezende, “Contribuições para os Estudos Computacionais de Ressarcimento por Danos Elétricos: Limites de Suportabilidade e Induções Eletromagnéticas,” UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2016.
- [8] “IEEE Recommended Practice--Adoption of IEC 61000-4-15:2010, Electromagnetic compatibility (EMC)--Testing and measurement techniques--Flickermeter--Functional and design specifications - Redline,” *IEEE Std 1453-2011 - Redline*. pp. 1–89, 2011.