

Figura 5.5 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 12 ciclos) – sistema OOL.

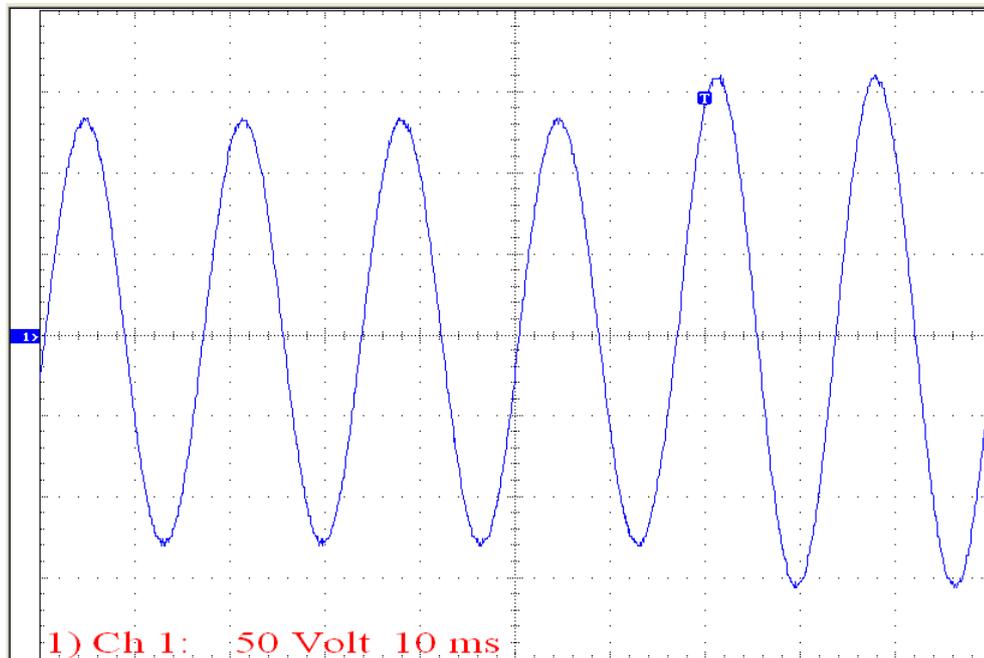


Figura 5.6 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 6 ciclos) – OSCILOSCÓPIO.

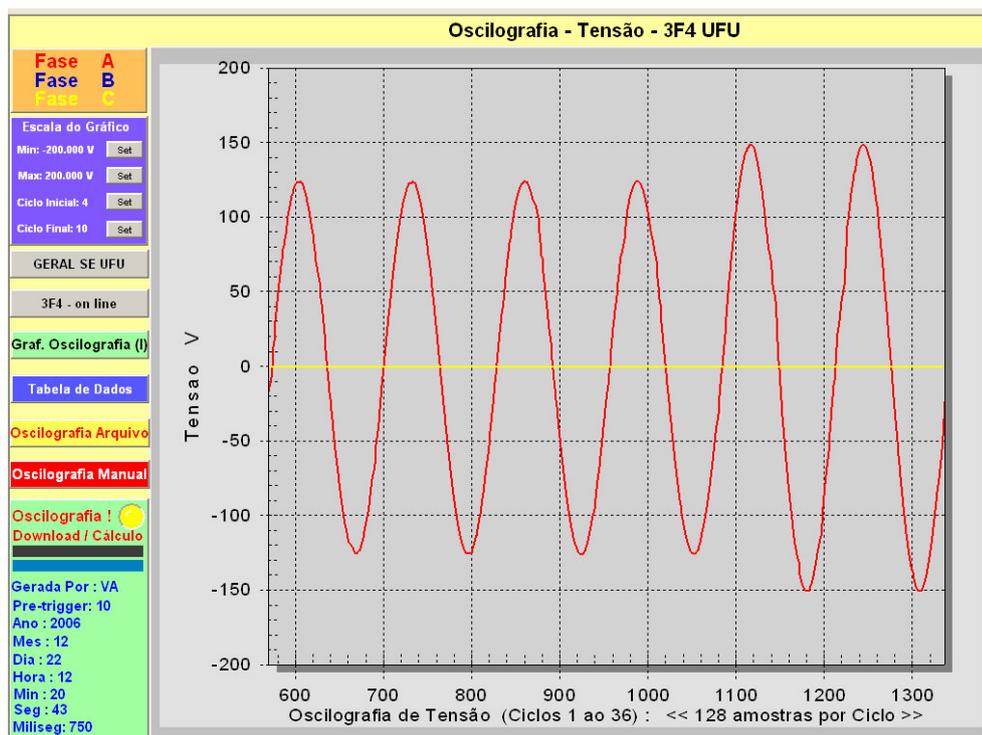


Figura 5.7 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 6 ciclos) – sistema OOL.

### 5.3.2.7 Teste 07: Ensaio de “Oscilografia”

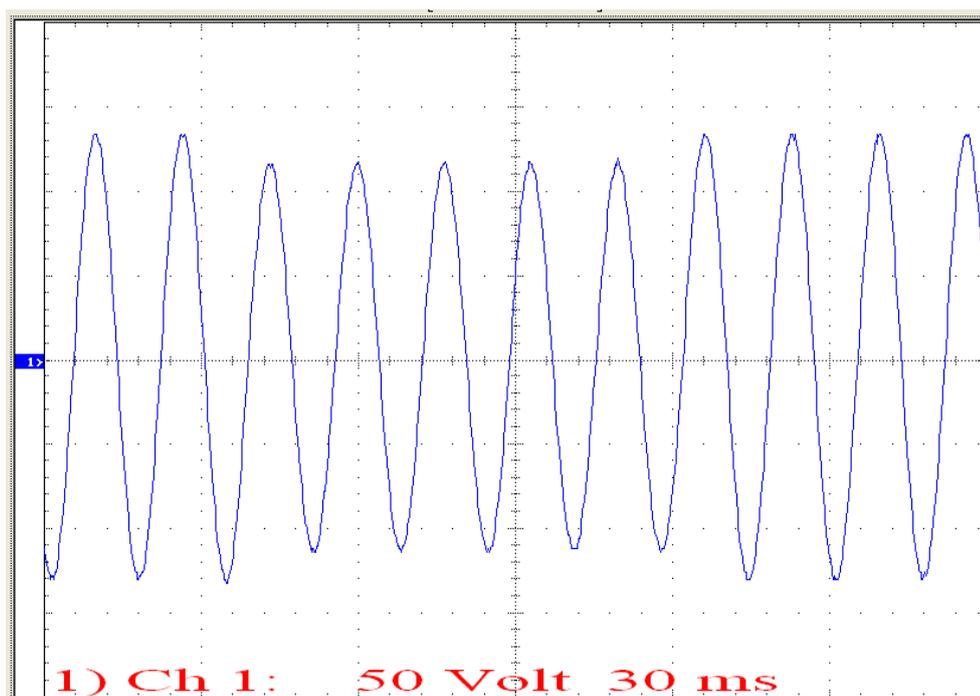
#### Gerada por simulação de Subtensão – “Sag”

Para a geração deste ensaio foi simulado uma subtensão de 5 ciclos na fonte HP. Para a comparação destas medições foram gravados dois arquivos no osciloscópio (Canais de tensão e corrente fase A) e 7 arquivos no sistema OOL (Canais de tensão fase A, B e C e Canais de Corrente fase A, B e C e um arquivo com o resumo do ensaio (data / hora / “trigger” / “pré-trigger”). Para uma melhor visualização e comparação destes resultados são apresentados dois gráficos (osciloscópio e sistema OOL) onde é possível visualizar 10 ciclos da oscilografia gerada.

Na figura 5.8 é apresentado o gráfico gerado pelo osciloscópio (fase A) para este ensaio, onde são mostrados 10 ciclos, com destaque para o momento onde houve queda de tensão e disparo da oscilografia no sistema OOL.

Na figura 5.9 é apresentado o gráfico com o registro do sistema OOL para a oscilografia de tensão gerada neste ensaio (Fase A), onde são mostrados os mesmos 10 ciclos. O valor de tensão máxima medida no osciloscópio foi de 136 volts e no sistema OOL foi de 125,74 volts. O valor de tensão mínima medida no osciloscópio foi de -134 volts e no sistema OOL foi de -128,42 volts.

Conforme mencionado no ensaio anterior a correção de erro deve ser feita em laboratório com a garantia de erro máximo de 0,5% (Fabricante UPD). Aqui foi salutar verificar que a forma de onda e a capacidade de gerar oscilografia por parte do sistema OOL foram plenamente satisfatórias conforme podem ser verificadas nos gráficos das figuras 5.8 e 5.9 .



*Figura 5.8 - Ensaio Oscilografia (Subtensão – 10 ciclos) – OSCILOSCÓPIO.*

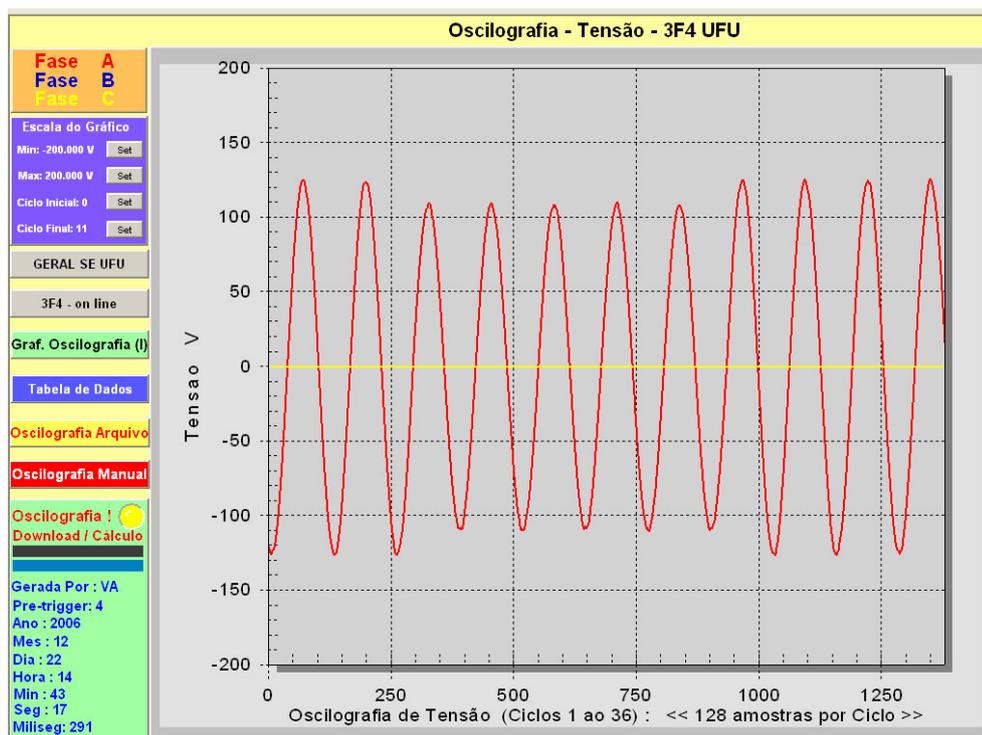


Figura 5.9 - Ensaio Oscilografia (Subtensão – 10 ciclos) – sistema OOL.

### 5.3.2.7 Teste 08: Ensaio de “Oscilografia”

#### Gerada por simulação de Transitórios – “Surtos”

Para a aferição de oscilografia gerada por transitórios, foi simulado na **Fonte HP 6834A** um sinal transitório conforme mostrado na figura 5.10. O sistema OOL percebeu o transitório e gerou uma oscilografia deste evento. A diferença encontrada na forma de onda se dá devido a taxa de amostragem que no osciloscópio é muito superior e também às características dos filtros de entrada de cada uma dos canais de aquisição da UPD. As informações sobre as características destes filtros foram solicitadas junto ao fabricante, porém não obtidas, pois se trata obviamente de segredo industrial. Devido a estes fatores o sinal transitório captado pelo osciloscópio possui uma forma de onda fiel ao que foi gerado pela fonte HP. No sistema OOL, houve a percepção do transitório, porém não é possível retratar com fidelidade a forma de onda do transitório pois a mesma está muito superior à taxa de amostragem do sistema OOL que é de 7,68 kHz, enquanto no osciloscópio esta taxa de amostragem é de 24,09 kHz.

Este sinal transitório possui uma frequência superior ao limite máximo admitido no **sistema OOL / UPD** que é de 1 kHz (devido a limitações de amostragem e também do filtro de entrada). A figura 5.10 mostra o sinal gerado pela fonte HP, e a figura 5.11 mostra a oscilografia gerada pelo sistema OOL (zoom entre os ciclos 7 e 10).

É importante salientar que o sistema OOL mesmo não conseguindo ser fiel à forma de onda do transitório conseguiu perceber-lo e registrar o evento.

Outro fato relevante é que tanto o sistema da empresa REASON quanto o Qualímetro da empresa COMPROVE também não seriam capazes de retratar com fidelidade este transitório pois os mesmos também possuem as mesmas limitações (filtros na entrada dos canais de aquisição e taxa de amostragem de 6 kHz).

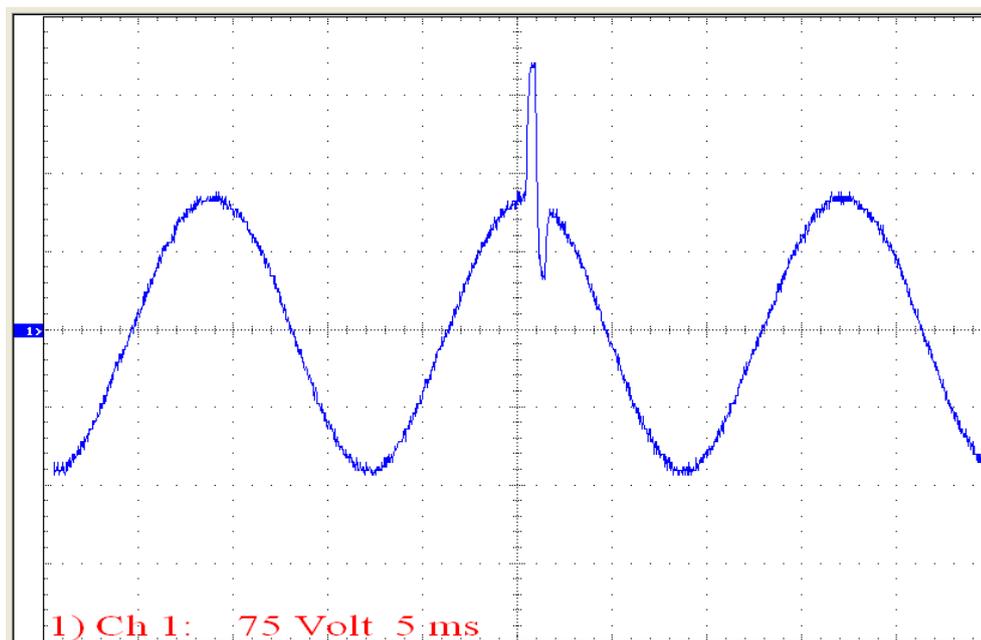


Figura 5.10 - Ensaio Oscilografia (Transitórios – 3 ciclos) – OSCILOSCÓPIO.

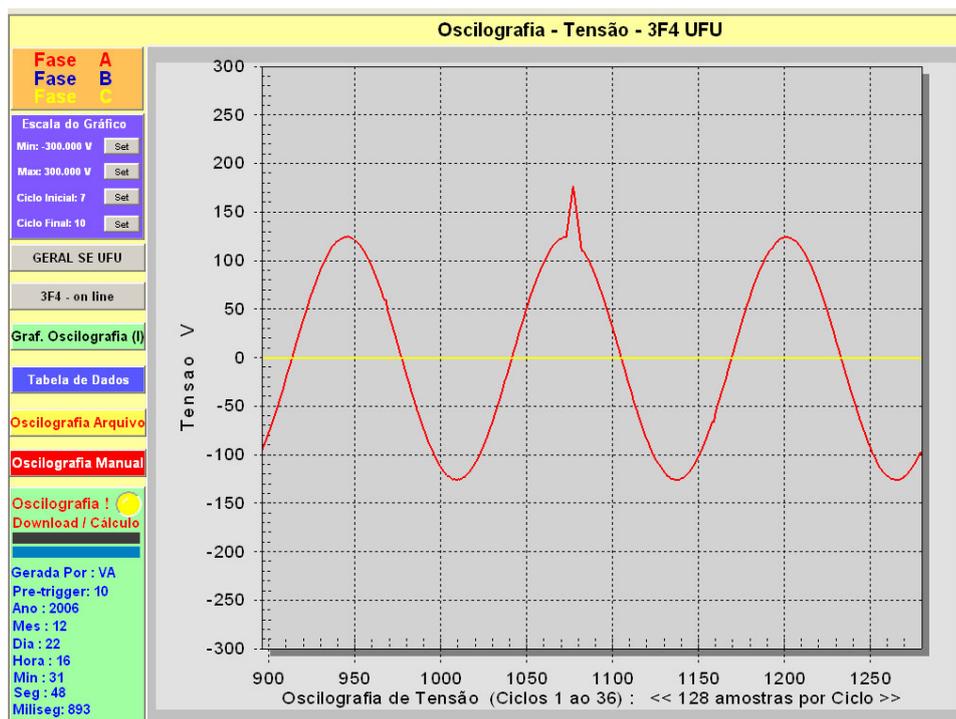


Figura 5.11 - Ensaio Oscilografia (Transitórios – 3 ciclos) – sistema OOL.

### 5.3.2.9 Teste 09: Ensaio de “Aneel 505”

Para a aferição deste ensaio foi variado o sinal da fonte com o intuito de criar uma variação de tensão entre 98% a 103% da tensão nominal de demanda contratada (simulada em 127 Volts). Não foram gravados estes testes no osciloscópio devido ao tempo de ensaio ser muito grande, o que inviabiliza esta gravação.

No sistema OOL foram gravados sete arquivos (sendo Histogramas Fase A, B e C, e Gráfico de Linhas Fase A, B e C, e Resumo do ensaio). Inicialmente foi mantido o valor de tensão da fonte em 127 volts (Tensão Contratada) durante a metade do período de ensaio. Logo após foram realizados pequenos incrementos/decrementos no valor de tensão, até chegar aos valores de 98% a 103% da tensão contratada. Este ensaio simulou um teste de um dia e apresenta como resultado o histograma (Fase A) e gráfico de linhas (Fases A, B e C) das figuras 5.12 e 5.13 e mostram que os resultados destes ensaios estão precisamente dentro do que foi programado.

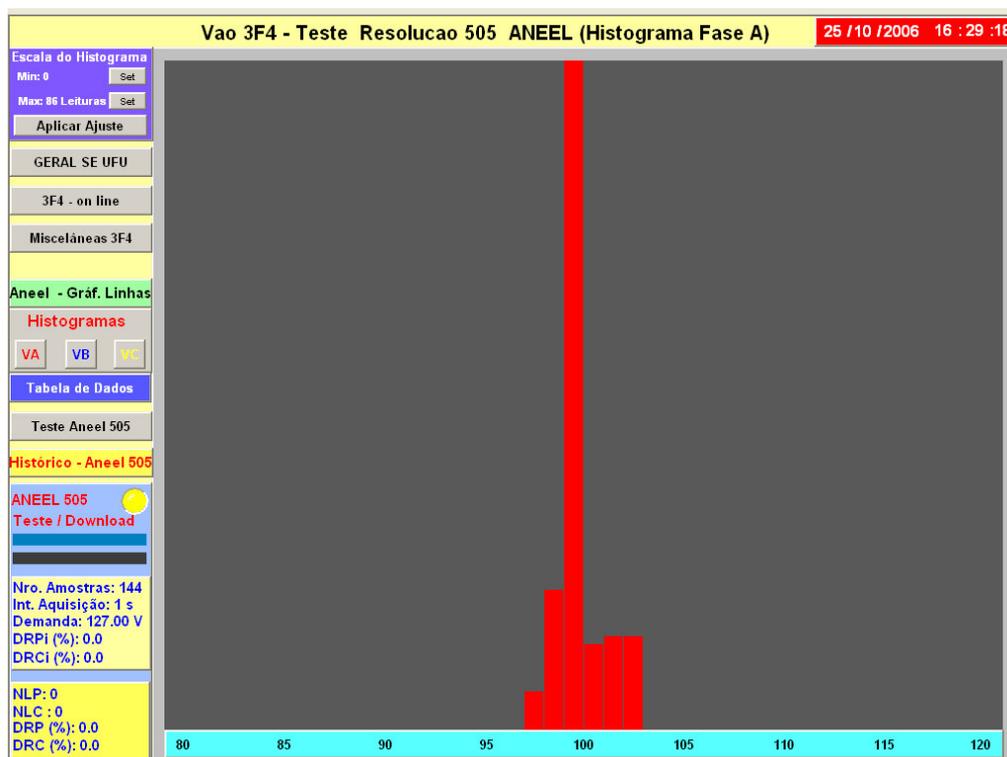


Figura 5.12 - Ensaio Aneel 505 (Histograma).

Os dados relacionados do lado esquerdo da figura 5.12 são informações relativas ao ensaio Aneel 505 e representam as seguintes informações (exigidas pela Aneel):

- **Nro. Amostras:** - 144 (indica que este ensaio foi realizado com 144 amostras);
- **Int. Aquisição** - informa o intervalo de aquisição entre as amostras (\* aqui modificado de 10 minutos para 1 segundo para agilizar os ensaios em laboratório);
- **Demanda (127,00 V)** - informa a tensão contratada (TC) entre concessionária e cliente, aqui exemplificado como 127 Volts para este ensaio de laboratório;
- **DRPi** - informa o índice de duração relativa de transgressão precária instantânea para que o usuário possa acompanhar um resultado parcial deste índice durante o ensaio;
- **DRCi** - informa o índice de duração relativa de transgressão crítica instantânea para que o usuário possa acompanhar um resultado parcial deste índice durante o ensaio;

- **NLP** – informa o resultado final do número de leituras na faixa considerada como precária pela ANEEL;
- **NLC** – informa o resultado final do número de leituras na faixa considerada como crítica pela ANEEL;
- **DRP** – informa o resultado final do índice de duração relativa de transgressão precária;
- **DRC** – informa o resultado final do índice de duração relativa de transgressão crítica.

Analisando o histograma da figura 5.12 verifica-se que das 144 leituras realizadas na fase A para este ensaio:

- 86 leituras foram realizadas estão entre 99% e 100% de TC (tensão contratada);
- 18 leituras foram realizadas estão entre 98% e 99% de TC (tensão contratada);
- 5 leituras foram realizadas estão entre 97% e 98% de TC (tensão contratada);
- 11 leituras foram realizadas estão entre 100% e 101% de TC (tensão contratada);
- 12 leituras foram realizadas estão entre 101% e 102% de TC (tensão contratada);
- 12 leituras foram realizadas estão entre 102% e 103% de TC (tensão contratada).

Este histograma representa exatamente a variação de tensão simulada neste ensaio, onde a tensão foi variada entre 98% e 103% em relação à tensão contratada (TC) de 127 Volts.

A figura 5.13 mostra o gráfico de linhas deste ensaio (também exigido pela resolução 505 da ANEEL), onde são verificados os valores nominais de tensão para cada uma das 144 amostras nas três fases (VA, VB e VC). Neste gráfico são apresentados também os valores de tensão máximos e mínimos obtidos em cada fase durante este ensaio (no canto superior direito do gráfico).

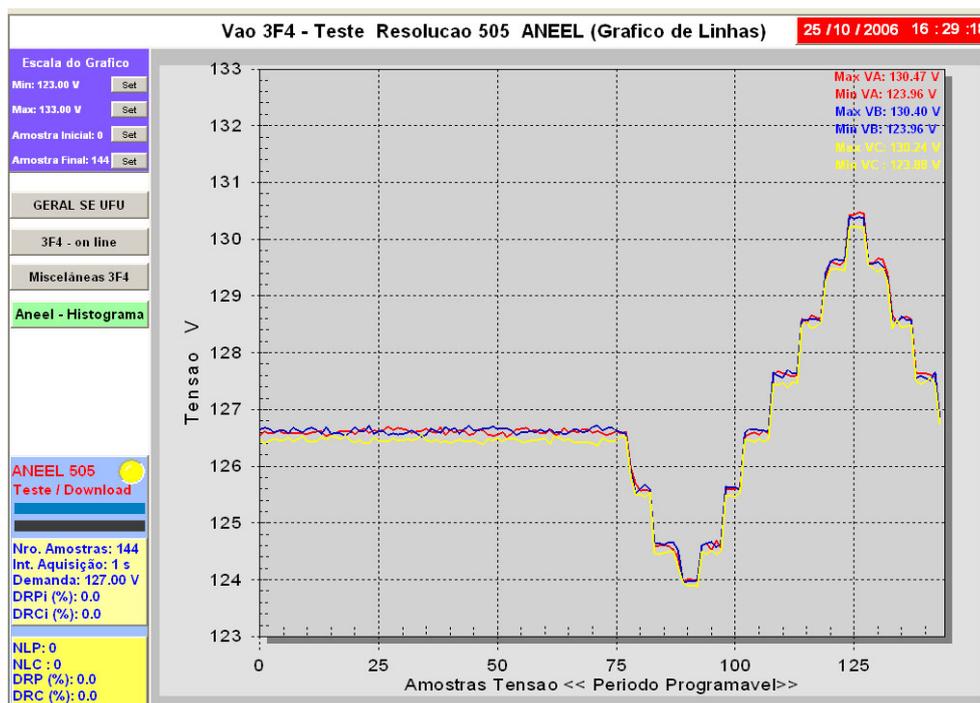


Figura 5.13 - Ensaio Aneel 505 (Gráfico de Linhas).

### 5.3.2.10 Teste 10: Ensaio de “Harmônicas”

Para a aferição deste ensaio um sinal conhecido (com várias harmônicas) foi previamente programado e aplicado à fonte HP 6834A. As características deste sinal programado na fonte encontram-se na Tabela 5.6 onde são verificados também os resultados obtidos neste ensaio e também os erros verificados.

Tabela 5.6 –Níveis de tensão (rms) aplicados pela fonte HP.

Ordem	Valor aplicado pela Fonte HP Volts (rms)	Valor Medido (OOL) Volts (rms)	Erro (%)
<b>Fundamental</b>	125,00	124,26	- 0,59 %
<b>3<sup>a</sup></b>	12,50	12,41	- 0,72 %
<b>5<sup>a</sup></b>	12,50	12,33	- 1,38 %
<b>7<sup>a</sup></b>	12,50	12,26	- 1,95 %
<b>9<sup>a</sup></b>	0,00	0,60	Ruído (fonte HP)
<b>11<sup>a</sup></b>	6,50	7,02	7,40 %
<b>13<sup>a</sup></b>	6,50	7,13	8,83 %
<b>15<sup>a</sup> a 51<sup>a</sup></b>	0,00	0,72	Ruído (fonte HP)

A figura 5.14 mostra o sinal captado pelo osciloscópio na saída da fonte HP para ser comparado posteriormente aos valores da forma de onda adquiridos pelo sistema OOL.

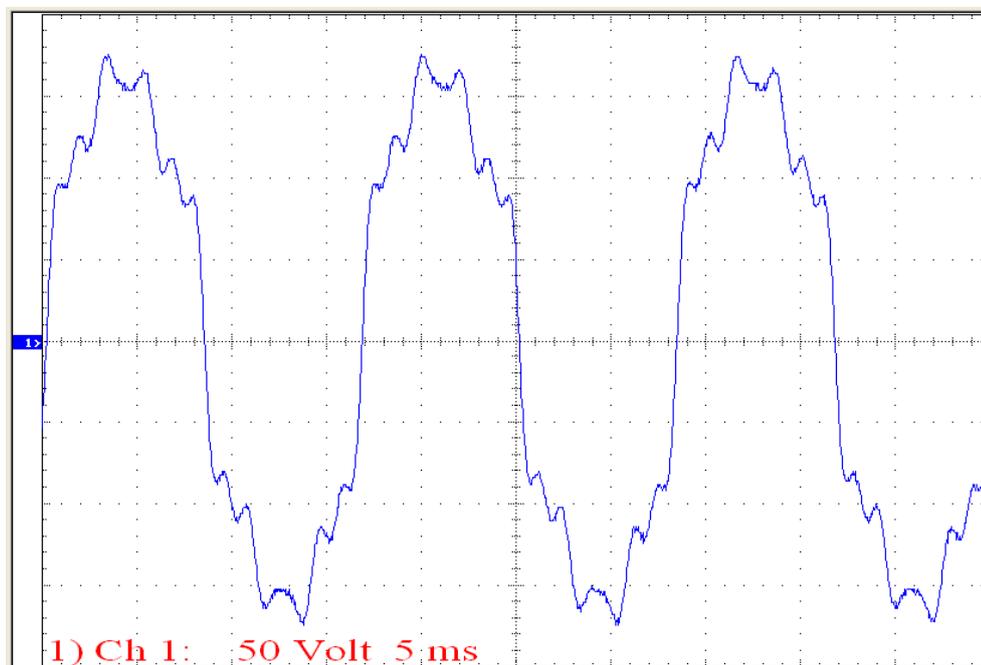


Figura 5.14 - Ensaio Harmônicas (Sinal Padronizado - Equipe de Qualidade).

A comparação deste sinal com o sinal instantâneo (medido através de oscilografia) e o histograma (fase A) obtido no sistema OOL confirmam a grande precisão do sistema OOL na realização de ensaios de “Harmônicas”. A figura 5.15 apresenta o gráfico de medição de valores instantâneos (obtido no sistema OOL através de Oscilografia), onde se verifica a similaridade dos sinais. Aqui também se nota uma pequena diferença na forma de onda devido a taxa de amostragem do osciloscópio ser muito superior à taxa de amostragem do sistema OOL e também devido aos filtros dos canais de aquisição, conforme já explicado no item 5.3.2.7 (transitórios).

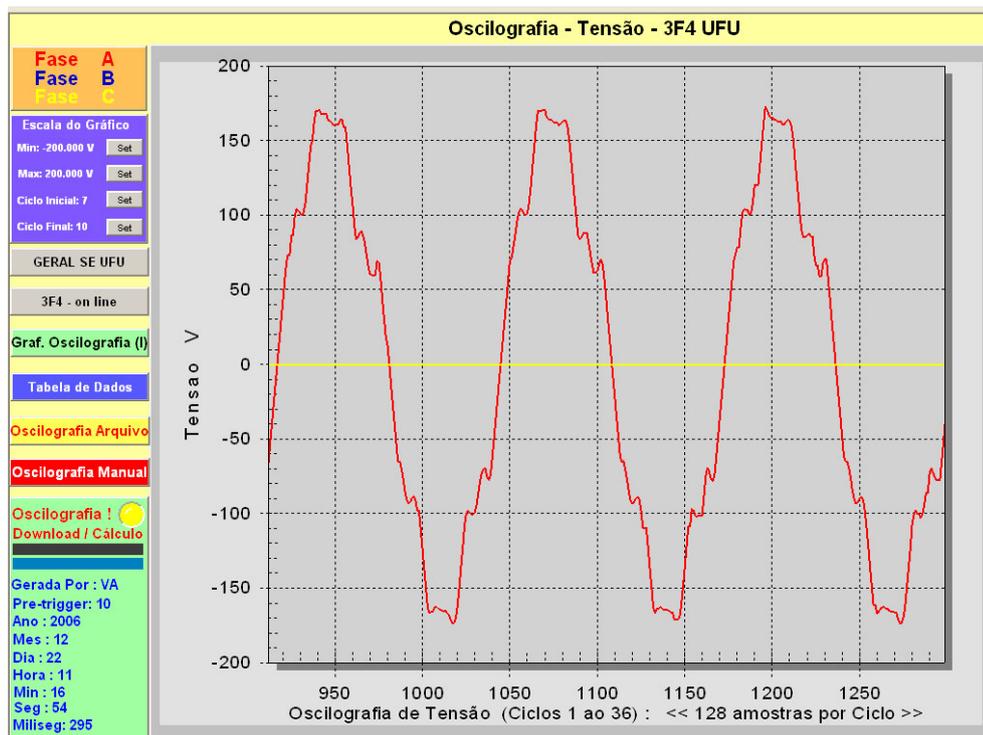


Figura 5.15 - Ensaio Harmônicas (Oscilografia – sistema OOL).

A figura 5.16 apresenta o histograma obtido no sistema OOL (fase A), onde são verificados os seguintes resultados:

Nível de tensão da onda Fundamental = 124,26 Volts (rms)

Nível de tensão da 3<sup>a</sup> Harmônica = 12,41 Volts (rms)

Nível de tensão da 5<sup>a</sup> Harmônica = 12,33 Volts (rms)

Nível de tensão da 7<sup>a</sup> Harmônica = 12,24 Volts (rms)

Nível de tensão da 9<sup>a</sup> Harmônica = 0,60 Volts (rms)

Nível de tensão da 11<sup>a</sup> Harmônica = 7,02 Volts (rms)

Nível de tensão da 13<sup>a</sup> Harmônica = 7,13 Volts (rms)

Nível de tensão da 15<sup>a</sup> Harmônica à 51<sup>a</sup> Harmônica = variando de 0,32 a 0,72 Volts (rms)

Distorção harmônica total (fase A)  $THD_V = 19,41\%$

Modo de cálculo da THD = IEC

A distorção harmônica de tensão ( $THD_V$ ) medida neste ensaio foi de 19,41%. Comparando o sinal aplicado que possui uma distorção harmônica de 20%.

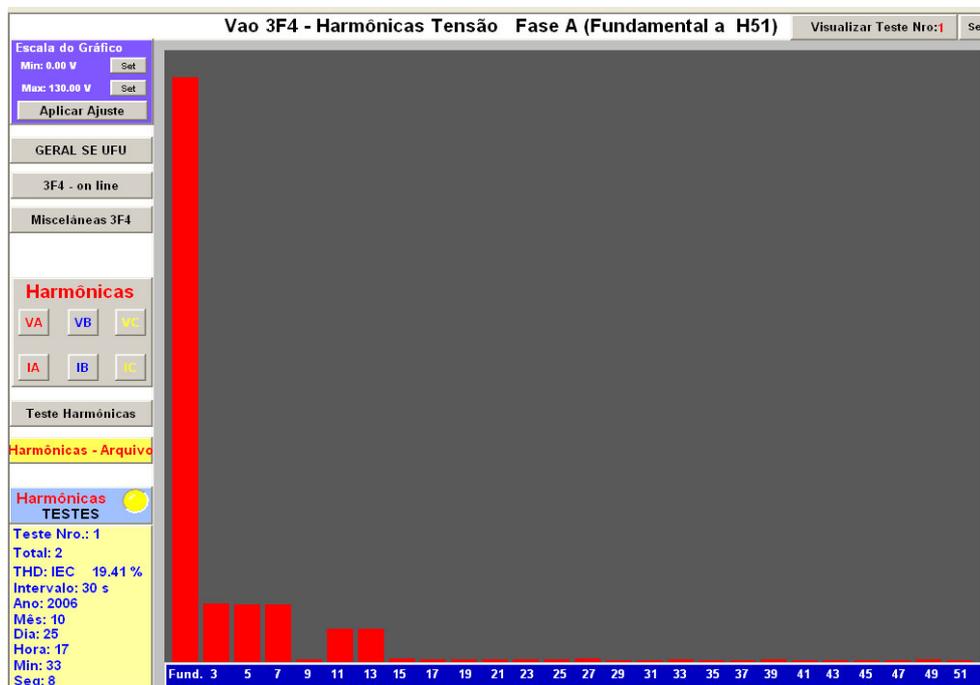


Figura 5.16 - Ensaio Harmônicas (Histograma - sistema OOL.).

Analisando o histograma da figura 5.16 verifica-se os seguintes resultados:

- **Escala do histograma** – Mínimo 0 Volts e Máximo 130 Volts;
- Valor medido da onda Fundamental – 124,26 Volts;
- **$THD_V$**  – 19,41%;
- **Teste Nro.** – Teste número 1 de um total de 2 testes neste ensaio;
- **Intervalo** – (30 segundos) Intervalo de realização dos testes – indica que foram realizados testes com intervalos de 30 segundos neste ensaio;

É importante salientar que em um histograma o usuário está interessado em visualizar uma informação geral sobre o resultado do ensaio. Por isso os histogramas não possuem escalas informando com precisão o valor de cada coluna. Para uma verificação mais detalhada o

usuário possui uma tabela no sistema OOL onde são informados os valores nominais de cada grandeza. A figura 5.17 mostra a tabela gerada por este ensaio onde são verificados em detalhes os valores nominais de cada grandeza dos histogramas. Como foi apresentado neste texto apenas o histograma de tensão da fase A, estes valores podem ser confrontados com o histograma da figura 5.16 para esta verificação detalhada onde a **coluna VA** foi a origem dos dados do histograma da figura 5.16. Os valores medidos para a 9<sup>a</sup> harmônica e 15<sup>a</sup> a 51<sup>a</sup> harmônicas onde não foram programados nenhum sinal pela fonte HP apresentaram este ruído também no osciloscópio. Pelo que foi detectado, a fonte HP insere este ruído no sinal aplicado à carga.

Tabela de Dados (Ensaio de Harmônicas)																
TENSÃO (V)													CORRENTE (A)			
THD (%)	19.41 %	19.06 %	19.38 %										THD (%)	18.95 %	18.41 %	18.76 %
Ordem	VA	VB	VC										Ordem	IA	IB	IC
1	124.26	124.21	123.67										1	2.453	2.433	2.425
3	12.41	12.10	12.03										3	0.238	0.230	0.230
5	12.33	11.79	12.81										5	0.230	0.226	0.246
7	12.24	11.71	11.40										7	0.246	0.222	0.218
9	0.60	1.71	0.46										9	0.015	0.031	0.003
11	7.02	5.93	7.50										11	0.121	0.113	0.140
13	7.13	7.42	6.25										13	0.136	0.109	0.121
15	0.72	0.70	0.23										15	0.019	0.035	0.003
17	0.67	0.78	0.54										17	0.003	0.027	0.011
19	0.54	0.70	0.39										19	0.007	0.031	0.003
21	0.65	0.39	0.23										21	0.011	0.031	0.003
23	0.56	0.39	0.54										23	0.007	0.023	0.011
25	0.58	0.54	0.15										25	0.007	0.027	0.003
27	0.72	0.46	0.07										27	0.003	0.027	0.011
29	0.47	0.70	0.46										29	0.003	0.015	0.007
31	0.41	0.46	0.54										31	0.007	0.007	0.007
33	0.60	0.39	0.23										33	0.003	0.007	0.011
35	0.39	0.46	0.62										35	0.003	0.007	0.007
37	0.42	0.62	0.31										37	0.007	0.011	0.003
39	0.53	0.39	0.23										39	0.003	0.003	0.003
41	0.32	0.46	0.39										41	0.000	0.007	0.007
43	0.35	0.15	0.46										43	0.000	0.000	0.007
45	0.46	0.31	0.31										45	0.007	0.003	0.003
47	0.43	0.54	0.39										47	0.000	0.011	0.007
49	0.51	0.46	0.70										49	0.000	0.003	0.003
51	0.41	0.31	0.62										51	0.003	0.000	0.003

Figura 5.17 - Ensaio Harmônicas (Histograma - sistema OOL)

## 5.4 Ensaios do sistema em Laboratório (Grupo dois – Funcionalidade)

Para verificar o desempenho e a funcionalidade do sistema desenvolvido (SOFTWARE), foram realizados alguns testes em laboratório, onde um sistema de cargas trifásicas foi montado para simular os sinais provenientes dos TPs e TCs. O circuito utilizado embora apenas didático pode simular muito bem todas as condições que serão requeridas em um teste **REAL** em uma Subestação (três sinais de tensão e três sinais de corrente).

O objetivo aqui é testar todos os aplicativos implementados no **sistema OOL (sistema de Oscilografia “On Line”)** para confirmar sua aplicabilidade prática em um sistema Real. A figura 5.18 mostra o circuito de teste utilizado no laboratório da Universidade Federal de Uberlândia para a realização de todos os ensaios deste capítulo. Uma fonte trifásica foi utilizada (127 Volts **rms** (Fase/Neutro) - CEMIG) alimentando três resistores variáveis. O sinal de Tensão para a UPD é retirado entre o ponto central do resistor variável e o terminal **Neutro**. Para as amostras de corrente, cada fase passa em série na UPD antes de chegar aos resistores variáveis (simbolizadas na figura 5.18 pelos amperímetros A1, A2 e A3).

Esta série de testes foi realizada ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Pelos ensaios realizados juntamente com a Equipe de Qualidade (UFU) **no item 5.2**, verificou-se o excelente nível de precisão do **sistema OOL**. Portanto esta série de ensaios visa testar a aplicabilidade e a funcionalidade de cada módulo deste sistema.

A duração e a forma de cada ensaio serão descritos a seguir, acompanhados dos resultados obtidos para cada tipo de teste realizado no sistema OOL.

Serão apresentados os resultados de 13 ensaios realizados no Laboratório da Universidade Federal de Uberlândia que possibilitam avaliar toda a potencialidade e aplicabilidade deste sistema (**sistema OOL**).

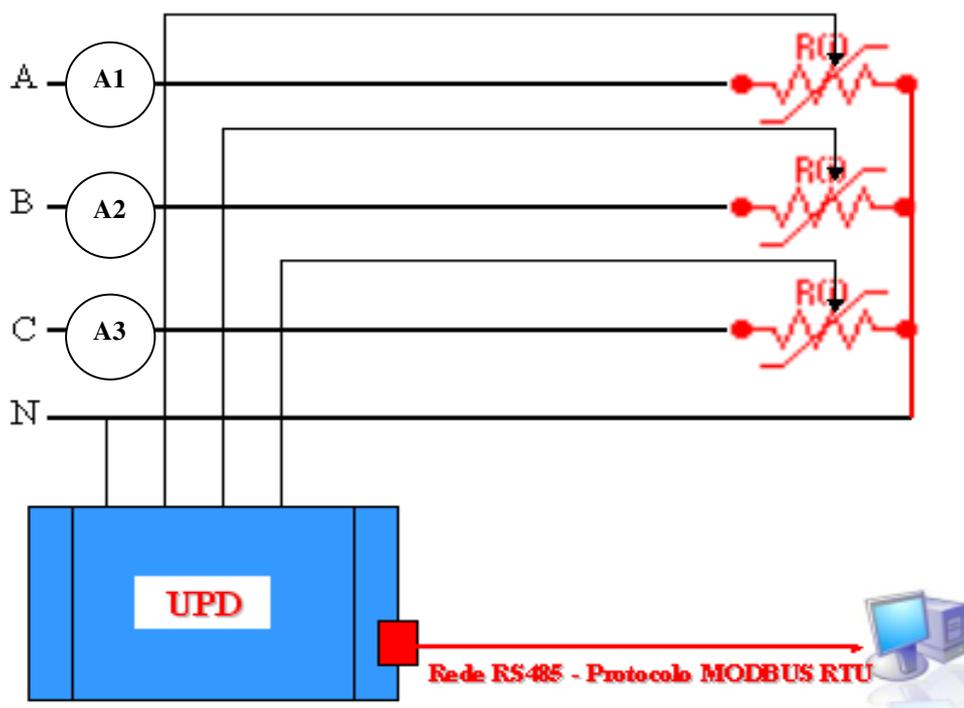


Figura 5.18 - Circuito elétrico utilizado nos ensaios de Laboratório.

#### 5.4.1 Teste 01: Ensaio de Aquisição de dados “On Line”

Como já foi mencionado anteriormente o sistema OOL pode apresentar telas de representação gráfica para inúmeras grandezas elétricas tais como: corrente, tensão, frequência, fator de potência, etc. Para exemplificar esta série de ensaios são apresentados três gráficos relativos a medição “on line” (frequência, tensão e corrente). A figura 5.19 mostra o ensaio de frequência onde se verifica uma variação entre 59,98 Hz e 60,03 Hz (Normal para a rede elétrica da concessionária – CEMIG). Para realizar este teste o sistema fez aquisições à UPD durante 60 minutos. O período de teste foi de 14:52 até 15:52. A janela de visualização deste teste está neste instante em 120 segundos (configurável). Através dos botões localizados no lado