



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO ENGENHARIA ELÉTRICA**

**OOL – OSCILÓGRAFO “ON LINE”**

**JOSIAS RODRIGUES CORRÊA**

**FEVEREIRO**  
**2007**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO ENGENHARIA ELÉTRICA**

**OOL – OSCILÓGRAFO “ON LINE”**

**JOSIAS RODRIGUES CORRÊA**

Dissertação apresentada por Josias Rodrigues Corrêa à Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica aprovada em 16/02/2007 pela Banca Examinadora:

Antonio Cláudio Paschoarelli Veiga, Dr. (UFU) - Orientador.

Carlos Henrique Salerno, Dr. (UFU).

Ernane Antônio Coelho, Dr. (UFU)

Olívio Carlos Nascimento Souto, Dr. (UNIBARRETOS).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

C823o Corrêa, Josias Rodrigues.

OOL – oscilógrafo “on line” / Josias Rodrigues Corrêa. - 2007.  
157 p. : il.

Orientador: Antonio Cláudio Paschoarelli Veiga.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Energia elétrica - Qualidade - Teses. I. Veiga, Antonio Cláudio Paschoarelli. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.3

---

Elaborado pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

# **OOL – OSCILÓGRAFO “ON LINE”**

**JOSIAS RODRIGUES CORRÊA**

Texto da dissertação apresentado por Josias Rodrigues Corrêa à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

---

Prof. Antonio Cláudio Paschoarelli Veiga, Dr.  
Orientador

---

Prof. Darizon Alves de Andrade, PhD.  
Coordenador do curso de Pós-Graduação

# DEDICATÓRIA

A meus familiares e amigos

“O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade em que elas acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”.

**Fernando Pessoa**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha esposa Jassira e minha filha Júlia que ao longo destes dois anos, abriram mão de uma grande parcela de nosso convívio familiar para que na faculdade eu pudesse me preparar para enfrentar uma nova realidade profissional na minha carreira. Agradeço aos meus pais e irmãos pelo incentivo, paciência e colaboração, aos funcionários e professores da Universidade Federal de Uberlândia Edgard Lamounier, Gilberto Carrijo, Ernane Coelho, Marcelo Lynce, José Wilson Resende e Milton Samesima pelo apoio, especialmente agradeço aos meus orientadores Carlos Henrique Salerno e Antonio Cláudio Paschoarelli Veiga que acreditaram no projeto e deram todo o apoio educacional e institucional para houvesse sucesso neste empreendimento. Agradeço também ao Professor Antônio Carlos Delaiba e aos colegas da equipe de qualidade Carlos Eduardo Tavares e Marcus Vinícius Borges Mendonça pela importante colaboração na realização de ensaios para aferição do sistema desenvolvido.

## RESUMO

**RODRIGUES, JOSIAS C.:** Oscilógrafo “On Line”, Uberlândia, UFU, 2007.

Este trabalho apresenta um sistema computacional desenvolvido para realizar tarefas de oscilografia e aquisição de dados “On Line” em redes de distribuição de energia elétrica. Este sistema pode ser largamente utilizado na análise de falhas, medição de rotina, gravação de oscilografias geradas por perturbações no sistema elétrico e na realização de testes de verificação da qualidade de energia em redes de distribuição, tais como harmônicas e resolução 505 da ANEEL.

O sistema OOL (sistema Oscilógrafo “On Line”) foi projetado para ser um registrador digital de perturbação, que atendesse as necessidades de registro de falhas em linhas de transmissão e linhas de distribuição de energia, seguindo as mais rigorosas e atuais recomendações da ANEEL sobre este tema. O sistema OOL agrega também um medidor de grandezas elétricas de altíssima precisão e um avançado analisador de qualidade de energia.

O conjunto de software e “hardware” utilizados no desenvolvimento deste sistema proporciona uma solução de baixo custo para instalação em redes de menor rentabilidade. Sendo direcionado tanto para empresas de energia elétrica, como também indústrias que possuam subestações próprias (13,8kV a 138kV). Um sistema de oscilografia em tais instalações representa um ganho significativo para a empresa quando se faz necessário uma análise de falhas ocorridas no sistema elétrico. Com o resultado de uma oscilografia o engenheiro de análise pode em um curto tempo verificar em detalhes os distúrbios ocorridos

no sistema elétrico no momento da falha. Com esta proposta de um sistema de oscilografia “On Line” a empresa passa a contar com um sistema capaz de fazer uma análise completa da rede elétrica que está sendo monitorada. Permitindo assim a tomada de decisão rápida e eficaz para a solução definitiva da falha ocorrida. O sistema OOL pode também ser utilizado de modo preventivo, pois pequenas falhas podem ser percebidas e solucionadas antes de causar maiores danos ao sistema.

Palavras-Chave:

Oscilografia, Qualidade da energia elétrica, Aneel 505, Harmônicas, Unidade de Processamento Digital (UPD).

## **ABSTRACT**

**RODRIGUES, JOSIAS C.:** Oscilógrafo “On Line” , Uberlândia, UFU, 2007.

This paper presents an information system developed to perform oscilography tasks and on line data acquisition in an electric energy distribution network. This analisys tool can be largely used in the analysis of failures, routine measurement, oscilography recording generated by perturbation in the electric system and to check the quality of service in the electric energy distribution network, such as harmonic and ANEEL 505 resolution.

The OOL (On Line Oscilograh System) was designed to be a digital perturbation registerer, following the rigorous and up to date recommendations from ANEEL about this theme. The OOL system also aggregates a high precision aelectric greatness measurer and an advanced analyser of quality of energy.

The bundle of software and “hardware” used in the development of this system offers a low cost solution to be installed in less profitable networks. Being designed to electric energy companies and also to industries that have their onw substations (from 13,8kV until 138kV). An osilograph system in such installations represents a meaningful gain for the company whenever the analysis of failures occurs in the electric system. Having the oscilography, the analysis engineer can, in a short time, verify in details the turbulence occurred at the very moment of the failure. With this propose to an on line osclilograph system, the company

counts on a system capable of making a complete analysis of the electric network being monitored, allowing a decision to be made in a faster way and crossing off the problem definitely. The OOL system can also be used in a preventive way, allowing small failures to be detected, avoiding greater problems that could cause greater damage to the system.

Keywords:

Oscilography, Electric power quality, Aneel 505, Harmonic, Digital Unit Process.

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO 1

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Relevância deste trabalho.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Estrutura da Dissertação.....</b>	<b>8</b>

## CAPÍTULO II

<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS SIMILARES .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Registrador de perturbações (REASON) .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1 Descrição do Produto (RPIV – R4 – P) .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.2 Características básicas do Produto (RPIV – R4 – P) .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.3 Especificações de “hardware” e Software do Produto (RPIV).....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Sistema de Tele-Medicação de Energia (STM - ENGECOMP).....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1 Aquisição de Dados .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2 Banco de dados .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Qualímetro (COMPROVE) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1 Aplicações .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Características Técnicas do CE 300 .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.3 Grandezas Analisadas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.4 Vantagens do CE 3000 apontadas pelo fabricante .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Sistema OOL comparado aos Equipamentos Similares .....</b>	<b>24</b>
<b>2.6 Considerações Finais.....</b>	<b>24</b>

<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>ESPECIFICAÇÕES DE “HARDWARE” EMPREGADA NO</b>	
<b>DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - OOL .....</b>	<b>25</b>
3.1	Introdução..... 25
3.2	Visão Geral do sistema Desenvolvido..... 27
3.3	Descrição dos Componentes..... 27
3.3.1	Unidade de Processamento Digital - UPD .....27
3.3.2	Rede RS485 .....34
3.3.3	Conversor USB/RS485.....35
3.3.4	Servidor Local de Aquisição de Dados.....36
3.4	Considerações Finais..... 36

<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARE UTILIZADA NO</b>	
<b>DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - OOL .....</b>	<b>37</b>
4.1	Introdução..... 37
4.2	Plataforma de Desenvolvimento do sistema ..... 41
4.2.1	Linguagem de Programação para o Desenvolvimento deste Projeto...41
4.3	Desenvolvimento do sistema..... 43
4.3.1	Aplicativo Oscilografia .....44
4.3.2	Aplicativo Aneel 505 .....47
4.3.3	Aplicativo Harmônicas .....50
4.3.4	Aplicativo Medição “On Line” .....52
4.3.5	Aplicativo Medição de Energia Ativa e Energia Reativa “On Line” ..53
4.3.6	Aplicativo “Watchdog - WDOG” .....54
4.3.7	Aplicativo Alarmes.....54
4.3.8	Aplicativo Máximos e Mínimos .....55
4.3.9	Aplicativo Configurações Especiais.....55
4.3.10	Aplicativo Visualizar dados Históricos .....56

4.3.11	Aplicativo RTCK (“Real Timer Clock”)	59
4.4	Banco de dados	59
4.5	Projeto do banco de dados do sistema OOL	60
4.5.1	Dados de ROTINA	60
4.5.2	Dados EVENTUAIS	63
4.6	Considerações Finais	68

## **CAPÍTULO V**

### **ENSAIOS E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .... 69**

5.1	Introdução	69
5.2	Padrões recomendados para a realização dos ensaios	69
5.3	Ensaio do sistema em Laboratório (Grupo um – Aferição)	73
5.3.1	Características da Fonte HP Série 6800A	73
5.3.2	Série de ensaios para aferição do sistema OOL	75
5.4	Ensaio do sistema em Laboratório (Grupo dois – Funcionalidade)	95
5.4.1	Teste 01: Ensaio de Aquisição de dados “On Line”	96
5.4.2	Teste 02: Ensaio de “Oscilografia”	99
5.4.3	Teste 03: Ensaio de “Resolução 505 Aneel”	102
5.4.4	Teste 04: Ensaio de “Harmônicas”	106
5.4.5	Teste 05: Ensaio de “Máximos e Mínimos Diários”	109
5.4.6	Teste 06: Ensaio de “sistema de Watchdog”	110
5.4.7	Teste 07: Ensaio de “Configuração de Configurações Especiais”	111
5.4.8	Teste 08: Ensaio de “Busca de dados no banco de dados:”	114
5.4.9	Teste 09: Ensaio de “Configuração e Disparo do Teste Aneel 505”	115
5.4.10	Teste 10: Ensaio de “Medição de Energia Ativa e Reativa”	117
5.4.11	Teste 11: Ensaio de “Tela de Miscelâneas e Navegabilidade entre as telas do sistema OOL”	119

5.4.12	Teste 12: Ensaio de “Abertura Ensaio de Harmônicas, Aneel e Oscilografia gravados no banco de dados” .....	122
5.4.13	Teste 13: Ensaio de “Busca de Alarmes - banco de dados” .....	124
5.5	Considerações Finais.....	125

## **CAPÍTULO VI**

<b>ACESSO REMOTO AO SERVIDOR.....</b>		<b>126</b>
6.1	Introdução.....	126
6.2	Conexão Remota .....	126
6.3	Sistema OOL - Remoto.....	127
6.4	Mensagens de erro e alarmes do sistema OOL .....	128
6.5	Considerações Finais.....	128

## **CAPÍTULO VII**

<b>CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>		<b>129</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>133</b>

## Lista de Figuras

<i>Figura 1.1 – Estrutura global do sistema OOL.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.1 - Registrador de Perturbações (RDP Reason). ....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.2 - Diagrama funcional do sistema STM (ENGECOMP).....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.3 - Qualímetro (COMPROVE).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.1 –Topologia do sistema OOL (Etapa A). ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.2- Detalhe A (Etapa A). ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.3 – Topologia do sistema OOL (Etapa B). ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.4 - UPD – YOKOGAWA .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.5 - Configuração do Circuito Elétrico utilizado.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.6 - Configuração do Circuito Elétrico UPD – (um TC e um TP). ....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.7 - “Frame” de transmissão do protocolo Modbus RTU. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.8 - Rede RS485. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.9 - Conversor USB/RS485.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.10 - Sinais elétricos no Conversor USB/RS485.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.1 - Diagrama de estados do sistema OOL (Visão Geral). ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.2 - Diagrama de estados do Servidor Local de Aquisição. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4.3 - Diagrama de estados da UPD. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.4 - Linguagem de Programação DaqFactory . ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.5 - Diagrama de estados do módulo Oscilografia Automática. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4.6 - Diagrama de estados do módulo Aneel.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.7 - Diagrama de estados do módulo Harmônicas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.8 - Diagrama de estados do módulo “Medição On Line”.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4.9 - Diagrama de estados do módulo “Configurações Especiais”.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.10 - Diagrama de estados do módulo “Dados Históricos”. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.11 - Tabelas do banco de dados OOL - Medição “On Line” (Medição de ROTINA).....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 4.12 - Tabela do banco de dados OOL - máximos e mínimos Diários (TENSÃO – Medição de ROTINA). ....</i>	<i>62</i>

<i>Figura 4.13 - Tabela do banco de dados OOL - máximos e mínimos Diários (CORRENTE – Medição de ROTINA).</i> .....	62
<i>Figura 4.14 - Tabela do banco de dados OOL - máximos e mínimos Diários (FREQUENCIA – Medição de ROTINA).</i> .....	62
<i>Figura 4.15 – Transferência de dados (PACKAGE – Oscilografia).</i> .....	64
<i>Figura 4.16 - Tabelas do banco de dados OOL (Oscilografia).</i> .....	65
<i>Figura 4.17 - Tabelas do banco de dados OOL (Harmônicas).</i> .....	66
<i>Figura 4. 18 - Tabelas do banco de dados OOL (Aneel 505).</i> .....	67
<i>Figura 5.1 – Formas de ondas típicas mais comuns dos itens de qualidade.</i> .....	70
<i>Figura 5.2 - Ensaio Oscilografia (Interrupção) – OSILOSCÓPIO.</i> .....	79
<i>Figura 5.3 - Ensaio Oscilografia (Interrupção) – sistema OOL.</i> .....	79
<i>Figura 5.4 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 12 ciclos) – OSILOSCÓPIO.</i> .....	81
<i>Figura 5.5 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 12 ciclos) – sistema OOL.</i> .....	82
<i>Figura 5.6 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 6 ciclos) – OSILOSCÓPIO.</i> .....	82
<i>Figura 5.7 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 6 ciclos) – sistema OOL.</i> .....	83
<i>Figura 5.8 - Ensaio Oscilografia (Subtensão – 10 ciclos) – OSILOSCÓPIO.</i> .....	84
<i>Figura 5.9 - Ensaio Oscilografia (Subtensão – 10 ciclos) – sistema OOL.</i> .....	85
<i>Figura 5.10 - Ensaio Oscilografia (Transitórios – 3 ciclos) – OSILOSCÓPIO.</i> .....	86
<i>Figura 5.11 - Ensaio Oscilografia (Transitórios – 3 ciclos) – sistema OOL.</i> .....	87
<i>Figura 5.12 - Ensaio Aneel 505 (Histograma).</i> .....	88
<i>Figura 5.13 - Ensaio Aneel 505 (Gráfico de Linhas).</i> .....	90
<i>Figura 5.14 - Ensaio Harmônicas (Sinal Padronizado - Equipe de Qualidade).</i> .....	91
<i>Figura 5.15 - Ensaio Harmônicas (Oscilografia – sistema OOL).</i> .....	92
<i>Figura 5.16 - Ensaio Harmônicas (Histograma - sistema OOL.)</i> .....	93
<i>Figura 5.17 - Ensaio Harmônicas (Histograma - sistema OOL)</i> .....	94
<i>Figura 5.18 - Circuito elétrico utilizado nos ensaios de Laboratório.</i> .....	96
<i>Figura 5.19 - Exemplo real tela do sistema OOL (Medição “On Line” – Frequência).</i> .....	97
<i>Figura 5.20 - Exemplo real tela do sistema OOL (Medição “On Line” – Tensão fase/neutro).</i> .....	98
<i>Figura 5.21 - Exemplo real tela do sistema OOL (Medição “On Line” – Corrente).</i> .....	99

<i>Figura 5.22 - Exemplo real tela do sistema OOL (Oscilografia Tensão) .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 5.23 - Exemplo real tela do sistema OOL (Oscilografia Tensão – ciclos 21 a 23). .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 5.24 - Exemplo real tela do sistema OOL (Tabela de dados: Oscilografia). .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 5.25 - Exemplo real tela do sistema OOL (ANEEL – Gráfico de linhas). .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 5.26 - Exemplo real tela do sistema OOL (ANEEL – Histograma VA). .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.27 - Exemplo real tela do sistema OOL (Tabela de dados – Histogramas). .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.28 - Exemplo real tela do sistema OOL (Tabela de Dados Graf. de Linhas). .....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 5.29 - Exemplo real tela do sistema OOL (Harmônica – Histograma Tensão fase A). .....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 5.30 - Exemplo real tela do sistema OOL (Harmônicas – Tabela de Dados). .....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 5.31 - Exemplo real tela do sistema OOL (Teste Máximos e Mínimos Diários – Gráfico Tensão). .....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 5.32 - Exemplo real tela do sistema OOL (Teste “Watchdog” – Tela alarme usuário). .....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 5.33 - Exemplo real tela do sistema OOL (Tela de Configurações Especiais). .....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 5.34 – Exemplo real tela do sistema OOL (Busca banco de dados). .....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 5.35 - Exemplo real tela do sistema OOL (Configuração Teste Aneel 505). .....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 5.36 - Exemplo real tela do sistema OOL (Medição de energia Ativa e Reativa). .....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 5.37 - Exemplo real tela do sistema OOL (Navegabilidade). .....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 5.38 - Exemplo real tela do sistema OOL (Tela de Miscelâneas). .....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 5.39 - Exemplo real tela do sistema OOL (Tela de Pesquisa banco de dados). .....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 5.40 - Exemplo real tela do sistema OOL (Pesquisa Alarmes - banco de dados). .....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 6.1 – “link” entre Servidor Local e Computador remoto. ....</i>	<i>127</i>

## Lista de Tabelas

<i>Tabela 5.1 – Limites globais de tensão expressos em porcentagem da tensão fundamental. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 5.2 – Denominações das variações de curta duração (VTCD'S).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 5.3 – Tensão Nominal Superior a 1 kV e inferior a 69 kV.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 5.4 – Tensão Nominal Igual ou Superior a 69 kV e inferior a 230 kV. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 5.5 – Tensão Nominal Igual ou Superior a 230 kV. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 5.6 – Níveis de tensão (rms) aplicados pela fonte HP.....</i>	<i>90</i>

## Lista de abreviaturas e símbolos

A1	Amperímetro um
A2	Amperímetro dois
A3	Amperímetro três
ABB	Asea Brown Boverly
AC	Alternating Current
A/D	Conversão Analógico/Digital
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANSI	American National Standards Institute
AWG	American Wire Gauge
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CLP	Controlador Lógico Programável
DRC	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica
$DRC_i$	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica Instantânea
$DRC_M$	Duração Relativa da Transgressão Máxima de Tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária
$DRP_i$	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária Instantânea
$DRP_M$	Duração Relativa da Transgressão Máxima de Tensão Precária
EA	Entrada Analógica
ED	Entrada Digital
EIA	Electronic Industries Association
EMC	Eletromagnetic Compatibility
ENGECOMP	Empresa de Tecnologia em Automação e Controle

F.E	Fundo de Escala (Instrumento)
F/N	Fase/Neutro
F/F	Fase/Fase
FP	Fator de Potência
FREQ	Frequência da Rede Elétrica
GB	Giga Bytes
GHz	Giga Hertz
HD	Hard Disk
HP	Hewlett Packard
IA	Corrente na Fase A [A]
IB	Corrente na Fase B [A]
IC	Corrente na Fase C [A]
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHM	Interface Homem Máquina
IN	Corrente de Neutro [A]
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
Kbps	Kilobit por segundo
kV	Kilovolt
LAN	Local Area Network
LPCD	Linha Privativa de Comunicação de Dados
M	Posição de Memória na UPD

MAE	Mercado Atacadista de Energia
MB	Mega Byte
MODBUS RTU	Protocolo de comunicação utilizado pela UPD
NA	Normalmente Aberto (Contato Elétrico)
NF	Normalmente Fechado (Contato Elétrico)
NLC	Número de Leituras em Crítico
NLP	Número de Leituras em Precário
OOL	Oscilógrafo “On Line”
ppm/ano	partes por milhão / ano
PVA	Potência Aparente [Va]
PVAR	Potência Reativa [Var]
PW	Potência Ativa [W]
RAM	Random Access Memory
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RDP	Registrador Digital de Perturbações
RI/DFI	Remote Inhabit/Discrete Fault Indicator
rms	Root Mean Square (Valor Eficaz medido de uma grandeza elétrica)
RS232C	Interface de Comunicação – Protocolo Físico
RS422	Interface de comunicação – configuração do conversor USB/RS422
RS485	Interface de comunicação utilizada pela unidade de processamento digital
RTC	Relação de Corrente de um TC
RTCK	Real Timer Clock
SD	Saída Digital
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

SCPI	Standard for Programmable Instruments
SQL	Structury Query Language
STM	sistema de Tele-Medição
STP	Shielded Twisted Pair
TA	Tensão de Aquisição [V]
TAI	Tensão Adequada Inferior [V]
TAS	Tensão Adequada Superior [V]
TC	Tensão Contratada [V]
THD <sub>I</sub>	Distorção Harmônica de Corrente [%]
THD <sub>V</sub>	Distorção Harmônica de Tensão [%]
TL	Tensão de Leitura [V]
TPI	Tensão Precária Inferior [V]
TPS	Tensão Precária Superior [V]
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial Indutivo
TPC	Transformador de Potencial Capacitivo
TTL	Transistor-Transistor Logic
TXRX+	Sinal de comunicação da rede RS485
TXRX-	Sinal de comunicação da rede RS485
UDP	Protocolo de Comunicação (Internet)
UPD	Unidade de Processamento Digital
USB	Universal Serial Bus
VA	Tensão Fase A [V]
VAB	Tensão entre as Fases A e B [V]

VAC	Tensão entre as Fases A e C [V]
VARH	Energia Reativa [Varh]
VB	Tensão Fase B [V]
VBC	Tensão entre as Fases B e C [V]
VC	Tensão Fase C [V]
VTCD	Varição de Tensão de Curta Duração
WAN	Wide Area Network
WH	Energia Ativa [Wh]
XP	Sistema Operacional da Microsoft



# CAPÍTULO I

---

## INTRODUÇÃO

Atualmente, devido a grande competitividade do mercado globalizado e em especial no setor elétrico, onde uma empresa pode vender energia a um grande consumidor de qualquer estado do Brasil, as empresas têm sido levadas a investirem em alta tecnologia para preservar ou ampliar sua base de clientes. A busca pela qualidade e eficiência da energia entregue aos consumidores exigem grandes investimentos em equipamentos da REDE BÁSICA (230 kV a 500 kV), e também em alguns casos de maior importância estratégica em redes de 169 kV e 138 kV.

No entanto, algumas tecnologias, embora muito úteis não são economicamente viáveis para serem aplicadas em redes de menor rentabilidade financeira (13,8 kV a 138 kV). Diante deste aspecto este trabalho vem propor uma solução economicamente viável para a utilização desta alta tecnologia presente em equipamentos de custo elevado, para ser utilizada também em equipamentos das redes de menor importância estratégica.

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional, capaz de operar sobre uma plataforma comercial de “hardware” a qual deve ser prática, eficiente, versátil e ainda incorporar as especificações típicas encontradas nos equipamentos disponíveis no mercado relacionados à análise de redes elétricas.

O sistema desenvolvido nesta dissertação abrange funcionalidades encontradas em três tipos de equipamentos comerciais.

**1 – Osciloperturbógrafo<sup>1</sup>:** Trata-se de um instrumento registrador de perturbações [24][25], utilizado para gravar **oscilografia<sup>2</sup>** de tensão e corrente sob condições previamente programadas pelo usuário, tais como “pré-trigger” e grandezas que irão disparar oscilografia (Tensão, Corrente, Frequência e entrada digital). Faz também a análise gráfica dos resultados e transmite os dados via modem para uma estação remota, onde os dados são analisados por pessoas da área de engenharia em um software proprietário da empresa fornecedora do equipamento.

**2 – Qualímetro<sup>3</sup>:** Equipamento para realizar diversos ensaios de qualidade da rede elétrica. Basicamente os qualímetros disponíveis no mercado realizam ensaios de qualidade de energia baseado na resolução 505 da Aneel, qualidade da energia em termos de níveis de harmônicas da rede (Fundamental a 51ª Harmônica) e distorção Harmônica (THD) e medição de dezenas de grandezas elétricas.

**3 - Medidor de Energia “On-Line” ou “Off-Line”:** são equipamentos instalados no sistema elétrico para a medição do consumo de energia de grandes consumidores ou até mesmo nas concessionárias de energia com intuito de controlar/monitorar o consumo de determinados consumidores.

---

<sup>1</sup> Equipamento que registra perturbações do sistema elétrico.

<sup>2</sup> Registro de forma de onda.

<sup>3</sup> Equipamento para medição de qualidade de energia elétrica.

## **Sistema OOL (Oscilógrafo “On Line”)**

Para desenvolver este sistema buscou-se a utilização de equipamentos, ferramentas de programação e sistema operacional de uso comercial, para tornar possível a popularização do uso de alta tecnologia em **redes de menor rentabilidade financeira**. (O termo redes de menor rentabilidade financeira será designado neste texto como sendo as redes de 13,8 kV a 138 kV onde a energia transportada por estas redes revertem menores lucros para as concessionárias de energia elétrica). Sendo assim os investimentos em tais redes são invariavelmente menores do que em redes de 230 kV, 345 kV e 500 kV.

Nas concessionárias de energia elétrica, equipamentos de oscilografia sempre foram utilizados como uma importante ferramenta de análise. Nas décadas de 80 e 90 os sistemas de oscilografia eram eletromecânicos e mesmo assim tinham um papel importantíssimo no momento de análise de falhas. Hoje com o grande avanço dos microcontroladores este processo de oscilografia tornou-se ainda mais importante pela sua capacidade de informação e precisão no momento da análise de falhas do sistema (são 128 amostras por ciclo com resolução de 12 bits, seis canais de aquisição independentes e duração de 36 ciclos). Os grandes sistemas de oscilografia de empresas como REASON que monitoram linhas de grande importância (345 kV, 500kV e algumas de 230kV e 138 kV) fornecem informações de 10 a 15 linhas simultaneamente e obviamente têm um custo muito elevado para também serem instalados em linhas de (13,8 kV a 138 kV).

No sistema desenvolvido conseguiu-se atingir todas as especificações de um bom equipamento de oscilografia: RESOLUÇÃO (128 amostras por ciclo com resolução de 12 bits), RAPIDEZ (em menos de 3 minutos após a ocorrência da falha já é possível fazer uma

análise completa da oscilografia gerada), QUALIDADE (Gráficos e tabelas com os dados de oscilografia totalmente ajustáveis de forma a permitir uma rápida localização da falha).

Este sistema também possui a peculiaridade de permitir ao cliente a utilização de um sistema personalizado e de baixo custo, onde é possível a instalação de um sistema de oscilografia com escalabilidade. O usuário pode iniciar com a monitoração de apenas uma linha ou transformador (13,8 kV a 138 kV) e ampliar posteriormente para um número maior de linhas (por Subestação). Obviamente existe um compromisso entre o tráfego de rede, o número de UPD's e o intervalo de aquisição a ser programado para cada grandeza junto às UPD's para uma definição final de quantos equipamentos a rede de dados (RS485) pode comportar.

### **Projeto do sistema Oscilógrafo “On Line” (OOL)**

Este sistema foi projetado para realizar uma série de tarefas que estão disponíveis em alguns produtos comerciais com já mencionado anteriormente. O sistema desenvolvido é capaz de realizar as seguintes funções:

**1 - Função Oscilografia:** Realiza a maioria das funções de um grande sistema de oscilografia. Esta função de oscilografia foi projetada com recursos avançados tais como configurações de “trigger”, “pré-trigger” e limites de disparo de oscilografia em tempo de execução para permitir ao usuário uma grande variedade de configurações e ótimas ferramentas para visualização e análise dos resultados tais como gráficos e tabelas de dados.

**2 - Função Qualímetro:** Igualmente aos produtos comerciais que existem hoje no mercado, este aplicativo realiza funções de medição da qualidade de energia baseado na resolução 505 da Aneel, realiza ensaios para verificação dos níveis de componentes harmônicas da rede (Fundamental à 51ª Harmônica), medição do consumo de energia ativa e reativa e medição

também de máximos e mínimos diários para várias grandezas elétricas. Neste módulo também são disponibilizados recursos avançados para análise dos resultados, como por exemplo os histogramas, tabelas de dados e gráfico de linhas (recomendados pela resolução 505 da Aneel).

**3 - Função Medição “On-Line”:** Realiza a medição de 39 grandezas elétricas com resolução e taxa de amostragem muito superiores ao que se tem hoje nos sistemas supervisórios (que são limitados em função de ter um canal de dados disponível para telecomandos e alarmes). O sistema possui seis conversores A/D independentes, que realizam a medição das três tensões (F/N) e das três correntes simultaneamente, com uma resolução de 12 bits e taxa de amostragem de 128 amostras/ciclo. O intervalo de aquisição para esta medição é configurável em um intervalo de 1 a 7200 segundos. Todas as demais medições são derivadas destas seis medições por meio de cálculos realizados pela UPD. A Função Medição “On-Line” apresenta gráficos onde o usuário pode acompanhar a medição do sistema em tempo real. Estão disponibilizados para o usuário os seguintes gráficos:

- tensão F/N (VA, VB e VC);
- tensão F/F (VAB, VBC e VCA);
- corrente A, B, C e Neutro;
- potência ativa;
- potência aparente;
- potência reativa.
- frequência
- fator de potência

**4 - Função Medição de Energia:** Este módulo permite ao usuário acompanhar remotamente o consumo de energia da rede elétrica através de funções e gráficos especiais que disponibilizam ao usuário reinicializar a totalização do consumo de energia a qualquer momento ou a cada final de mês. Estes dados, além de acompanhados através do modo “On-Line” são também gravados no banco de dados para pesquisas posteriores. O projeto do banco de dados será abordado posteriormente no capítulo 4.

**5 - Função Dados Históricos:** Como já mencionado, todos os dados visualizados “On-Line” são também gravados em um banco de dados para pesquisas e análises posteriores. Também são gravados no banco de dados todas as oscilografias geradas pelo sistema e também todos os ensaios de Harmônicas e Aneel 505. Esta função permite que o usuário faça uma busca rápida e dinâmica ao banco de dados mencionando apenas a data inicial, a data final e a grandeza desejada. Agilizando assim a pesquisa e desonerando o usuário de longos comandos e conhecimentos específicos sobre banco de dados.

**6 - Monitoramento Remoto:** Este módulo do sistema permite que o usuário veja e controle todo o sistema remotamente. Para tanto o sistema possui um servidor local de dados que faz a aquisição dos dados junto à rede através da UPD e grava estes dados no banco de dados. Paralelo a gravação de dados o sistema disponibiliza a visualização remota de todas as medições (“On-Line”, Oscilografia, Aneel505, Harmônicas) através de um “link” dedicado que interliga o micro do usuário ao servidor de aquisição. Além de visualizar todo o conjunto de dados remotamente o usuário pode ainda enviar comandos de configuração para o sistema, iniciar determinado teste e também fazer “download” de dados desejados. O monitoramento “On-Line” permite agilidade e eficiência na análise de perturbações do sistema elétrico, proporcionando assim um grande avanço se comparado ao que existe hoje em linhas de

subtransmissão e distribuição (de 138 kV e principalmente em linhas de 13,8 kV onde os recursos de análise são raros ou inexistentes).

A figura 1.1 mostra a estrutura global do sistema ora desenvolvido onde cada UPD é instalada para fazer aquisição de dados de uma REDE ELÉTRICA específica (Linha ou Transformador). Um servidor local de aquisição de dados interliga-se com as UPD's através de uma rede de dados RS485 e pode ser remotamente acessado por um outro computador através de uma rede Ethernet que interliga os dois computadores utilizando o protocolo TCP/IP. Este “link” deve ser uma LPCD e possuir velocidade de no mínimo 33 Kbps.

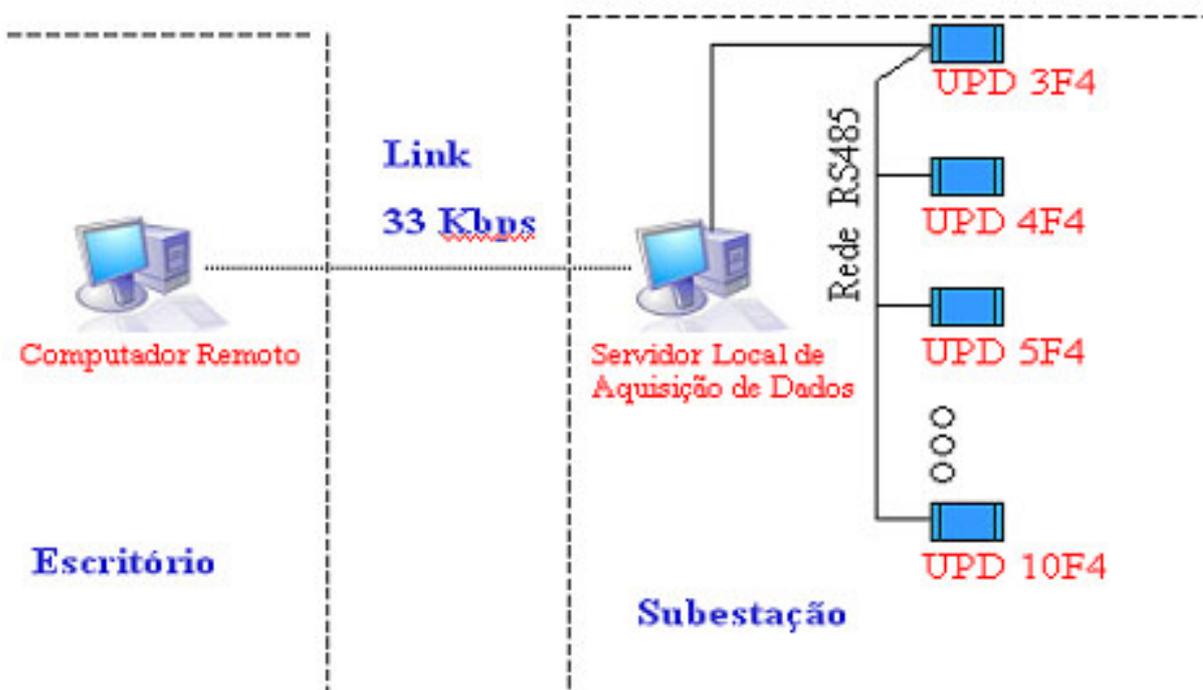


Figura 1.1 – Estrutura global do sistema OOL.

## 1.1 Relevância deste trabalho

A contribuição deste trabalho está na obtenção de um protótipo para análise de redes elétricas de média tensão, o qual integra as principais funções de equipamentos similares do mercado e ainda apresenta um baixo custo.

Com a redução de custo propiciada por esta solução, este projeto viabiliza a instalação deste tipo de sistema em linhas de menor rentabilidade financeira (13,8 kV a 138 kV). Fazendo uma breve comparação de custo com os equipamentos citados nesta dissertação (Qualímetro CE 3000 da empresa COMPROVE e Registrador Digital de Perturbações da empresa REASON) pode-se verificar esta redução de custo que é superior a 50%. O custo de uma licença do sistema OOL para uma UPD está entre R\$ 5.000,00 e R\$ 6.000,00 (incluso a instalação, UPD, conversor USB/RS485 e sistema executável).

- ✓ Qualímetro CE 3000: R\$ 15.000,00<sup>4</sup>
- ✓ RDP Reason RPIV – R4 – P: de R\$ 50.000,00 a R\$ 250.000,00<sup>5</sup>

## 1.2 Estrutura da Dissertação

O **Capítulo I** descreve o princípio de funcionamento do sistema OOL, os sistemas comerciais similares existentes e a relevância deste trabalho para a comunidade científica e suas aplicabilidades no meio industrial.

O **Capítulo II** faz uma comparação detalhada entre o sistema OOL desenvolvido e as diversas opções existentes no mercado, bem como as justificativas para o desenvolvimento deste sistema.

---

<sup>4</sup> Valor estimado. A empresa não fornece valor de venda do produto em catálogo, “site” ou e-mail.

<sup>5</sup> Valor estimado. A empresa só fornece valores do produto em consultas oficiais das empresas. Outros fatores relevantes são as inúmeras possibilidades de configuração de compra deste produto e diversificação de modelos.

O **Capítulo III** descreve detalhadamente o conjunto de “hardware” empregado no desenvolvimento do sistema OOL, bem como a especificação dos componentes do sistema.

O **Capítulo IV** aborda temas sobre o software empregado no desenvolvimento do sistema OOL. Dentre os quais: A linguagem de programação utilizada, o banco de dados, o sistema operacional, o protocolo de comunicação utilizado neste sistema e também a interface remota via “link” dedicado.

No **Capítulo V** são analisados os resultados obtidos através dos ensaios de laboratório para a validação deste trabalho. Os ensaios foram distribuídos em dois grupos. O primeiro grupo de ensaios visa a aferição do sistema de aquisição de dados e o segundo grupo visa testar a funcionalidade de cada módulo desenvolvido no sistema OOL.

O **Capítulo VI** descreve detalhadamente a estrutura de acesso remoto ao servidor local de aquisição de dados, que consiste basicamente de um “link” dedicado entre o servidor local de aquisição de dados e o microcomputador remoto.

A conclusão e os comentários finais são apresentados no **Capítulo VII**.

### PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS

### SIMILARES

#### 2.1 Introdução

Dentre os vários sistemas existentes comercialmente no mercado brasileiro no que tange a medição de qualidade de energia, medição remota de consumo de energia e oscilografia, podemos destacar equipamentos de três empresas (uma multinacional e duas nacionais), por entender que estes três equipamentos abrangem totalmente os sistemas de oscilografia, qualímetro e medição remota de consumo de energia, disponíveis para comparação.

São detalhados neste capítulo as características de cada um dos equipamentos que foram utilizados como base no desenvolvimento deste sistema e também uma breve comparação entre estes sistemas comerciais e o sistema OOL desenvolvido nesta dissertação.

#### 2.2 Registrador de perturbações (REASON)

O grupo de equipamentos disponíveis no mercado para este tipo de aplicação é muito vasto. Existem registradores de perturbações para uma larga faixa de aplicações, que vão desde os registradores de perturbação portáteis até grandes sistemas para monitorar subestações inteiras.

Para ilustrar tais aplicações foi selecionado um registrador de perturbações da empresa Reason (RPIV – R4 – P) que possui uma configuração modesta, e normalmente é utilizado

como equipamento de bancada, mas pode também ser utilizado como um equipamento fixo de uma subestação com acesso remoto (via modem ou rede).

### **2.2.1 Descrição do Produto (RPIV – R4 – P)**

Este equipamento foi desenvolvido para monitorar instalações de geração (usinas), transmissão e distribuição de energia elétrica, de maneira prática e simples, uma vez que se trata de um equipamento portátil que não exige modificações na planta para sua instalação e operação.

O registrador de perturbações portátil permite a aquisição de sinais de tensão e corrente alternadas, sinais de corrente contínua (típico - 4 a 20 mA de transdutores de corrente de campo, temperatura e outros), frequência e tempo (a partir da entrada IRIG-B), sendo ideal para tarefas de oscilografia, como registro de formas de onda e de medição contínua. Os registros de forma de onda são usados para registros de transitórios rápidos como curto-circuito, chaveamento de linhas, banco de capacitores, entre outros. Os registros fasoriais permitem analisar fenômenos como oscilações de potência, comportamento de geradores, afundamentos de tensão e demais fenômenos com características de duração **maiores que alguns segundos**.

A comunicação dos registradores com a Central de Análise pode ser feita através de modem, interface serial (RS232/485) ou rede Ethernet, enquanto localmente, o acesso pode ser feito via serial ou rede Ethernet. É possível o emprego de cabos de fibra ótica para uma maior largura de banda na transmissão de dados e imunidade a distúrbios elétricos.

O RPIV-R4-P oferece ainda uma grande flexibilidade para trabalhar com diversos modelos de “clamp<sup>6</sup>” para medição de corrente, permitindo monitorar com precisão, correntes de até 1000 Ampéres.

### **2.2.2 Características básicas do Produto (RPIV – R4 – P)**

- Equipamento portátil, modular e expansível;
- Compatível com vários modelos de garras para medição de corrente;
- Opção com até 32 entradas digitais e 8 ou 16 entradas analógicas;
- Gera registros de forma de onda, fasoriais e de medição contínua.

### **2.2.3 Especificações de “hardware” e Software do Produto (RPIV)**

#### **Entradas analógicas**

- Frequência de aquisição de 5760 Hz por canal;
- Tensão nominal de 115 Vca e  $115/\sqrt{3}$  Vca;
- Resolução da conversão analógico digital de 16 bits;
- Medição de corrente até 1000 A, com uso de garras;
- Medição de tensão por garras com conectores tipo DIN;
- Faixa dinâmica de trabalho de 0,02 a 2 pu para tensão;
- Faixa de frequência de 3 a 1000 Hz ou de 0 a 1000 Hz, dependendo do opcional;
- Frequência nominal de 50 ou 60 Hz;
- Carregamento menor que 1 VA.

---

<sup>6</sup> Transformador de Corrente em formato de alicate amperímetro.

### **Entradas digitais e relés de sinalização**

- 32 entradas digitais e 2 relés de saída;
- Resolução de 1 ms;
- Estado normal da entrada programável via software;
- Sinalizações de estado: defeito, perturbação registrada, pronto para registrar e advertência;
- Sinalizações de “trigger” de curta duração: “trigger” por evento de linha, “trigger” por evento de barra, “trigger” por canal digital.

### **Registros de forma de onda (oscilografia de curta duração)**

- Todos os “triggers” programáveis via software;
- “Trigger” de corrente: sobre, neutro (calculado e medido), taxa de variação e desequilíbrio;
- “Trigger” de tensão: sobre, sub (com zona morta), neutro (calculado e medido), taxa de variação e desequilíbrio;
- “Triggers” de sobre, sub e neutro com tempo de filtro programável com passos em ciclos;
- “Triggers” digitais: subida ou descida;
- Valores de corrente programáveis em valores primários com incremento em ampères;
- Valores de tensão programáveis em PU com incrementos de 0,01;
- Valor de histerese para canais de corrente e tensão programáveis via software;
- Frequência de registro de 5760, 2880, 1440 ou 720 Hz programável via software;
- Registro gerado manualmente via IHM (Interface Homem Máquina) local ou software de comunicação;

- Registro sincronizado com registradores de perturbações RPIV-R4 como originadores e/ou receptores;
- Registro com erro menor que 1  $\mu$ s em relação ao relógio;
- Capacidade de até 2000 registros armazenados de forma circular;
- Tempo de pré-falta de até 1 segundo com passos de 0,1 segundo programável via software;
- Tempo de pós falta de até 20 segundos com passos de 0,1 segundo programável via software;
- Mecanismo de bloqueio de “trigger” individual em caso de violação individual em caso de violação contínua.

#### **Registros fasoriais (oscilografia de longa duração)**

- Todos os “triggers” programáveis via software;
- “Triggers” de sobrecorrente, sobre e sub tensão com zona morta;
- “Triggers” digitais: subida ou descida;
- “Triggers” trifásicos de potência ativa e reativa máxima e variação de potência;
- “Trigger” de sub e sobre frequência;
- Valores de corrente programáveis em valores primários com incremento em ampéres;
- Histerese dos canais de corrente e tensão iguais à dos registros de forma de onda;
- Histerese de potência e frequência programável via software;
- Frequência de registro de 60, 30, 20 ou 10 fasores por segundo programável via software;
- Capacidade de até 2000 registros armazenados de forma circular;
- Tempo de pré e pós-falta máximos conforme tabela abaixo, com passos de 1 minuto.

### **Registros de medição contínua**

- Registro oscilográfico contínuo de fasores;
- Taxa de registro de 1 fasor instantâneo por minuto;
- Opção de gravação dos valores máximos e mínimos dos módulos dos fasores a cada minuto;
- Cada registro possui 24 horas;
- Registros mantidos na memória por 60, 45, 30, 15 ou 10 dias, selecionável via software.

### **Comunicação via modem e serial**

- 1 porta RS232C frontal configurada para comunicação via modem ou serial;
- 1 porta RS232C frontal para comunicação serial;
- Velocidades das portas seriais configuráveis até 115,2 Kbps;
- “Frame” serial padrão 8N1 (8 bits, sem paridade, 1 stop bit);
- Opção de compactação do registro durante leitura;
- Protocolo de comunicação seguindo padrão OSI.

### **Comunicação via rede**

- Porta Ethernet padrão 802.3 padrão 802.3 (Velocidade 10/100 Mbps);
- Comunicação em LAN ou WAN;
- Protocolo de comunicação seguindo padrão OSI;
- Porta usada para comunicação UDP 6969;
- Protocolos IP, PING, ARP, UDP.

### **Sincronismo**

- Entrada de IRIG-B padrão IEEE1344 “DC-shift”;
- Relógio interno pode ser sincronizado a um micro usando o software de comunicação;
- Precisão do relógio interno melhor que 5 PPM quando sem IRIG-B;
- Impedância de entrada de 600 Ohms na entrada elétrica;
- Conector tipo pino na entrada elétrica;
- Opção de entrada com fibra óptica padrão ST.

### **Interface homem-máquina local**

- Teclado com 23 teclas;
- “Display LCD” 4x40;
- Proteção de acesso por senha;
- Teclas de acesso rápido para localização de defeitos.

### **Software Sisrep**

- Responsável pela comunicação e configuração do equipamento;
- Desenvolvido para ambiente Windows 98, NT4 SP6, 2000 e XP;
- “hardware” mínimo recomendado: Pentium 700 MHz, 128 Mbytes, HD 20 Gbytes, modem, placa de rede, resolução de vídeo 1024x768 e uma porta serial.

A figura 2.1 mostra o Registrador de Perturbações (RPIV – R4 – P) da empresa REASON.



Figura 2.1 - Registrador de Perturbações (RDP Reason).

### 2.3 Sistema de Tele-Medição de Energia (STM - ENGECOMP)

Á idéia básica deste sistema é fazer a medição do consumo de energia elétrica de grandes clientes via Internet. As concessionárias de energia elétrica em geral possuem este serviço para a medição de grandes clientes e também nos pontos de intercâmbio com outras concessionárias. Até bem pouco tempo atrás as concessionárias tinham necessidade de ler o consumo de energia de seus clientes apenas uma vez por mês, para fins de faturamento. Com a desregulamentação do setor elétrico, algumas concessionárias precisam realizar leituras diárias, por hora, ou em alguns casos em tempo real, dependendo do ponto de medição em análise.

Dentre as várias soluções existentes no mercado, selecionamos o produto da empresa ENGECOMP (STM – Sistema de Tele-Medicação) como referência para esta classe de produtos ao qual utilizaremos algumas aplicações no desenvolvimento desta dissertação.

O produto funciona basicamente com a instalação de medidores digitais e um concentrador de dados ou um “Gateway” na subestação do cliente para a aquisição de dados. O sistema é **dividido em 3 partes**: Aquisição de dados, Transporte (através da Internet) e banco de dados.

### **2.3.1 Aquisição de Dados**

A aquisição de dados nesta solução possui as seguintes características:

- É feita por “Gateways” ou concentradores de dados (“Gateways” para até quatro medidores e concentradores para até 256 medidores);
- Totalmente construído para a Internet, sem uso de protocolos fechados ou proprietários;
- Medição de todo tipo de consumidores (grupos A e B), usando portas da concessionária ou do usuário;
- Conexão periódica ao Servidor de dados para envio de informações, sempre usando a Internet;
- Compatível com linha telefônica convencional, celular, satélite ou redes IP (pública ou privada), banda larga ou estreita.

### **2.3.2 Banco de dados**

Após passar pela Internet, as informações chegam a um servidor de dados. As características deste Servidor de Dados são as seguintes:

- Capaz de receber informações de milhares de pontos de medição simultaneamente; pois é baseado na plataforma Microsoft IIS de serviços para a WEB, concebida para "sites" de alto tráfego;
- Compatível com os principais Bancos de Dados do mercado: Oracle e SQL Server;
- Capaz de construir relatórios gráficos gerenciais com as informações dos pontos de medição no formato de páginas da WEB, visíveis com o Internet Explorer ou qualquer outro “browser” de Internet;
- Dispensa a presença de operadores, pois o Servidor é passivo (a iniciativa de enviar os dados é do Gateway instalado junto ao medidor);
- Imune a roteamento e “firewalls”, pois utiliza o protocolo HTTP (sobre TCP/IP), normalmente aberta para a navegação na WEB;
- Compatível com a nova especificação do MAE (Mercado Atacadista de Energia), que exige criptografia e autenticação digital.

A figura 2.2 mostra o diagrama funcional do sistema STM (**sistema de Tele-Medição**) desenvolvido pela empresa ENGECOMP.

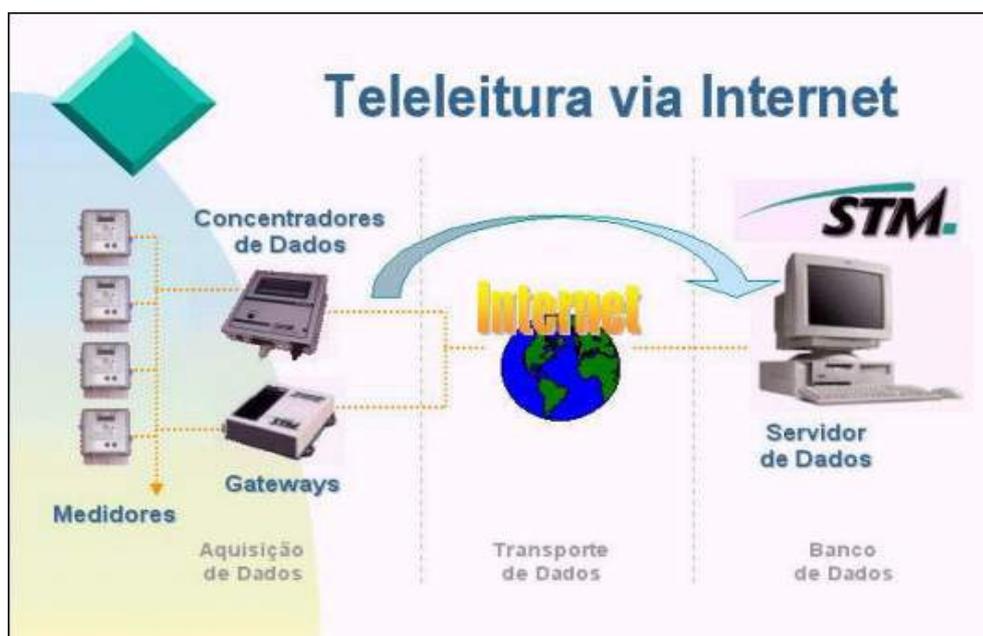


Figura 2.2 - Diagrama funcional do sistema STM (ENGECOMP).

## **2.4 Qualímetro (COMPROVE)**

O equipamento selecionado nesta categoria de produtos foi o Qualímetro da empresa COMPROVE (modelo CE 300) que funciona como analisador de energia elétrica (Qualímetro) e oscilógrafo. Trata-se de um equipamento portátil e adequado para utilização em ensaios programados ou em bancada de testes.

### **2.4.1 Aplicações**

Segundo o fabricante as aplicações básicas deste equipamento são:

- Captar, armazenar e analisar grandezas elétricas;
- Oscilografa formas de ondas elétricas e entradas binárias;
- Configura “triggers” externos, disparando a aquisição a partir da atuação de contatos ou pela ultrapassagem de níveis pré-estabelecidos de tensão ou corrente;
- Pesquisa ocorrências de distúrbios, com tolerâncias definidas pelo usuário.

### **2.4.2 Características Técnicas do CE 300**

Este equipamento possui as seguintes características técnicas:

- Quatro canais de entradas analógicas de tensão com isolamento galvânica (250 Vac rms / 400 Vdc);
- Quatro canais de entradas analógicas de corrente com isolamento galvânica, configuradas para leitura direta de TC (20 A rms) ou por meio de “clamp” (até 1000 A);
- Oito canais de entradas binárias, configuráveis para registrar atuações de contatos (NA ou NF) e tensão até 250 V;
- Dois contatos de saída (NA e NF), para acionamento ou sinalização de circuitos com correntes até 1 A e tensões até 250 V;
- “Trigger” de aquisição configurável por software;

- Dimensões 280 x 305 x 125 mm;
- Memória alocada no “hardware” do “notebook”;
- Precisão: melhor que 0,2%;
- Dimensão: 280 x 305 x 125 mm;
- Alimentação: 85-265 VAC/ 110-330 VDC;

A aquisição de dados é feita através de uma interface gráfica instalada em um “notebook” via placa **DAQCard 6062E** da **National Instruments**, com resolução de 12 bits, com Frequência de amostragem superior a 6 kHz por canal (104 amostras por ciclo para oscilografia e 128 amostras para análise de qualidade). Faz a aquisição ciclo a ciclo para a oscilografia, e a cada 1 segundo ou mais para análise de qualidade de energia. As gravações dos dados adquiridos são armazenadas na memória alocada no HD do microcomputador.

Os softwares desenvolvidos para este equipamento de análise são:

#### **Software de Oscilografia – “Oscil.exe”**

Desenvolvido em **Visual Basic**, o software é amigável e dispõe de vários recursos que facilitam a visualização e a análises dos sinais digitalizados e transferidos para o microcomputador.

#### **Software de Análise de Qualidade – “AnEl.exe”**

Também desenvolvido em Visual Basic, o software é amigável e dispõe de vários recursos que facilitam a visualização e a análises dos sinais digitalizados. O software permite realizar as seguintes análises:

- Distorção harmônica total e individual;
- Fluxo de potência harmônica;
- Variação da tensão e corrente no tempo;
- Potência e consumo no tempo;

### **Características do software “AnEl.exe”**

- Todos os recursos do “hardware” são configurados pelo software;
- Trabalha com alocação dinâmica de memória, permitindo a aquisição dos sinais de tensão e corrente, com conteúdo harmônico até a 50ª ordem, para frequências fundamentais de 50 ou 60 Hz;
- Todos os principais cálculos são feitos durante o processo de aquisição, fazendo com que o tempo de processamento das análises seja bastante reduzido;
- O usuário pode definir um subintervalo dentro do intervalo total de aquisição denominado “Intervalo de análise” de tal forma que as análises são feitas considerando apenas o intervalo selecionado;
- Para cada análise são mostrados as ocorrências máximas, médias e mínimas, dentro do intervalo de análise considerado;
- Os dados amostrados podem ser gravados em arquivos de forma total ou parcial considerando apenas o intervalo de análise selecionado.

### **2.4.3 Grandezas Analisadas**

Este equipamento disponibiliza ao usuário as seguintes grandezas para análise:

- V, A, Hz, W, VA, Var, D, FP, cos (monofásico e trifásico);
- Fator de desequilíbrio;
- Detecção de direcionamento de harmônicas;
- Detecção de desbalanceamento na rede pelas componentes de seqüência positiva, negativa e zero;
- Distorção harmônica individual e total até a 50ª ordem, com identificação da origem (fonte ou carga);

- Análise espectral;
- Distúrbios em barramentos AC e DC;
- Análise das correntes transitórias (inrush e de energização de bancos de capacitores);
- Variações de frequência;
- Variações de tensão de curta e longa duração.

#### 2.4.4 Vantagens do CE 3000 apontadas pelo fabricante

- Software de operação do instrumento com telas em Português;
- Manual de instalação dos softwares em português;
- Software de Calibração, permitindo ao usuário referenciar ao padrão de trabalho de sua empresa;
- Baixo custo;
- Garantia de peças de reposição e de um ano contra defeitos de fabricação;

A figura 2.3 mostra a estrutura básica do instrumento da empresa COMPROVE (analisador de energia elétrica (Qualímetro) e oscilografia – modelo CE 3000).

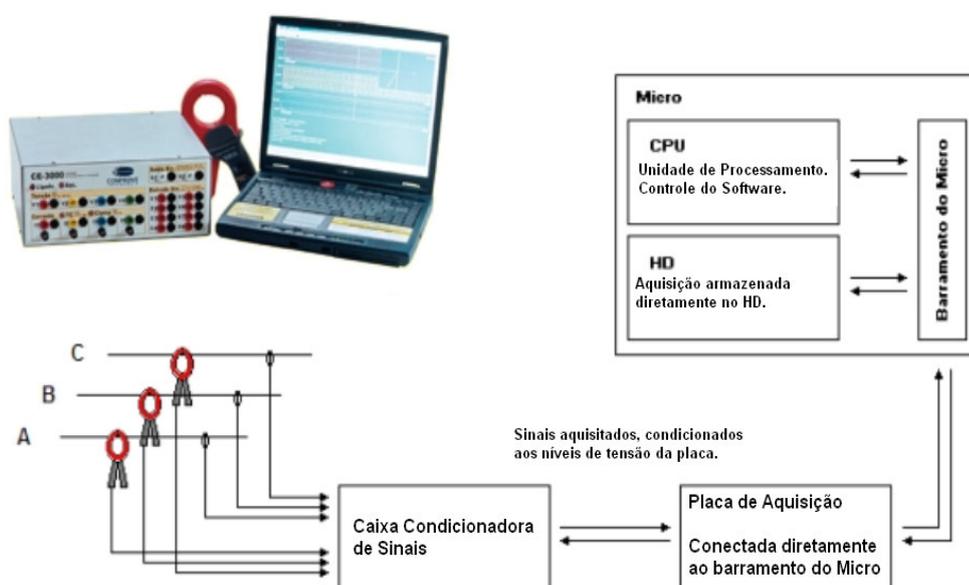


Figura 2.3 - Qualímetro (COMPROVE)

## 2.5 Sistema OOL comparado aos Equipamentos Similares

Com um sistema híbrido proposto nesta dissertação o **sistema OOL** pode executar com eficiência a maioria das tarefas implementadas nestes três tipos de instrumentos (**oscilografia, Qualímetro e Tele-medição de Energia**) e também ter um valor de custo/benefício muito atrativo se comparado aos demais produtos mencionados acima. Outra grande vantagem do sistema OOL é a sua escalabilidade e sua facilidade de customização junto ao cliente. O cliente pode iniciar com apenas uma Unidade de Processamento Digital (UPD) e ampliar posteriormente a rede de dados conforme sua necessidade. Obviamente deve ser obedecido um compromisso entre: tráfego de rede / intervalo de aquisições / número de UPD's na rede de dados.

Além destas aplicações “On Line” o sistema proposto também pode ser adaptado para funcionar como um **equipamento móvel** de ensaio de **Qualidade de energia** e **registrador de perturbações**.

## 2.6 Considerações Finais

O presente capítulo teve o objetivo de apresentar as características de equipamentos similares ao sistema desenvolvido nesta dissertação e também uma breve comparação entre eles. A aplicabilidade deste sistema para as empresas do setor elétrico, e mesmo empresas do meio industrial, é muito grande, pois apesar de existirem inúmeras soluções disponíveis comercialmente, a relação custo/benefício destes produtos leva as empresas a investirem nestas soluções apenas para as linhas de maior rentabilidade financeira ou importância estratégica dentro do setor elétrico.

# ESPECIFICAÇÕES DE “HARDWARE” EMPREGADA NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - OOL

### 3.1 Introdução

Neste capítulo serão destacadas as características de funcionamento do “hardware” empregado no desenvolvimento do sistema OOL.

O Projeto foi dividido em duas etapas, conforme mostram as figuras 3.1, 3.2 e 3.3. A primeira etapa pode ser vista na figura 3.1, onde se tem um sistema para apenas um alimentador de 13,8kV. A figura 3.2 apresenta em destaque o modo como a UPD está ligado ao sistema de potência (TP’s e TC’s) e também a conexão com a rede de dados RS485. A figura 3.3 se refere à segunda etapa e mostra um sistema para uma subestação completa, onde poderão ser instalados diversas Unidades de Processamento Digital (UPD) para monitorar (Linhas/Transformadores) em uma mesma Subestação.

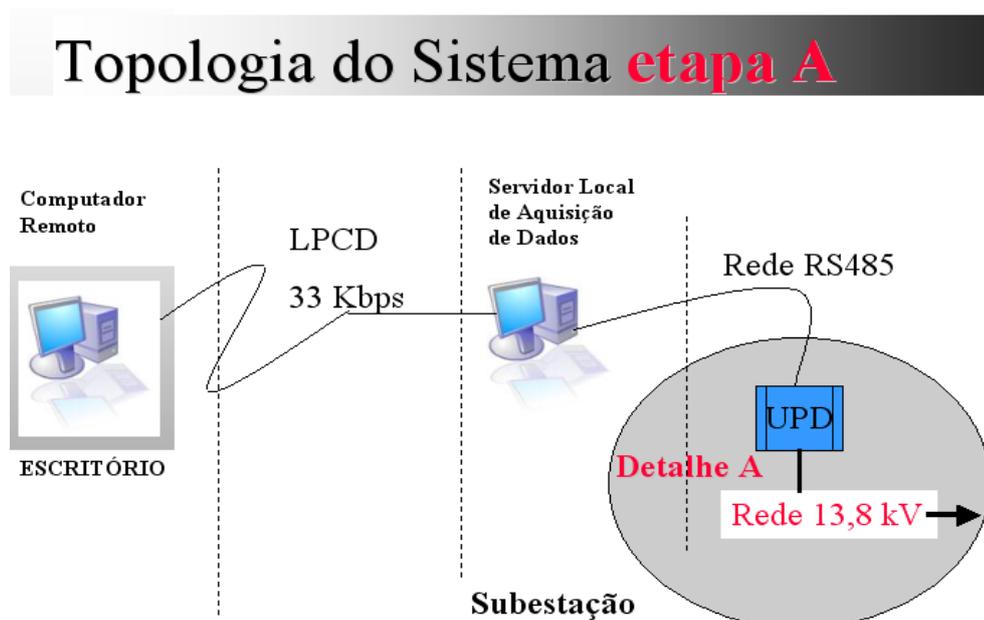


Figura 3.1 – Topologia do sistema OOL (Etapa A).

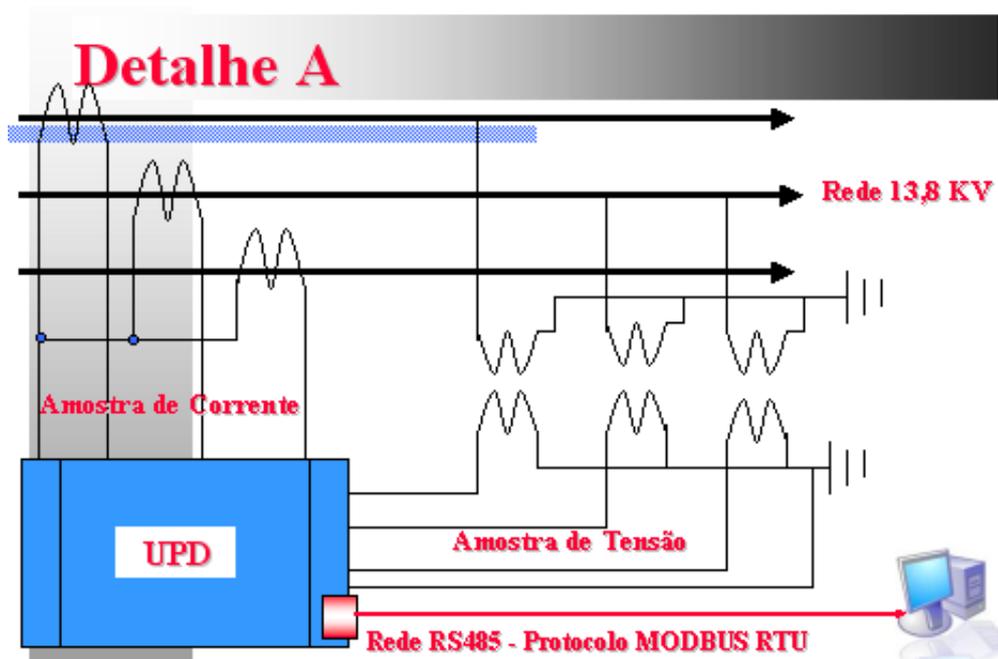


Figura 3.2- Detalhe A (Etapa A).

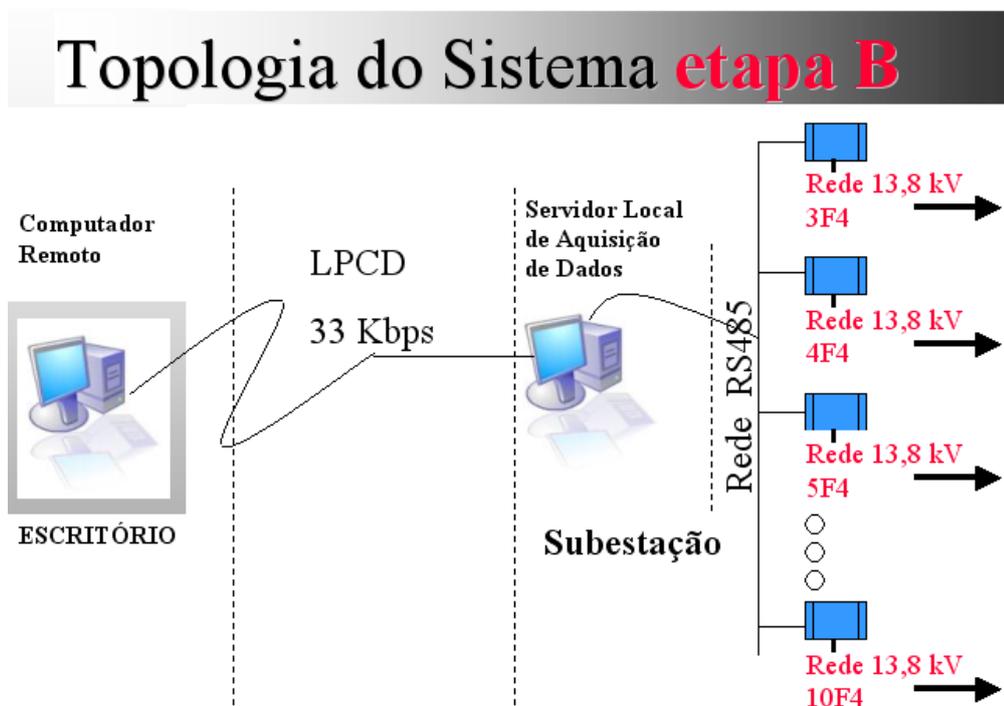


Figura 3.3 – Topologia do sistema OOL (Etapa B).

## **3.2 Visão Geral do sistema Desenvolvido**

O sistema desenvolvido é baseado em um processador digital de sinais (UPD) de uso comercial que possui seis canais para aquisição e conversão Analógico/Digital os quais funcionam simultaneamente na conversão de três tensões e três correntes. Estes seis canais de aquisição são conectados aos TC's e TP's da rede elétrica a ser controlada.

As aquisições feitas pela UPD são transferidas para o servidor de aquisição de dados através de uma rede RS485 a uma velocidade de 38.400 bps. Como nos computadores de uso comercial não existem portas para rede RS485, é utilizado neste sistema um conversor de USB para RS485 (também de uso comercial – Lábramo Centronics). Este conversor USB pode ser também configurado para USB/RS422. Através de um computador remoto o usuário do sistema (normalmente um engenheiro que realiza a tarefa de análise de falhas e perturbações no sistema elétrico) pode acessar remotamente os dados do servidor local através de um “link” dedicado.

## **3.3 Descrição dos Componentes**

Os componentes de “hardware” utilizados neste sistema são: Uma unidade de Processamento Digital (UPD), um conversor do padrão USB para RS485, um computador de uso comercial utilizado como servidor de aquisição de dados, um computador de uso comercial utilizado para acesso remoto ao servidor de aquisição de dados e um “link” dedicado para interligar estes computadores.

### **3.3.1 Unidade de Processamento Digital - UPD**

A unidade de processamento digital utilizada neste projeto é do fabricante YOKOGAWA e possui um processador embutido muito eficiente, veloz e capaz de realizar inúmeras tarefas

previamente programadas na memória. Esta UPD tem um outro grande atrativo, pois utiliza um protocolo de comunicação aberto e mundialmente conhecido (MODBUS RTU). Com estas características o programador pode desenvolver inúmeros aplicativos, pois o mesmo pode ser dinamicamente programado em tempo de execução do sistema. A figura 3.4 mostra a UPD, onde na parte superior estão os conectores de entrada de corrente e na parte inferior estão os conectores de tensão.

Os conectores (verdes) ao centro são os terminais de Entradas Digitais (4), Entradas Analógicas (2), e Saídas Digitais (2). O conector (verde) no canto superior esquerdo disponibiliza duas portas seriais RS485. As duas chaves (azuis) são para endereçar a UPD e o “Dip Switch” (azul) é para configurar alguns padrões de comunicação das portas seriais e também configurar o tipo de circuito elétrico ao qual a UPD esta conectada para fazer a aquisição de dados.



Figura 3.4 - UPD – YOKOGAWA .

### 3.3.1.1 Características da UPD

Esta UPD utilizada consiste em um transdutor multivariável de grandezas elétricas, microprocessado, aliado a outras funções comuns em CLPs, tais como: entradas analógicas, entradas digitais, saídas digitais, funções de alarme, histórico, funções de cálculo, oscilografia, medição de harmônicas, THD.

A UPD é capaz de medir, simultaneamente, 39 variáveis elétricas com altíssima precisão e armazenar uma grande quantidade de informações para análise. Através das entradas e saídas digitais pode-se efetuar funções de supervisão e controle. As entradas analógicas possibilitam o monitoramento de outras variáveis relacionadas com a aplicação, tais como: temperatura, pressão, vazão, rotação, etc.

Todos os valores medidos, calculados e armazenados são disponibilizados ao usuário através de duas saídas de comunicação serial (RS485), independentes, utilizando o protocolo Modbus RTU. Diversos tipos de ligação elétrica (Delta, Delta aberto e Estrela), diversas velocidades de comunicação são configuráveis através de chaves tipo “dip-switch” presentes no painel frontal do equipamento.

### 3.3.1.2 Configuração do Tipo de circuito de medição utilizado

Esta UPD é muito versátil e permite que a configuração do tipo de circuito elétrico seja programada para seis arranjos possíveis. Nesta dissertação é utilizado a configuração onde são 3 TP's e 3 TC's são usados para realizar a aquisição de dados. Esta configuração do tipo de circuito elétrico e esquema de aquisição está representada na figura 3.5.

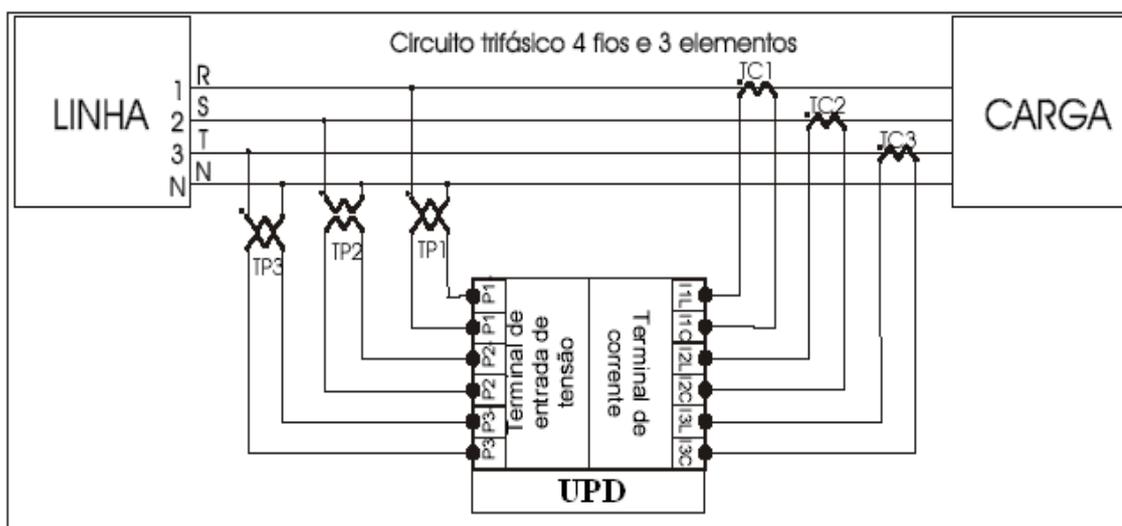


Figura 3.5 - Configuração do Circuito Elétrico utilizado.

A figura 3.6 mostra a configuração mais simples, onde são utilizados apenas um TC e um TP para realizar a aquisição de dados (medição monofásica).

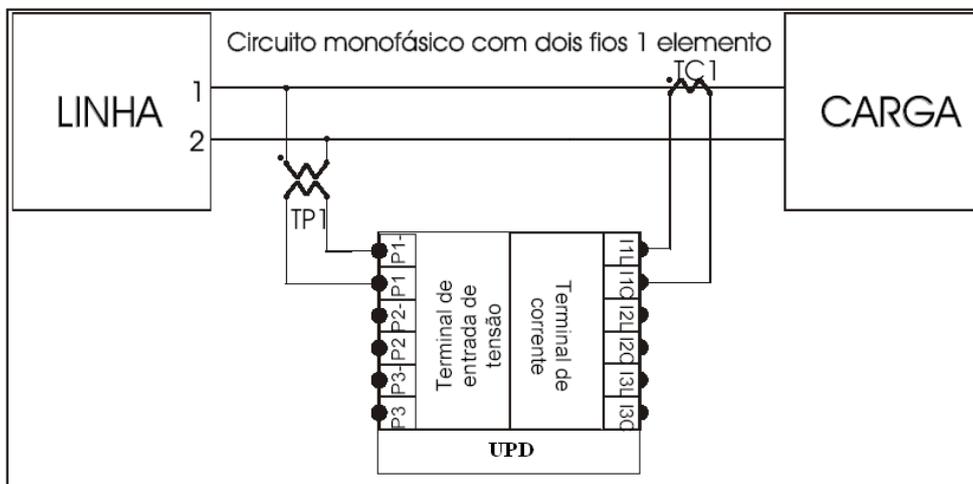


Figura 3.6 - Configuração do Circuito Elétrico UPD – (um TC e um TP).

### 3.3.1.3 Configuração das Saídas de comunicação EIA RS-485

A configuração da Taxa de transmissão (“Baud rate”) da Serial um é feita nas chaves tipo “dip-switch” no painel frontal do equipamento e podem ser configuradas de 1200 bps a **38.400 bps (configuração utilizada)**.

### 3.3.1.4 Configuração do Endereço da UPD na Rede

A configuração do endereço da UPD é feita através do posicionamento das chaves rotativas no painel frontal do equipamento. As chaves são hexadecimais, sendo a da esquerda a mais significativa e a da direita a menos significativa. O endereço pode ser configurado de 01 (01h<sup>7</sup>) a 255 (FFh), sendo que o endereço zero (00h) não deve ser selecionado, pois é utilizado para comando de “broadcast” da rede. Cada UPD deve possuir um endereço único na rede.

<sup>7</sup> Numeração hexadecimal do endereço da UPD.

### 3.3.1.5 Classe de Exatidão da UPD

Tensão, Corrente	$\pm (0,1 \text{ da leitura} + 0,05\% \text{ do F.E.})$
Potência: Ativa, Reativa, Aparente	$\pm (0,14 \text{ da leitura} + 0,07\% \text{ do F.E.})$
Fator de Potência	0,01 %
Frequência	$\pm 0,05\text{Hz}$ (medido no canal V1)
Energia Ativa	$\pm$ (erro da potência ativa +0,2% da leitura)
Energia Reativa	$\pm$ (erro da potência reativa +0,2% da leitura)
Entrada Analógica	$\pm (0,1\% \text{ da leitura} + 0,05 \text{ do F.E.})$

### 3.3.1.6 Características dos A/Ds das entradas de Tensão e Corrente

A/D's	6 A/D's simultâneos
Resolução	11bits + sinal (12bits lineares)
Tempo de conversão	10 $\mu\text{s}$
Amostragem	7680Hz@60Hz / 6400Hz@50Hz
Banda de resposta	40Hz a 3060Hz(Fundamental 50Hz / 60Hz)
Atualização de registros	A cada ciclo

### 3.3.1.7 Entradas Analógicas da UPD

Nestas entradas, pode-se conectar, por exemplo, a saída de um transdutor de temperatura, ou de pressão, ou outro qualquer, que possua uma saída 0~20mAc.c. / 4~20mAc.c. e através da comunicação serial, pode-se obter estes valores na UPD e formatá-los em unidade de engenharia. Este termo **unidade de engenharia** será utilizado ao longo deste texto e significa a transformação de valores binários para uma representação de unidade decimal que represente uma medida elétrica (Tensão, Corrente, Frequência, etc).

Número de entradas	2
Entrada nominal	0 a 20 mA c.c. / 4 a 20 mA c.c.
Conversão A/D	12 bits
Tempo de resposta	< 100 ms
Classe de exatidão	(0,1% da leitura + 0,05% F.E.)

### **3.3.1.8 Entradas Digitais da UPD**

Número de entradas	4
Tipo de entrada	TTL
Carga da entrada	5mA / 30Vc.c. máximo
Tempo de resposta	< 20 ms

### **3.3.1.9 Saídas Digitais da UPD**

Permitem o acionamento de pequenas cargas por telecomando e alarmes.

Número de saídas	2
Tipo de saída	Coletor aberto
Tensão máxima	30 V c.c.
Corrente máxima	20 mA c.c.
Tempo de resposta	< 20 ms
Modo de operação	Telecomando ou configuração

### **3.3.1.10 Relógio do sistema**

Resolução	1 ms
Sincronismo entre UPDs	< 4ms
Estabilidade	40 ppm/ano

### 3.3.1.11 Protocolo de Comunicação

Esta UPD trabalha com o protocolo MODBUS RTU, o qual é orientado por “frames”, ou seja, blocos contendo as informações solicitadas. Neste protocolo, existe um conjunto de caracteres convencionados, para desempenhar determinadas funções. O protocolo MODBUS – RTU permite apenas um mestre na rede. A figura 3.7 mostra a formação deste “frame” que é enviado para a porta Serial RS485. A configuração pode ser feita com um ou dois “stop bits”, conforme mostra a figura abaixo.

A configuração dos parâmetros da Serial resume-se em:

1. Taxa de transmissão (Baud rate): 38.400 (configuração utilizada)
2. Bit de início (start bit): 1
3. Tamanho dos dados (data bits): 8
4. Paridade: nenhuma
5. Bits de parada (stop bit): 1 ou 2

1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
<i>start bit</i>	<i>data bits</i>								<i>stop bit</i>	<i>stop bit</i>

1	1	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>start bit</i>	<i>data bits</i>								<i>stop bit</i>

Figura 3.7 - “Frame” de transmissão do protocolo Modbus RTU.

### 3.3.1.12 Tabela de Cálculos Utilizada pela UPD

A Unidade de Processamento Digital realiza uma série de cálculos para disponibilizar os valores de algumas grandezas. Como são realizadas conversões Analógico/Digitais apenas para os três canais de corrente e os três canais de tensão, as demais grandezas disponibilizadas para leitura são resultado destes cálculos que são implementados na própria UPD. Esta filosofia de realizar os cálculos no próprio “hardware” agiliza bastante o processo de aquisição e manipulação dos dados. O processamento local para disponibilizar estes valores

calculados em determinadas posições de memória é realizado por uma tabela de cálculos onde existe um algoritmo proprietário (YOKOGAWA / SIEMENS) para o cálculo de cada uma destas grandezas, onde são levados em conta os detalhes de “hardware” do equipamento tais como filtros, amplificadores, etc.

### 3.3.2 Rede RS485

A rede RS485 é utilizada para interligar as UPD's ao servidor de aquisição de dados. Em caso de utilização de mais de uma UPD na rede é necessário a utilização de um resistor terminador. O resistor terminador tem a finalidade de equilibrar a impedância da linha RS485 e deverá ser instalado no final da rede, conforme mostra a figura 3.8. Deve-se utilizar para a comunicação um fio do tipo par trançado e blindado 24 AWG (sistema conhecido como STP – “Shielded Twisted Pair”), o qual atende os requisitos de desempenho exigidos pelas normas IEEE-802.3 [15] e IEEE-802.5 [16]. Deve-se respeitar a polaridade da rede e os respectivos terminais da UPD. A inversão das ligações implica no não funcionamento da unidade que estiver localizada nesta posição ou uma eventual queda da rede. Ou seja, todo ponto “A” da rede deve estar ligado em “A” e todo ponto “B” deverá estar ligado em “B”. No caso deste projeto, como o Microcomputador não possui uma interface RS485, é necessário a utilização de um conversor USB/RS485. O fabricante recomenda a utilização de conversores com isolamento mínima de 2,5 kV.

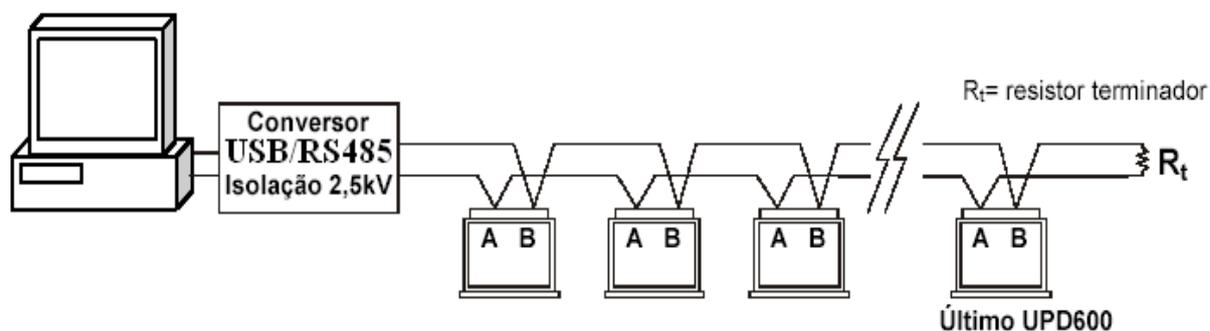


Figura 3.8 - Rede RS485.

### 3.3.3 Conversor USB/RS485

Como já mencionado, é necessário inserir um conversor de protocolo físico USB para RS485 para a comunicação entre UPD's e Servidor local de aquisição de dados. O conversor utilizado neste projeto é de fabricação da “Lábramo Centronics”. Nos testes realizados em laboratório, o desempenho deste equipamento tem apresentado boa performance no manuseio do tráfego da rede. Este conversor é configurado através de “jumpers” para adequá-lo à velocidade da rede, bem como seleção entre os protocolos físicos USB/RS485 ou RS422, e também provê um canal de comunicação serial assíncrona no microcomputador com barramento USB. Este conversor é compatível com todos os dispositivos que utilizem a interface elétrica RS422 ou RS485. Permite também a implementação de redes multiponto RS485 com até 32 equipamentos interligados a uma distância máxima de 1.200 metros. A figura 3.9 mostra o conversor utilizado neste projeto e os “jumpers” de configuração disponíveis.

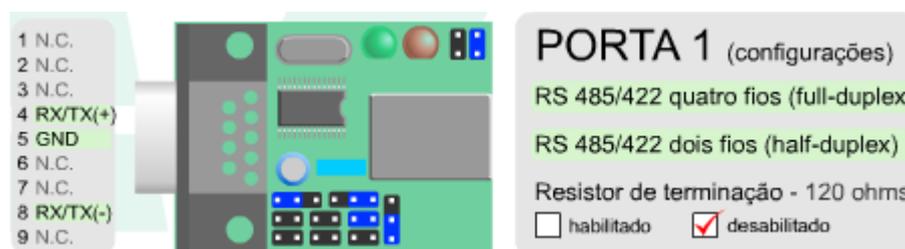


Figura 3.9 - Conversor USB/RS485

#### Padrões elétricos:

**Sinais de Comunicação:** Existem dois sinais de comunicação (TXRX+ e TXRX-). Poderão ser usados também sinais de controle, dependendo do equipamento utilizado.

**Número máximo de Equipamentos:** São permitidos até 32 equipamentos em uma rede do tipo barramento.

**Distância Máxima:** 1200 metros aproximadamente, entre o primeiro e o último equipamento da rede tipo barramento.

A figura 3.10 mostra o fluxo de sinais em uma rede RS485 (“half duplex”).

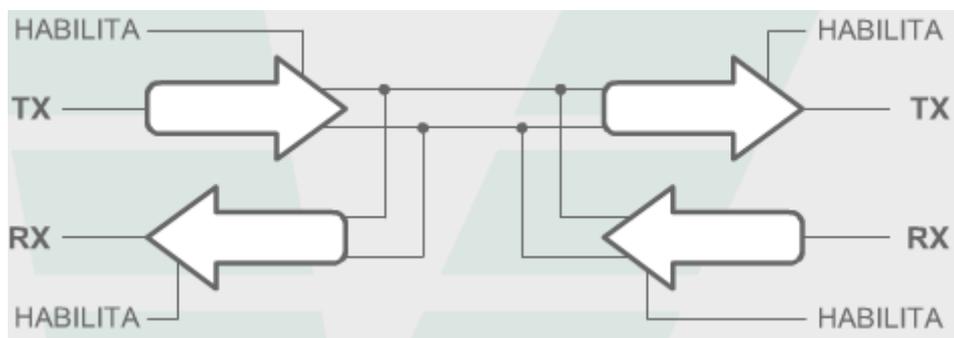


Figura 3.10 - Sinais elétricos no Conversor USB/RS485.

### 3.3.4 Servidor Local de Aquisição de Dados

Para atuar como um **Servidor de Aquisição de Dados** foi instalado um computador de uso comercial (**Processador de 2.4 GHz - 512 MB de Memória RAM - HD de 80 GB**) com sistema operacional Windows XP Professional e banco de dados SQL Server. Uma versão executável do sistema desenvolvido (sistema OOL) é instalado neste servidor para gerenciar todo o sistema de aquisição de dados, armazenamento, no banco de dados e também o controle das UPD's instaladas na rede RS485. Neste servidor também estão as aplicações que permitem o acesso remoto a este servidor.

## 3.4 Considerações Finais

A especificação do “hardware” utilizado neste projeto é toda composta de equipamentos de uso comercial, com protocolos de comunicação mundialmente conhecidos e no caso do protocolo MODBUS RTU de tecnologia aberta, onde o programador possui vasta documentação de pesquisa. A utilização de “hardware” comercial torna o projeto muito atrativo, pois diminui o custo e facilita o acesso à alta tecnologia empregada em equipamentos com **protocolos proprietários**<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Protocolos de comunicação desenvolvidos exclusivamente para serem utilizados nos equipamentos das respectivas empresas que desenvolvem o produto.

## ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARE UTILIZADA NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - OOL

### 4.1 Introdução

Neste capítulo serão descritas as etapas de desenvolvimento do sistema OOL. As funcionalidades principais deste sistema são as rotinas de Oscilografia, Aneel 505, Harmônicas e medição “On Line”. A figura 4.1 mostra um diagrama de estados (Visão Geral) do sistema ora desenvolvido, onde um servidor local acessa os dados de uma UPD (3F4) e disponibiliza seus resultados na interface gráfica, grava no banco de dados e disponibiliza também a visualização destes dados através do Acesso Remoto.

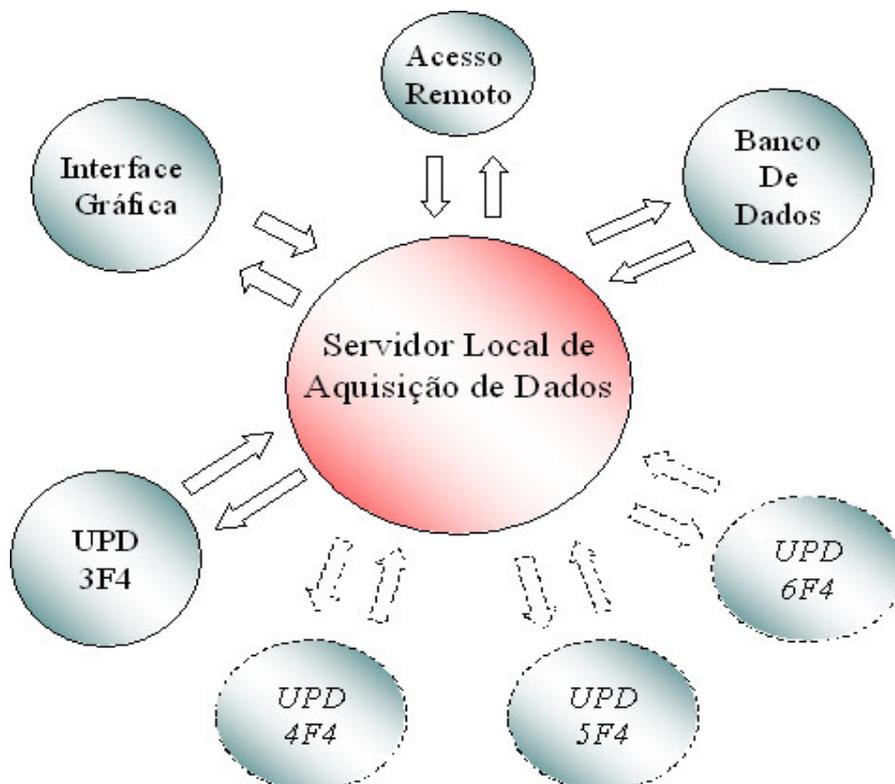


Figura 4.1 - Diagrama de estados do sistema OOL (Visão Geral).

**Servidor Local de Aquisição:** Particularizando o funcionamento do servidor local de aquisição temos todo o desenvolvimento do sistema. O servidor local de aquisição controla todos os módulos deste aplicativo. Alguns módulos funcionam ininterruptamente como é o caso do Módulo RTCK (“Real Timer Clock”), e outros como no caso do módulo de Aneel 505 só são carregados quando o usuário dispara um ensaio de Aneel 505.

Analisando o diagrama de estados da figura 4.2 verifica-se que os módulos de Alarme, “WDOG” (“Watchdog”), Canais de aquisição, CONFIG (Configuração), RTCK (“Real Timer Clock”), máximos e mínimos diários e o módulo de Oscilografia Automática iniciam tão logo o sistema seja inicializado e permanecem executando regularmente os seus “scripts”, de acordo com o intervalo de “loop” de cada módulo. Com exceção apenas do módulo CONFIG, que só é executado uma vez para fazer toda a configuração necessária ao funcionamento adequado da UPD.

Os demais módulos do sistema são executados a partir de uma ação programada, como é o caso do módulo de **oscilografia**, que é chamado pelo módulo **oscilografia automática**, sempre que este constatar que existe uma oscilografia pendente na UPD.

Alguns módulos podem também ser manualmente executados pelo usuário. Sempre que o usuário desejar fazer um ensaio de Harmônica ou Aneel 505 ele estará executando estes módulos para a configuração da UPD e execução do ensaio desejado.

O módulo de RTCK é utilizado para acertar o relógio da UPD. Se eventualmente a UPD perder momentaneamente a alimentação auxiliar (perderá portanto a referência do relógio), a mesma sinaliza em uma posição de memória este ocorrido e o sistema então providencia a correção do relógio da UPD. Esta verificação é feita pelo módulo RTCK a cada 30 segundos.

A figura 4.2 mostra o diagrama de estados do Servidor Local de Aquisição e a relação existente entre os diversos módulos deste sistema, resumidamente explicados aqui. Cada módulo será visto mais detalhadamente adiante, quando o mesmo for abordado.

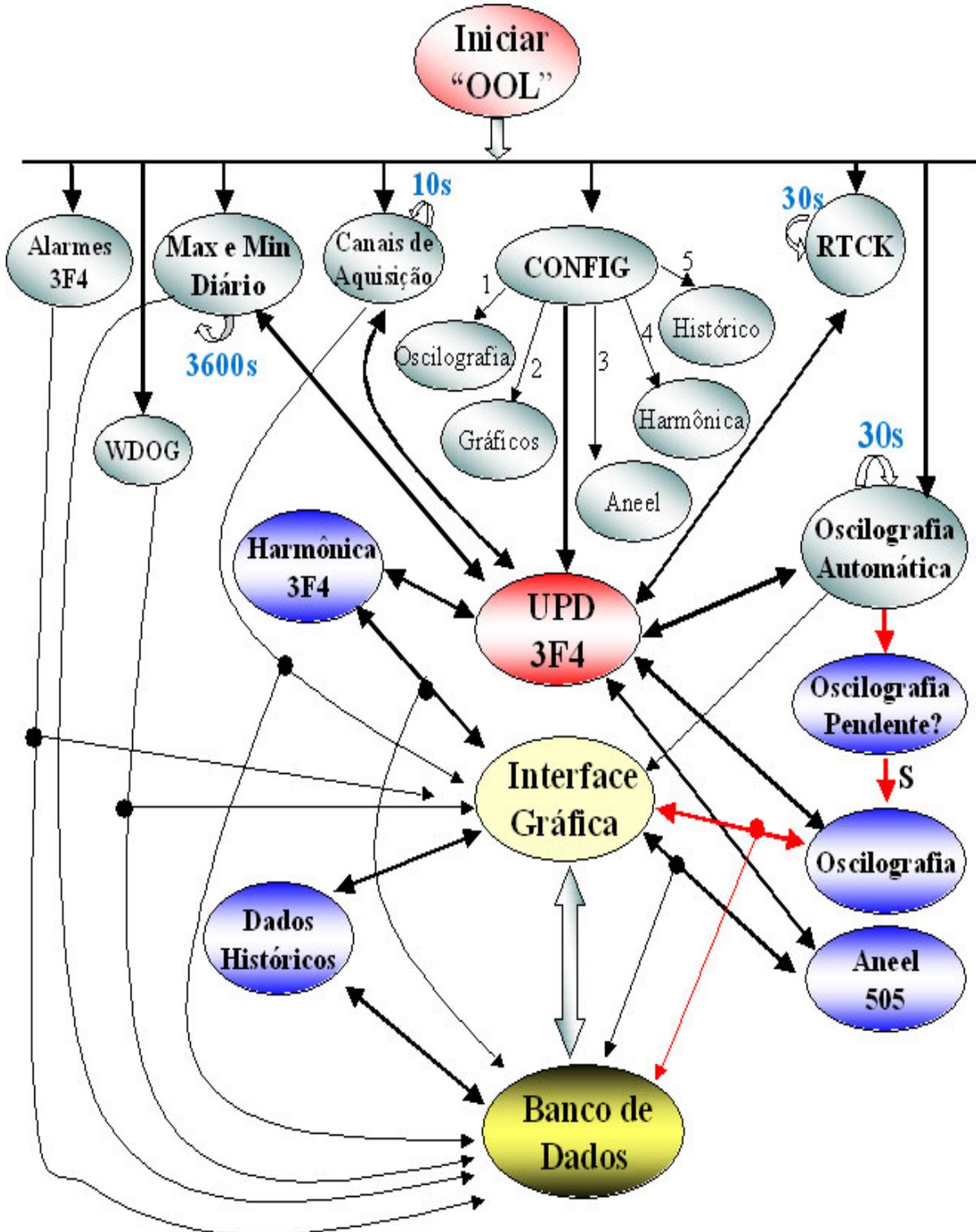


Figura 4.2 - Diagrama de estados do Servidor Local de Aquisição.

**Unidade de Processamento Digital (UPD):** O módulo **UPD3F4** mostrado como parte do sistema OOL da figura 4.2 será visto em detalhes no diagrama de estados de segundo nível. A unidade de processamento digital é responsável por fazer as conversões analógico/digitais e disponibilizar as leituras efetuadas em determinadas posições de memória para que possam ser lidas e transferidas para o sistema OOL, onde serão transformadas em unidades de engenharia e disponibilizadas para visualização “On Line” e gravação no banco de dados. A figura 4.3 mostra o diagrama de estados que representa o funcionamento da UPD.

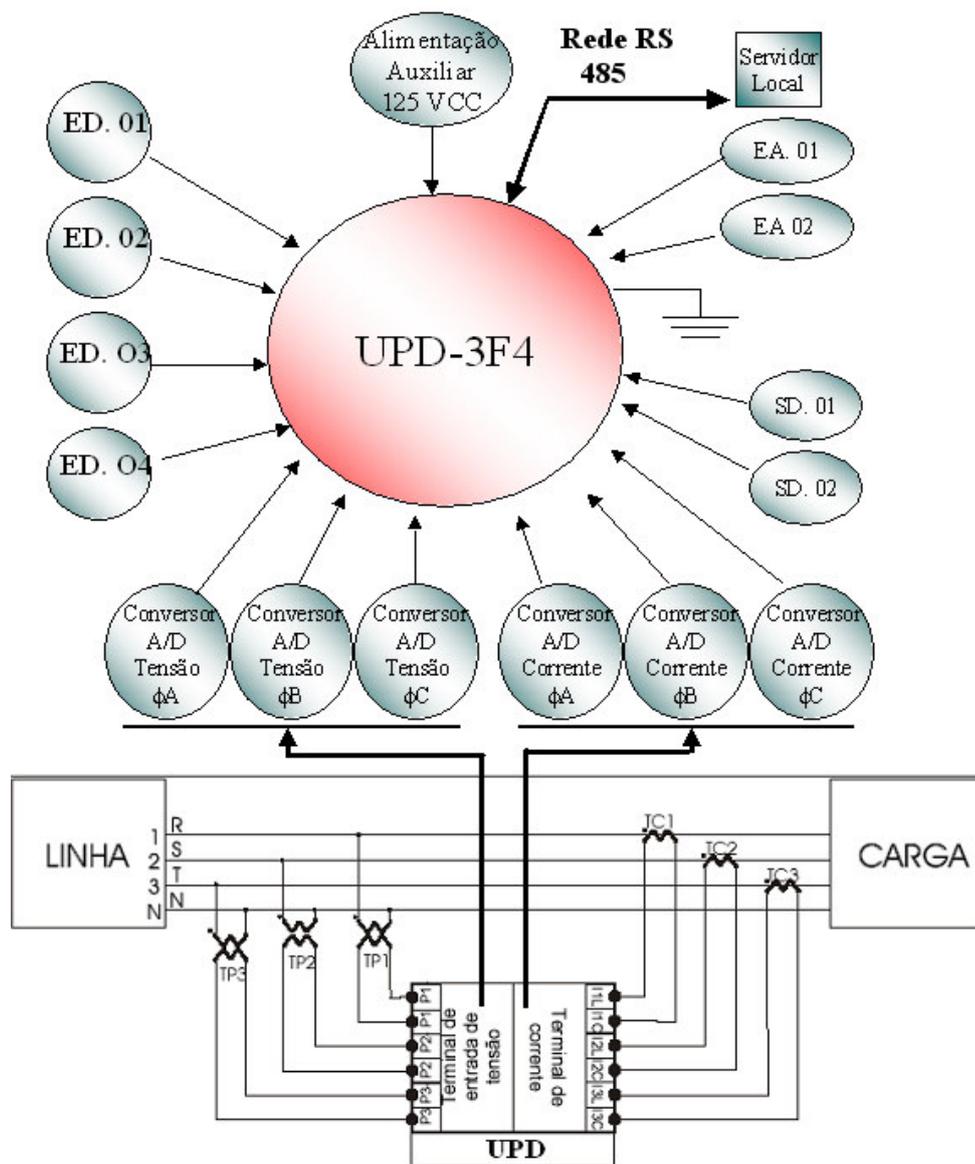


Figura 4.3 - Diagrama de estados da UPD.

## **4.2 Plataforma de Desenvolvimento do sistema**

Todo desenvolvimento do sistema está baseado no sistema operacional Windows XP, ferramenta de programação orientada a objeto (DaqFactory - AZEOTECH), protocolo de comunicação Modbus RTU e banco de dados SQL Server. Algumas rotinas rodam em tempo integral e algumas são chamadas através de eventos ocorridos no sistema.

### **4.2.1 Linguagem de Programação para o Desenvolvimento deste Projeto**

A linguagem de programação utilizada para desenvolver este aplicativo é pouco conhecida do meio acadêmico, porém é uma ferramenta de programação muito poderosa e proporciona ao programador um meio muito eficaz na produção de aplicativos de natureza industrial. Esta linguagem se chama DaqFactory, de propriedade da empresa Americana AZEOTECH. É uma linguagem orientada a objetos muito similar ao C++ Builder da Borland. Outras linguagens de programação como o próprio C++ Builder, ou Linguagens altamente gráficas, como o caso do LabView da National Instruments poderiam também ser utilizadas no desenvolvimento desta dissertação. A escolha pelo DaqFactory da AZEOTECH foi defendida pelo entendimento de que com este software haveria a possibilidade de desenvolver um sistema mais eficiente uma vez que esta linguagem nasceu direcionada para o desenvolvimento de aplicações do meio industrial (Automação Industrial), e também um desafio pois se trata de uma linguagem pouco conhecida com apenas cinco anos de mercado. Não existem livros sobre esta linguagem de programação como existem em outras linguagens, porém a ferramenta possui documentação de excelente qualidade [4] para auxiliar novos empreendedores a investirem na idéia de programar nesta linguagem.

A título de ilustração é apresentada uma figura com uma parcela do “script” de programação do módulo de Oscilografia para que o leitor possa familiarizar-se com a linguagem DaqFactory (AZEOTECH). A figura 4.4 apresenta o intervalo de programação onde o sistema OOL faz o “download” de uma oscilografia que está armazenada na UPD.

```

// Leitura de Oscilog Pendente.
Var.canal = 0    // Canal
Var.ciclo = 0    // Ciclo
while(Var.canal < 6)
    Device.ModbusRTU.PresetSingleRegisterSI(1,960,Var.canal)
    while (Var.ciclo < 36)
        Device.ModbusRTU.PresetSingleRegisterSI(1,961,var.ciclo)
        Var.Maux1 = Device.ModbusRTU.ReadHoldingRegistersUSI(1,962,64)
        Var.SemiCicloX1 = Transpose(Var.Maux1, 0)
        Var.Maux2 = Device.ModbusRTU.ReadHoldingRegistersUSI(1,962,64)
        Var.SemiCicloX2 = Transpose(Var.Maux2, 0)
        Var.CicloX = Concat(Var.SemiCicloX1 , Var.SemiCicloX2)
        switch
            case (Var.canal == 0)
                R10.AddValue(Var.CicloX) // VA Oscilog
            case (Var.canal == 1)
                R11.AddValue(Var.CicloX) // IA Oscilog
            case (Var.canal == 2)
                R12.AddValue(Var.CicloX) // VB Oscilog
            case (Var.canal == 3)
                R13.AddValue(Var.CicloX) // IB Oscilog
            case (Var.canal == 4)
                R14.AddValue(Var.CicloX) // VC Oscilog
            case (Var.canal == 5)
                R15.AddValue(Var.CicloX) // IC Oscilog
            endcase
        Var.Download+=1
        Var.ciclo+=1
    endwhile

```

*Figura 4.4 - Linguagem de Programação DaqFactory .*

### 4.3 Desenvolvimento do sistema

O sistema funciona basicamente no modo “master/slave”, onde o programa instalado no servidor de aquisição de dados tem a função de mestre e faz todas as aquisições de dados dos transdutores (UPD) da rede. Do outro lado estão as UPD’s que respondem a todas estas requisições através do protocolo Modbus RTU no modo “slave”. Ao iniciar o sistema OOL, uma série de parâmetros de configuração são passados para as UPD’s, através de comandos Modbus RTU. Cada aplicativo do sistema possui uma série de parâmetros para definir seu modo de operação. Para o aplicativo Aneel 505, por exemplo, é necessário que sejam passados parâmetros de valor da tensão contratada, valor do intervalo de aquisição, número de amostras, índice TAI (Tensão Adequada Inferior), TAS (Tensão Adequada Superior), TPI (Tensão Precária Inferior) e TPS (Tensão Precária Superior). Alguns destes parâmetros podem ser posteriormente alterados durante a operação rotineira do sistema OOL. Todos os demais aplicativos que compõem o sistema OOL (Oscilografia, Harmônicas, Máximos e Mínimos, Aquisição “On Line”) também precisam de parâmetros a serem passados no início de operação do sistema OOL.

O meio físico utilizado para comunicação entre servidor local de aquisição de dados e as UPDs é composto por um conversor USB/RS485 e uma linha de RS485 com velocidade de 38.400 bps.

O sistema foi subdividido em diversos aplicativos que rodam independentes uns dos outros para a realização de diversas tarefas. Estes aplicativos foram concebidos para realizar as seguintes funções:

### 4.3.1 Aplicativo Oscilografia

Este aplicativo é o principal módulo do sistema. Sobre ele funcionam rotinas que permitem ao usuário um avançado sistema de disparo, configuração e aquisição de oscilografias. A figura 4.5 mostra o diagrama de estados do módulo de **Oscilografia**. O módulo de oscilografia automática é executado continuamente em intervalos de 30 segundos. Em cada uma destas iterações o sistema consulta a UPD para verificar se existe oscilografia pendente. Quando ocorre uma perturbação no sistema, a UPD que já está previamente configurada, registra a oscilografia gravando estes dados na sua memória e indica em uma posição de memória específica (**M 952**), que existe uma oscilografia pendente na UPD. Neste caso o sistema OOL (módulo de Oscilografia Automática) percebe esta sinalização e chama o módulo de oscilografia que é responsável por fazer o “download” destes dados. O sistema OOL então, sinaliza para o usuário que há um “download” de oscilografia em curso e também comuta a interface gráfica para a PÁGINA DE OSCILOGRAFIA para que o usuário possa acompanhar/verificar a oscilografia em questão.

Ao finalizar o processo de “download” o sistema executa outro módulo para realizar os cálculos que transformarão este sinal digital em uma unidade de engenharia apropriada (Tensão / Corrente). À medida que vão sendo calculados cada canal de oscilografia (total de seis canais) o usuário já pode acompanhar os resultados no respectivo gráfico. A ordem de cálculo é a seguinte: VA, VB, VC, IA, IB e IC. Ao finalizar os cálculos e disponibiliza-los para o usuário, os dados são gravados em um banco de dados criado para este fim.

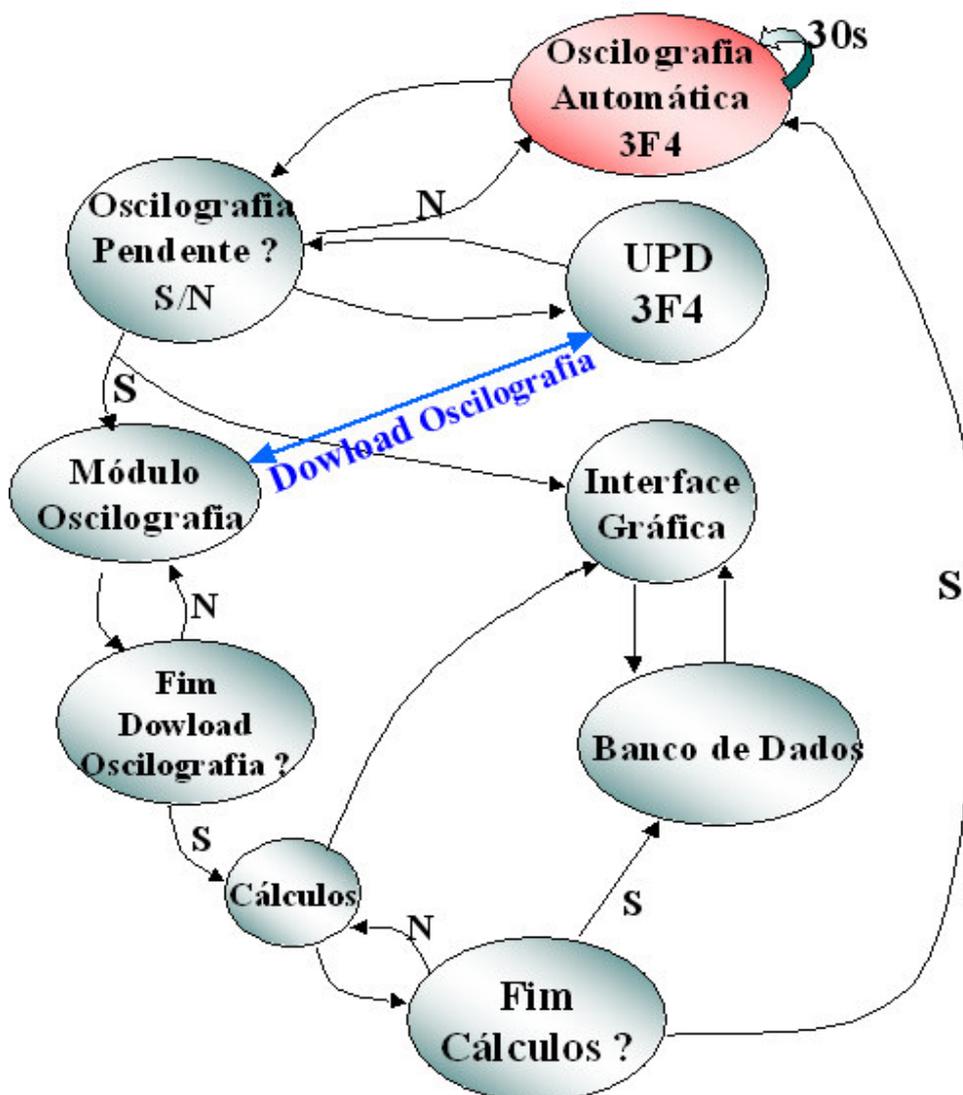


Figura 4.5 - Diagrama de estados do módulo Oscilografia Automática.

O sistema de oscilografia possui as seguintes características:

#### 4.3.1.1 Gatilho de Oscilografia

No momento da falha a UPD, que já está previamente configurada para operar sob determinada configuração de oscilografia, percebe a falha (quando o valor da grandeza medida naquele instante atinge o valor previamente configurado para “trigger” em determinada grandeza) e grava os dados de oscilografia das três Tensões e das três Correntes em uma área de memória destinada a esse fim. Sinaliza também em uma posição de memória da UPD que existe uma oscilografia pendente no sistema. O sistema instalado no servidor de

aquisição percebe esta sinalização na UPD e inicia o processo de “download” destes dados. Estes dados de oscilografia possuem o seguinte formato: São 128 amostras por ciclo (período de amostragem de 130  $\mu$ s), onde cada amostra é representada por 16 bits (12 de resolução) e 36 ciclos para cada uma das grandezas oscilografadas (VA, VB, VC, IA, IB, IC). A oscilografia quando é transferida para o servidor ainda é acrescida de um “overhead” de rede de 25% (ou seja, para cada 8 bits transmitidos é necessário transmitir mais 2 bits de controle). Isto gera um tráfego de 552.960 bits entre a UPD e o servidor de aquisição de dados para fazer o “download” da oscilografia gerada. (69.120 BYTES).

#### **4.3.1.2 Opções de disparo de Oscilografia**

É possível disparar a oscilografia por 25 dispositivos diferentes. O disparo ocorre quando se atinge um valor máximo ou mínimo de uma grandeza elétrica, ou através das entradas digitais ou ainda via comando do Protocolo Modbus. A configuração dos dispositivos que estarão habilitados a gerar oscilografia é feita em tempo real, através de uma interface disponibilizada ao usuário na tela principal do programa (CONFIGURAÇÕES ESPECIAIS). Por “default” o sistema gera oscilografia por sobrecorrente nas fases A, B, C e Neutro, subtensão/sobretensão nas fases A, B e C, subfreqüência, disparo via comando do Protocolo Modbus e disparo via entrada digital 4 (simulando a abertura de um disjuntor).

#### **4.3.1.3 Configuração de “Pré-trigger” em tempo real**

A configuração de “pré-trigger” em tempo real pode ser realizada através da Interface gráfica (CONFIGURAÇÕES ESPECIAIS). A faixa de configuração de “pré-trigger” é de 0 a 35 ciclos. O valor “default” de “pré-trigger” está configurado em 10 ciclos.

#### **4.3.1.4 Visualização dos resultados**

Permite a visualização gráfica de oscilografia de tensão e corrente nas três fases durante o período de “download” e cálculos para unidade de engenharia. Os gráficos de oscilografia (VA, VB, VC, IA, IB e IC) foram construídos de modo que o usuário possa durante a análise, executar comandos no gráfico permitindo ao mesmo a visualização dos dados ciclo a ciclo, ou em intervalos configuráveis (0 a 36 ciclos). Os dados de oscilografia são armazenados e podem ser acessados posteriormente pelo usuário.

#### **4.3.1.5 Sinalização de oscilografia pendente**

Quando existe uma oscilografia pendente no sistema ocorre a sinalização deste evento para o usuário (que pode ser via sistema supervisório e/ou via mensagens instantâneas através da rede ethernet).

### **4.3.2 Aplicativo Aneel 505**

Realiza testes de qualidade de energia baseado na resolução 505 da ANEEL [1]. Gera relatórios com gráficos de linha, histogramas e tabelas de dados. Pode ser configurado para realização de testes automáticos ou realizar testes manuais conforme necessidades do usuário. Além disso, pode realizar também testes de qualidade de energia com um rigor maior do que a determinação da norma ANEEL 505 (configurável pelo usuário).

A Resolução 505 da ANEEL trata basicamente da qualidade de energia fornecida ao cliente em termos de **Nível de Tensão** entregue ao usuário, da **Demanda Contratada** entre concessionária e cliente, e **Multas** relacionadas ao não cumprimento de metas estabelecidas nesta resolução. A resolução 505 fornece também os modelos para formatação dos testes e

apresentação dos resultados. Em caso de reclamação por parte do cliente a concessionária precisa realizar dois testes padronizados pela ANEEL que são:

**Teste 01:** 144 amostras em cada uma das três fases, sendo cada conjunto de amostras intercalado por 10 minutos (um dia de teste). O equipamento de medição deve atender aos requisitos descritos nos artigos 14 e 15 da Resolução 505 da ANEEL.

**Art. 14.** As medições de tensão oriundas de reclamação ou amostrais devem ser realizadas utilizando-se equipamentos com as características mínimas a seguir:

I - taxa de amostragem de 16 amostras por ciclo;

II - conversor A/D (Analógico/Digital) do sinal de tensão de 12 bits; e

III - precisão de até 1% (um por cento) da leitura.

**Art. 15.** O equipamento de medição deverá permitir o cálculo dos valores eficazes de tensão utilizando intervalos de medição de 10 (dez) minutos, com janelas fixas e consecutivas de 12 a 15 ciclos, e apresentar as seguintes informações:

I - valores calculados dos indicadores individuais;

II - tabela de medição; e

III - histograma de tensão.

**Parágrafo único.** Quando houver registro de valores referentes à interrupção de energia elétrica, afundamentos e/ou elevações momentâneas de tensão, o intervalo de medição de 10 (dez) minutos deverá ser expurgado.

**ANEEL - Resolução n° 505 de 26 de Novembro de 2001.**

Encontrando algum indício de problema no teste de 24 horas a concessionária deve providenciar a execução do teste número dois.

**Teste 02:** 1008 amostras em cada uma das três fases, sendo cada conjunto de amostras intercalado por 10 minutos (uma semana de teste).

#### **4.3.2.1 Realização do teste e “download” dos resultados**

Durante o intervalo de teste todos os dados ficam armazenados na memória da UPD. O usuário pode acompanhar o teste através dos índices parciais de DRCi (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica instantânea), e DRPi (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária instantânea) que são atualizados a cada 30 segundos. Existe também uma barra de progressão para informar ao usuário o percentual de teste já realizado (lado esquerdo

dos Histogramas Aneel505). Ao final do teste o sistema faz o “download” do teste gerado e disponibiliza os dados convertidos em unidade de engenharia para o usuário.

#### **4.3.2.2 Apresentação dos Resultados**

A apresentação dos resultados para a ANEEL deve ser em 3 Histogramas (um para cada fase), acompanhado das Tabelas com todas as leituras, o índice de Duração Relativa de Transgressão de Tensão Crítica apurado (DRC), índice de Duração Relativa de Transgressão de Tensão Precária apurado (DRP), Número de leituras em precário (NLP), Número de leituras em crítico (NLC) e também um gráfico de linhas onde deve contemplar a visualização de todas as leituras nas três fases durante todo o período analisado. No gráfico de linhas deve conter também (destacado) os valores de máximo e mínimo de tensão em cada fase. Os histogramas devem conter uma discretização mínima de 40 intervalos distribuídos entre 80% da Tensão Nominal e 120% da Tensão Nominal. Cada leitura de tensão ocupará então um destes níveis discretos (que representam um intervalo de 1% da tensão contratada – exceto os dois extremos).

#### **4.3.2.3 Diagrama de Estados (Módulo Aneel 505)**

A figura 4.6 mostra o diagrama de estados do módulo Aneel 505. Quando o usuário requisita um ensaio “Aneel 505” através da interface gráfica, o módulo Aneel inicia a configuração da UPD para a realização do ensaio, conforme programado pelo usuário. Logo após é enviado um comando para a UPD informando para iniciar o referido ENSAIO. Paralelamente ao ensaio que a UPD está realizando e armazenando os dados em sua memória, o módulo “Aneel 505” faz uma requisição à UPD a cada 10 segundos para verificar/acompanhar o desenvolvimento de ENSAIO, bem como sinalizar para o usuário os índices parciais de DRPi e DRCi.

Ao finalizar o ensaio o módulo “Aneel 505” se encarrega de fazer o “download” do ensaio e realizar os cálculos para transformar estes dados digitais em unidade de engenharia apropriada (Tensão). Finalmente mostra os resultados do ensaio na interface gráfica e grava o ensaio no banco de dados.

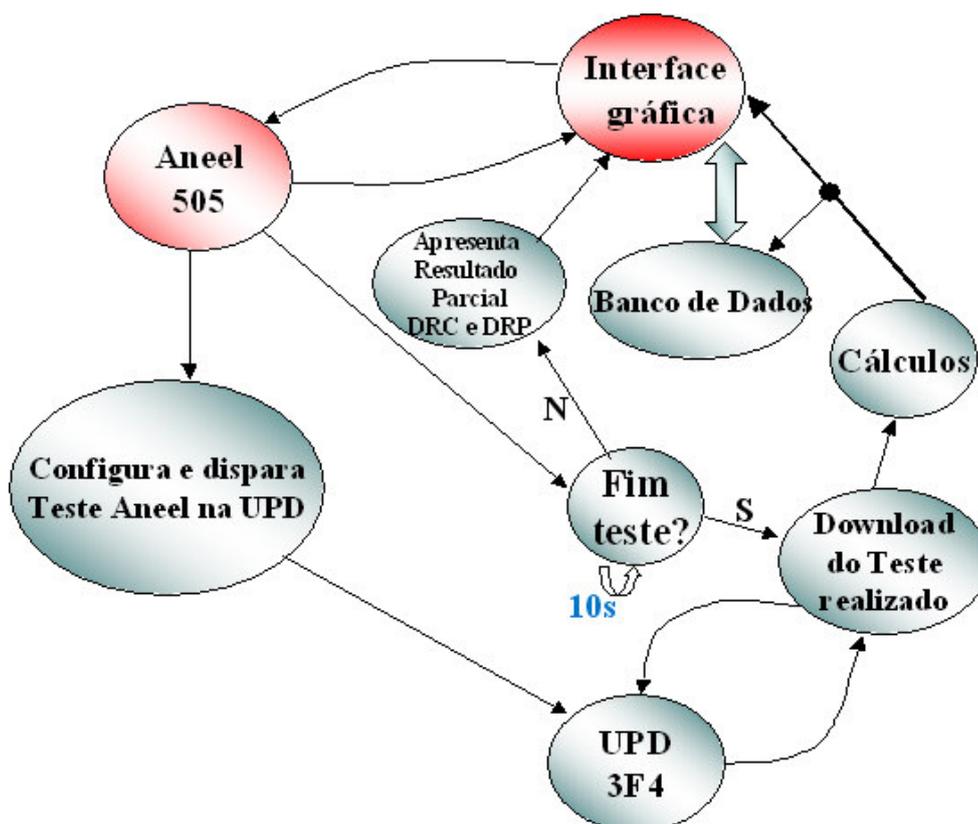


Figura 4.6 - Diagrama de estados do módulo Aneel.

### 4.3.3 Aplicativo Harmônicas

Realiza testes de harmônicas da rede conforme configuração desejada pelo usuário. O usuário pode a qualquer momento requisitar ao sistema a realização de teste de harmônicas, conforme uma configuração personalizada (Período de Teste, Intervalo de aquisição, Modo THD - IEC ou IEEE). O sistema gera histogramas de harmônicas de tensão (fases A, B e C) e corrente (fases A, B e C) distribuídas entre a Fundamental e 51<sup>a</sup> harmônica. Se, por exemplo: foi configurado um ensaio de harmônicas com um minuto de duração e 10 segundos de intervalo de aquisição serão gerados ao todo seis testes durante este ENSAIO. Tão logo o sistema

realiza o primeiro teste já é possível visualizar os histogramas gerados para cada uma das fases. Ao final do segundo teste é apresentado ao usuário os resultados deste (e assim sucessivamente). Ao final do ensaio o usuário pode navegar entre os diversos testes realizados (seis testes neste caso) para comparar os resultados obtidos. Estes dados também são gravados no banco de dados para pesquisas posteriores.

#### **4.3.3.1 Diagrama de Estados (Módulo Harmônicas)**

A figura 4.7 mostra o diagrama de estados do módulo “**Harmônicas**”. Quando o usuário requisita um ensaio de “Harmônicas” através da interface gráfica, o módulo “**Harmônica3F4**” inicia a configuração da UPD para a realização do ensaio, conforme programado pelo usuário. Logo após o módulo “**Harmônica3F4**” envia um comando para a UPD para iniciar o referido ENSAIO (que é composto de um ou vários TESTES – dependendo da configuração passada pelo usuário). Neste ponto, para explicar melhor o diagrama de estados da figura 4.7, vamos imaginar um ensaio onde o usuário tenha feito a seguinte configuração: Duração do ensaio = Um minuto e Intervalo entre os TESTES = 10 segundos.

Neste caso seria realizado um ENSAIO composto de seis TESTES consecutivos e intercalados por um intervalo de 10 segundos. Ao final de cada intervalo (10 segundos) o módulo “**Harmonica3F4**” faz o “download” do referido teste (1...6), realiza os cálculos para transformar estes dados digitais em unidade de engenharia apropriada (Tensão/Corrente), mostra os resultados do ensaio na interface gráfica e grava o ensaio em um arquivo temporário. Ao final do ENSAIO o sistema grava o conteúdo do arquivo temporário no banco de dados. Neste arquivo estão contidos todos os TESTES (6) realizados neste ENSAIO.



#### 4.3.4.1 Diagrama de Estados (“Medição On Line”)

A figura 4.8 mostra o diagrama de estados do módulo de “Medição On Line”, onde os canais de aquisição fazem a leitura de dados na UPD e realizam os cálculos para transformar estes valores em unidades de engenharia (tensão, corrente, frequência, etc). Após este passo os dados são apresentados na interface gráfica e também gravados no banco de dados. A iteração entre este módulo e a UPD é de 10 segundos.

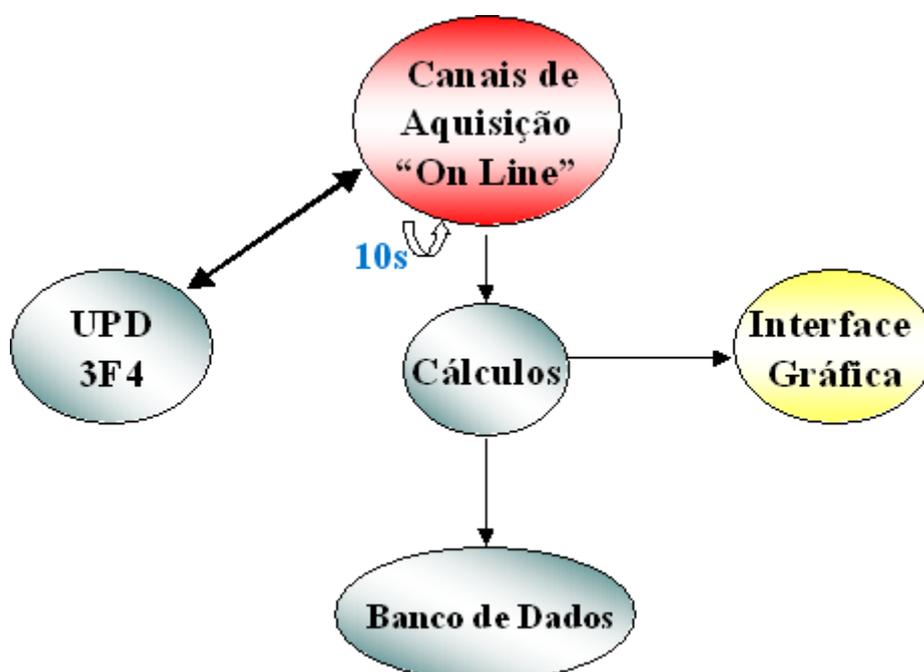


Figura 4.8 - Diagrama de estados do módulo “Medição On Line”.

#### 4.3.5 Aplicativo Medição de Energia Ativa e Energia Reativa “On Line”

Este aplicativo foi desenvolvido para permitir a medição remota do consumo de energia de uma **Unidade Consumidora** (Linha/Cliente), realizando a aquisição de medição de **energia ativa e energia reativa** em intervalos de 10 segundos junto à UPD. Apresenta estes dados em tempo real através de um gráfico de monitoração “On Line” onde são mostrados os resultados de medição de energia ativa e reativa. O usuário pode a qualquer instante zerar o consumo de energia e iniciar uma nova medição. Basta um comando no gráfico de onde o usuário então

sensibiliza a UPD para reiniciar a totalização do consumo de energia. Os dados destas grandezas são gravados em banco de dados para pesquisas posteriores.

#### **4.3.6 Aplicativo “Watchdog - WDOG”**

Este aplicativo foi desenvolvido com a função de verificar constantemente o adequado funcionamento de cada módulo do sistema. TODOS os módulos deste sistema (OOL) possuem um sistema de verificação de sua funcionalidade. Em caso de falha em um destes módulos, o aplicativo “**Watchdog**” mostra ao usuário do sistema um alarme através de uma tela “Pop Up”. Esta tela só será retirada quando este alarme for reconhecido pelo usuário. Este tipo de aplicativo é usual em todo software desenvolvido por grandes empresas e obviamente é muito útil para o programador, pois possibilita que em caso de falha em algum módulo, a mesma possa ser identificada com rapidez e precisão. Cada módulo do sistema gera um alarme diferente para o usuário, indicando textualmente em qual módulo do sistema a falha se encontra. Para o usuário também é muito importante a implementação deste módulo, pois permite que sejam visualizadas todas as possíveis falhas de um modo mais amigável. Todo dado de alarme gerado por este módulo é armazenado no banco de dados para pesquisas (programador).

#### **4.3.7 Aplicativo Alarmes**

Este aplicativo tem a função de gerar relatórios de alarmes das grandezas elétricas monitoradas pelo sistema. Um alarme (sonoro e visual) é gerado sempre que uma determinada grandeza ultrapassar limites previamente estabelecidos. Por exemplo: (Sobrecorrente, Sobretensão, Subtensão, Subfrequência, etc). Todos os alarmes gerados por este módulo são visualizados pelo usuário em tempo real e também armazenados em banco de dados para pesquisas posteriores.

#### **4.3.8 Aplicativo Máximos e Mínimos**

Este aplicativo permite a análise de valores máximos e mínimos de várias grandezas elétricas ocorridas a cada intervalo de uma hora. Através de um gráfico são mostrados os valores máximos e mínimos diários para cada grandeza especificada pelo usuário do sistema (na fase de programação). Todos os dados gerados por este aplicativo são gravados em banco de dados e podem ser vistos posteriormente pelo usuário através de um filtro com intervalo de data desejado.

#### **4.3.9 Aplicativo Configurações Especiais**

O aplicativo de configurações especiais permite ao usuário a alteração de alguns parâmetros do sistema (em tempo real) para mudar a forma de funcionamento dos aplicativos de oscilografia, Aneel 505 e alteração de relação de TP's e TC's.

##### **Configurações Especiais (Oscilografia)**

O usuário pode alterar as configurações de oscilografia, alterando os limites de disparo (máximos e mínimos de cada grandeza), pode selecionar quais grandezas estarão habilitadas para gerar oscilografia e também selecionar o “pré-trigger” a ser configurado na UPD.

##### **Configurações Especiais (Aneel 505)**

Aqui o usuário pode alterar as configurações do aplicativo Aneel 505, alterando os parâmetros de cálculo dos histogramas, baseado nas informações da norma Aneel 505 que determina valores diferenciados para cada classe de tensão onde se realiza o ensaio (conforme tabelas 5.2, 5.3 e 5.5). Estes parâmetros são: TAI (Tensão Adequada Inferior), TAS (Tensão Adequada Superior), TPI (Tensão Precária Inferior) e TPS (Tensão Precária Superior).

##### **Configurações Especiais (Relação TP e TC)**

Permite a alteração em tempo real dos parâmetros de RTC e RTP em caso de mudança de equipamento.

#### 4.3.9.1 Diagrama de Estados (Configurações Especiais)

A figura 4.9 apresenta o diagrama de estados do módulo de configurações especiais. Neste módulo apenas usuários avançados têm permissão de acesso, pois se trata de configurações que serão executadas eventualmente e requerem um especial cuidado para realizá-las.

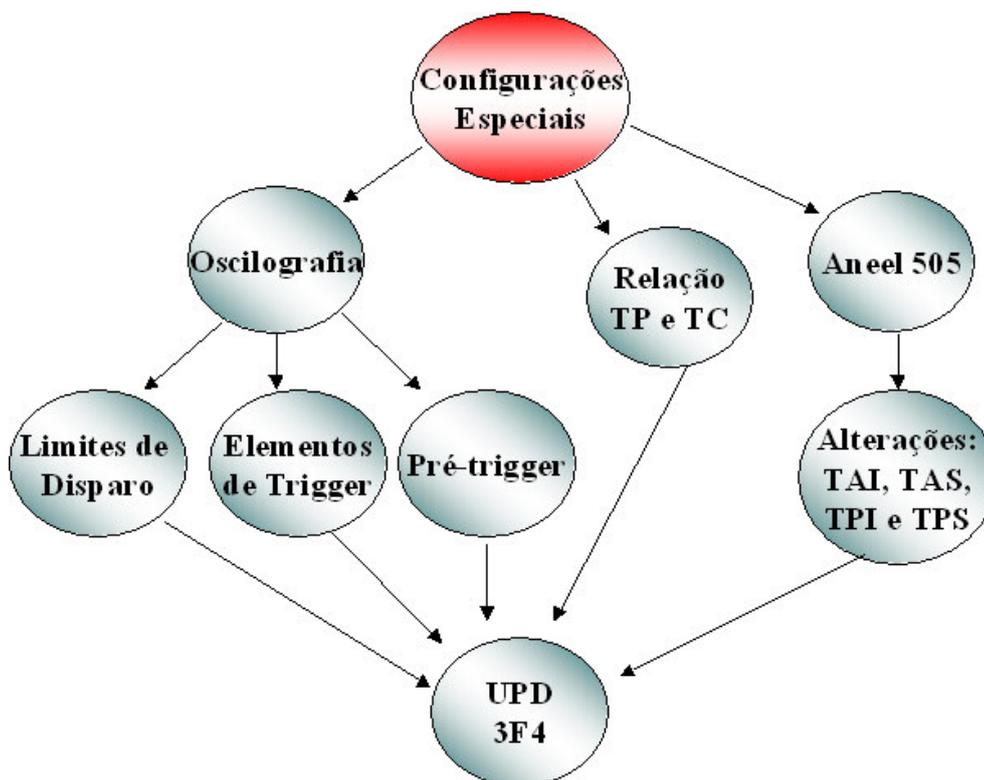


Figura 4.9 - Diagrama de estados do módulo “Configurações Especiais”.

#### 4.3.10 Aplicativo Visualizar dados Históricos

**Dados históricos de oscilografia:** Permite a visualização de oscilografias anteriores que foram armazenadas no banco de dados.

**Dados históricos Aneel 505:** Permite a visualização de testes Aneel 505 anteriores que foram armazenados no banco de dados.

**Dados históricos de harmônicas:** Permite a visualização de testes de harmônicas anteriores que foram armazenados no banco de dados.

**Dados históricos de medição “On Line”:** Este aplicativo permite que sejam acessados dados históricos das medições “On Line” (corrente, tensão, frequência, fator de potência, energia ativa e reativa, potência e alarmes do sistema).

**Dados históricos de “Alarmes”:** Este aplicativo permite que sejam acessados dados históricos de Alarmes que foram armazenados no banco de dados.

#### **4.3.10.1 Diagrama de Estados (Módulo Dados Históricos)**

A figura 4.10 mostra o diagrama de estados deste módulo. Quando o usuário precisa pesquisar uma informação no banco de dados ele possui duas opções distintas:

**Opção um:** Quando o usuário deseja realizar uma busca de informações de ROTINA. (Todas as grandezas elétricas armazenadas no banco de dados que são oriundas da medição “On Line” – VA, VB, VC, IA, IB, IC, IN, Frequência, Potência Ativa, Potência Reativa, Potência Aparente, Fator de Potência e Energia). Para este caso o usuário deve informar o intervalo de data desejado para a pesquisa no banco de dados. Se o intervalo estiver adequado, abre-se uma janela “pop up” com todas as opções para que o usuário faça a busca pelo dado desejado (Tensão, Corrente, Potência, etc).

**Opção dois:** Quando o usuário desejar realizar uma busca no banco de dados por **Oscilografia**, por determinado ensaio de **Harmônicas** ou ensaio de **Aneel 505**. Neste caso o usuário deve informar o intervalo de data para a pesquisa. Inicialmente é feito uma busca no banco de dados para verificar se existem ENSAIOS no banco de dados para o período informado (individualmente para cada um dos casos – **Oscilografia**, **Harmônicas**, **Aneel 505**). O resultado destas três buscas realizadas no banco de dados preenche três tabelas com informações de datas onde existem ensaios gravados no banco de dados.

Para acessar determinado ensaio que conste na tabela o usuário deve informar a data e hora desejada e selecionar os itens deste ensaio específico que ele deseja acessar no banco de dados. (A data e hora informada devem constar na tabela preenchida na primeira pesquisa ao banco de dados). A seleção dos itens permite ao usuário realizar uma busca seletiva de informações. No caso de **OSCILOGRAFIA** o usuário pode selecionar individualmente cada canal (VA, VB, VC, IA, IB e IC). No caso do ensaio de **HARMÔNICAS** o usuário pode selecionar entre os histogramas (VA, VB, VC, IA, IB, IC). No caso do ensaio de **ANEEL 505** o usuário pode selecionar entre os histogramas (VA, VB, VC) e entre os Gráficos de Linha (VA, VB, VC).

Após a referida seleção a pesquisa é então direcionada ao banco de dados que retorna com as informações desejadas nos mesmos gráficos onde o usuário já está acostumado a ver os resultados de ensaio de cada um dos respectivos itens EVENTUAIS (**Oscilografia, Harmônicas, Aneel 505**).

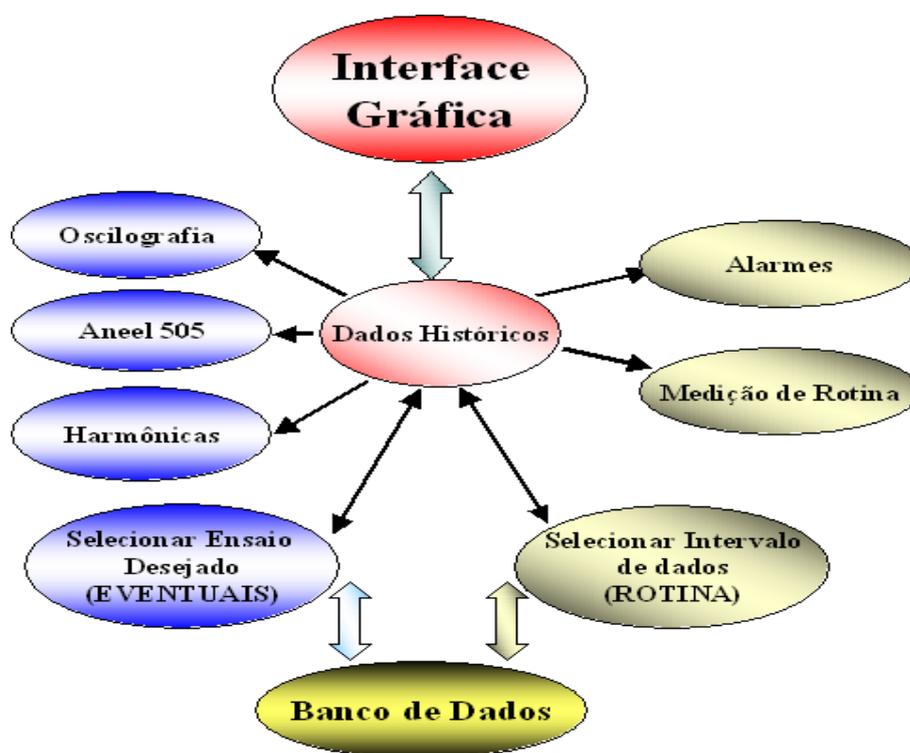


Figura 4.10 - Diagrama de estados do módulo "Dados Históricos".

#### **4.3.11 Aplicativo RTCK (“Real Timer Clock”)**

Este aplicativo é responsável por manter o relógio da UPD em sincronismo com o relógio do servidor de aquisição de dados. Em caso de perda momentânea da fonte de alimentação da UPD o relógio interno perde a referência e precisa ser novamente sincronizado com o servidor. A função deste módulo então é monitorar constantemente a UPD e corrigir eventuais falhas. O trabalho realizado por este módulo é de suma importância, pois todo o sistema depende deste “Relógio” para geração dos tempos de aquisição (principalmente o sistema de oscilografia onde a resolução precisa atingir níveis de Microssegundos).

#### **4.4 Banco de dados**

O banco de dados utilizado foi o SQL Server da Microsoft (versão 7.0). O projeto do banco de dados para este sistema foi elaborado sob dois aspectos distintos:

**O primeiro aspecto** é de que os dados de rotina (que são aquisitados a cada 10 segundos) devem ser armazenados nas tabelas do banco de dados através de scripts de “Logging”, sendo um para cada grandeza que se deseja armazenar no banco de dados.

**O segundo aspecto** é a forma de gravação dos dados eventuais (Harmônicas, Oscilografia e Aneel 505) no banco de dados. Como estes dados constituem um volume muito grande para serem transferidos assim que se conclui um ensaio (Harmônicas, Oscilografia e Aneel 505), não seria conveniente utilizar o esquema de transferência de dados através de “scripts de Logging”. A solução encontrada foi utilizar alguns recursos do banco de dados (“Packages”) para que estes dados pudessem ser transferidos tão logo termine o ensaio e em um reduzido período tempo. Neste caso também é necessário uma estrutura diferenciada, pois aqui,

quando o usuário desejar fazer uma pesquisa ele estará interessado em **determinado ensaio** e não em **determinado período de tempo**.

## **4.5 Projeto do banco de dados do sistema OOL**

O projeto do banco de dados foi dividido em dois grupos distintos, conforme já mencionado anteriormente. No primeiro grupo estão os dados de ROTINA e no segundo os dados EVENTUAIS.

### **4.5.1 Dados de ROTINA**

O projeto do banco de dados foi elaborado em uma estrutura onde os dados de ROTINA constituem-se em várias tabelas para o armazenamento de valores oriundos do sistema de aquisição de dados “On Line”. Para estas tabelas o sistema OOL envia para o banco de dados a estampa de tempo em que ocorreu a medição e o valor da grandeza a ser armazenada.

A conexão com o banco de dados para a transferência destes valores é feita individualmente. O sistema OOL abre uma conexão para cada tabela, transfere os dados e fecha esta conexão (isto ocorre a cada intervalo de aquisição do sistema – no caso deste projeto está configurado 10 segundos). Esta regra vale para as tabelas (VA, VB, VC, IA, IB, IC, IN, VAB, VAC, VBC, FP, FREQ, PVAR, PW, PVA, WH e VARH). No caso da Tabela WDOG é enviado dado somente quando ocorrer um evento desta natureza, ou seja: quando o **módulo de WDOG** perceber alguma anormalidade no sistema OOL.

#### 4.5.1.1 Tabelas (Dados de ROTINA)

A figura 4.11 mostra como foram projetadas estas tabelas da “Medição On Line” no banco de dados, onde cada tabela armazena uma grandeza elétrica associada à data de aquisição junto a UPD. Ou seja, será armazenado um dado a cada 10 segundos em cada uma das tabelas.

<b>TENSAO_VA3F4</b>	<b>CORRENTE_IA3F4</b>	<b>PW_3F4</b>
<b>Tempo</b> <b>VA</b>	<b>Tempo</b> <b>IA</b>	<b>Tempo</b> <b>PW</b>
<b>TENSAO_VB3F4</b>	<b>CORRENTE_IB3F4</b>	<b>PVAR_3F4</b>
<b>Tempo</b> <b>VB</b>	<b>Tempo</b> <b>IB</b>	<b>Tempo</b> <b>PVAR</b>
<b>TENSAO_VC3F4</b>	<b>CORRENTE_IC3F4</b>	<b>PVA_3F4</b>
<b>Tempo</b> <b>VC</b>	<b>Tempo</b> <b>IC</b>	<b>Tempo</b> <b>PVA</b>
<b>TENSAO_VAB3F4</b>	<b>CORRENTE_IN3F4</b>	<b>FP_3F4</b>
<b>Tempo</b> <b>VAB</b>	<b>Tempo</b> <b>IN</b>	<b>Tempo</b> <b>FP</b>
<b>TENSAO_VBC3F4</b>	<b>FREQ_3F4</b>	<b>WDOG_3F4</b>
<b>Tempo</b> <b>VBC</b>	<b>Tempo</b> <b>HZ</b>	<b>Tempo</b> <b>WG</b>
<b>TENSAO_VAC3F4</b>	<b>WH_3F4</b>	<b>VARH_3F4</b>
<b>Tempo</b> <b>VAC</b>	<b>Tempo</b> <b>WH</b>	<b>Tempo</b> <b>VARH</b>

Figura 4.11 - Tabelas do banco de dados OOL - Medição “On Line” (Medição de ROTINA).

Para as tabelas de máximos e mínimos diários, onde o volume de dados é muito inferior (um conjunto de dados a cada hora) as tabelas foram projetadas com um maior agrupamento de dados. As figuras 4.12, 4.13 e 4.14 abaixo mostram como foram projetadas estas tabelas no banco de dados.

<b>MAXMINTENSAO_3F4</b>						
<b>Tempo</b>	<b>MAXVA</b>	<b>MAXVB</b>	<b>MAXVC</b>	<b>MINVA</b>	<b>MINVB</b>	<b>MINVC</b>

Figura 4.12 - Tabela do banco de dados OOL - máximos e mínimos Diários (TENSÃO – Medição de ROTINA).

<b>MAXMINCORRENTE_3F4</b>								
<b>Tempo</b>	<b>MAXIA</b>	<b>MAXIB</b>	<b>MAXIC</b>	<b>MINIA</b>	<b>MINIB</b>	<b>MINIC</b>	<b>MAXIN</b>	<b>MININ</b>

Figura 4.13 - Tabela do banco de dados OOL - máximos e mínimos Diários (CORRENTE – Medição de ROTINA).

<b>MAXMINFREQ_3F4</b>		
<b>Tempo</b>	<b>MAXHZ</b>	<b>MINHZ</b>

Figura 4.14 - Tabela do banco de dados OOL - máximos e mínimos Diários (FREQUENCIA – Medição de ROTINA).

#### 4.5.2 Dados EVENTUAIS

Para armazenar os dados EVENTUAIS (**Oscilografia, Harmônicas, Aneel 505**) foram projetadas tabelas com um conceito diferenciado em relação às tabelas do item anterior. Para estas tabelas o **sistema OOL** envia apenas os valores das grandezas a serem armazenadas. O banco de dados se encarrega de preencher as colunas de tempo e índice. A conexão entre o banco de dados e o sistema OOL também se dá de forma diferente, pois aqui o volume de dados a ser transferido (ao final de cada ensaio) é muito grande e tornaria o sistema muito lento se usássemos a mesma filosofia dos **dados de ROTINA**.

A solução encontrada para superar este obstáculo foi a criação de pacotes de transferência de dados (“**PACKAGES**”) no servidor do banco de dados (SQL Server). Com esta solução otimizada os dados são transferidos de uma só vez do sistema OOL para o banco de dados. Para viabilizar esta solução foram utilizados os seguintes controles:

Ao final de cada ensaio (Oscilografia, Harmônicas, Aneel 505) os dados são gravados em arquivos temporários (**no formato .csv – “comma separated value”**) pelo sistema OOL. Logo após o sistema abre uma conexão com o banco de dados e passa o arquivo temporário a ser transferido para o banco de dados. O banco de dados que já possui uma estrutura que foi programada para receber tais arquivos atende esta requisição e faz a transferência destes dados para as respectivas tabelas dentro do banco de dados. Cada aplicativo possui um conjunto de tabelas para o armazenamento apropriado de seus dados.

##### 4.5.2.1 Transferência de dados (“Packages”)

Foram projetados no banco de dados três “packages” para receber a transferência dos dados eventuais oriundos do sistema OOL (Oscilografia, Aneel 505 e Harmônicas). Para

exemplificar o projeto será apresentado o “**package de Oscilografia**” construído no servidor SQL Server. Os aplicativos ANEEL 505 e HARMÔNICAS também possuem arquitetura similar no servidor SQL Server. A figura 4.15 mostra este “Package” que realiza a transferência de dados de arquivos temporários de Oscilografia para as respectivas tabelas no banco de dados.

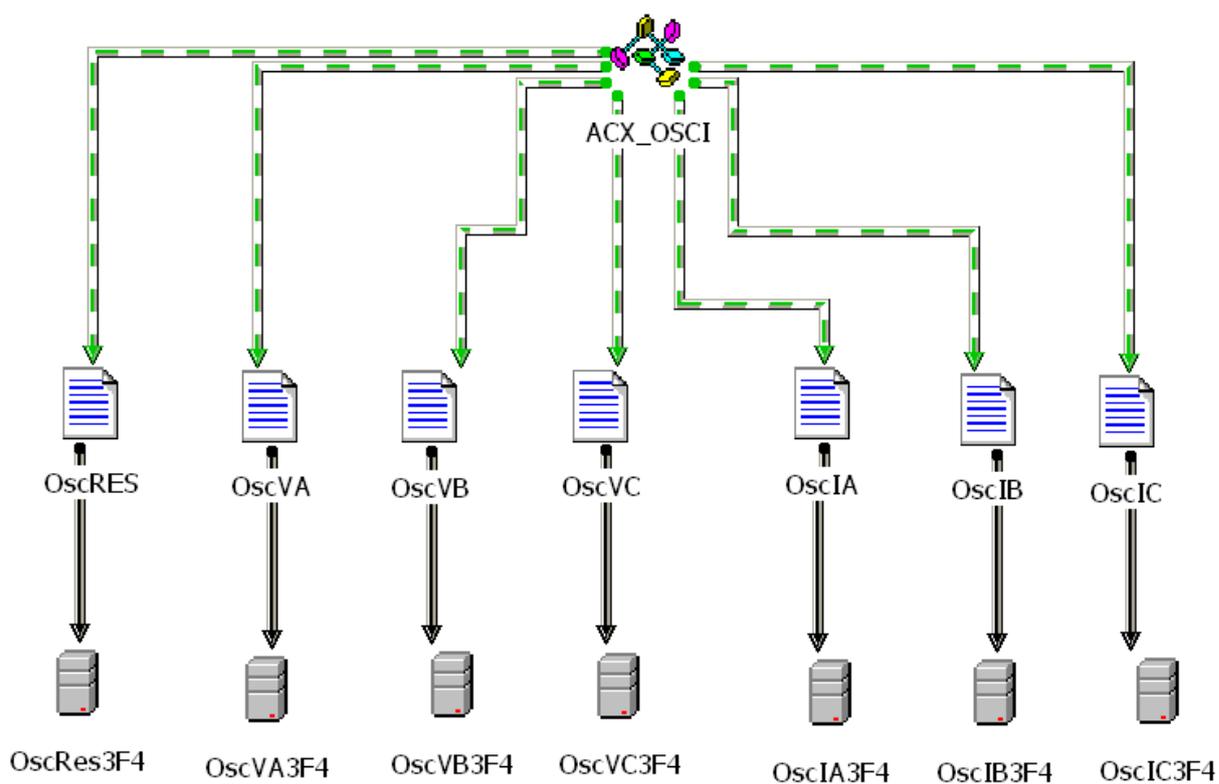


Figura 4.15 – Transferência de dados (PACKAGE – Oscilografia).

#### 4.5.2.2 Tabelas (Dados EVENTUAIS - Oscilografia)

O sistema de tabelas de oscilografia foi projetado com seis tabelas para armazenar os canais de oscilografia (VA, VB, VC, IA, IB, IC) e uma tabela para armazenar o resumo do ensaio (data / hora / “trigger” / “pré-trigger”). A figura 4.16 mostra como foram projetadas estas tabelas no banco de dados.

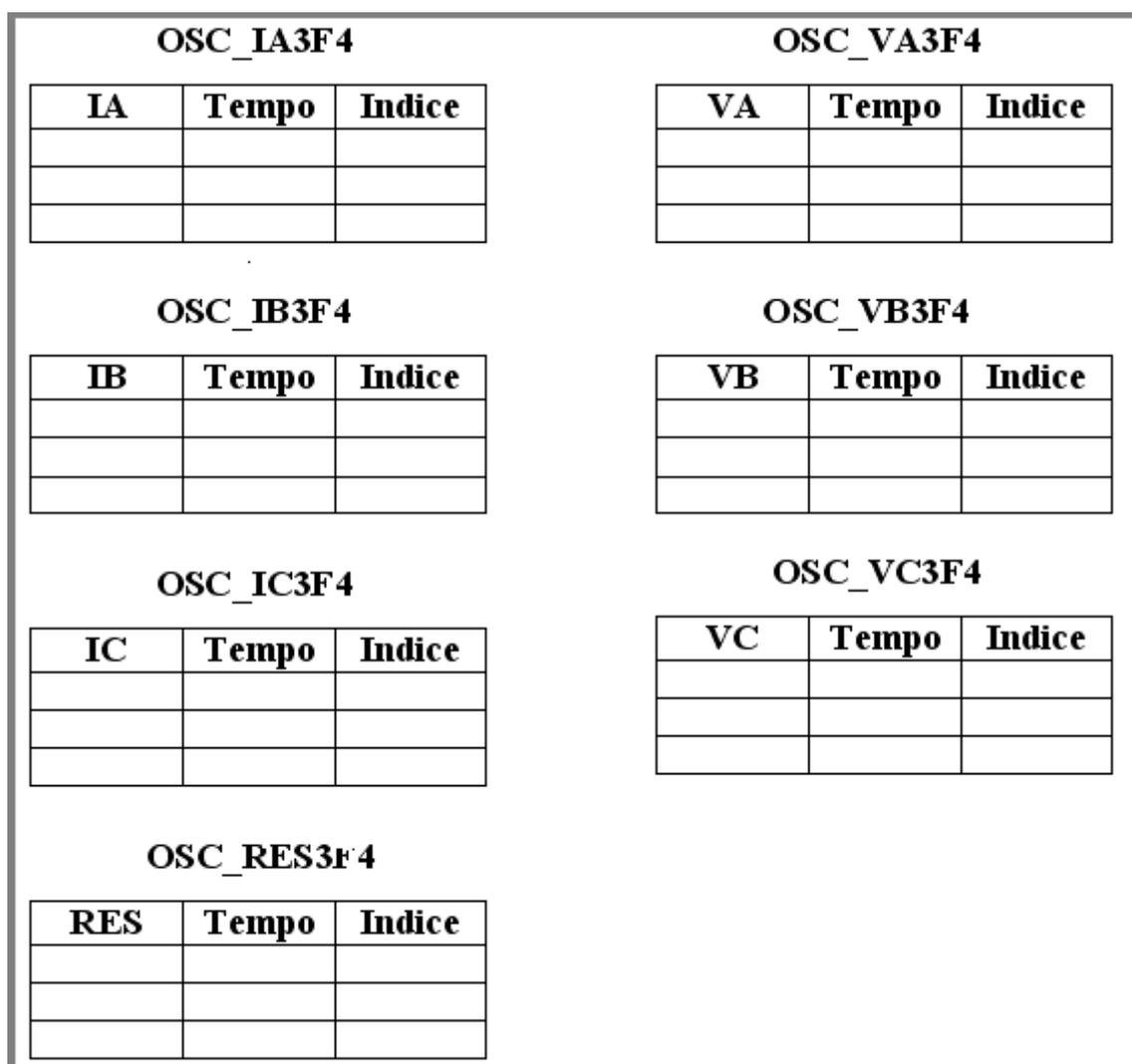


Figura 4.16 - Tabelas do banco de dados OOL (Oscilografia).

#### 4.5.2.3 Tabelas (Dados EVENTUAIS - Harmônicas)

O sistema de tabelas de Harmônicas foi projetado com seis tabelas para armazenar os histogramas (VA, VB, VC, IA, IB, IC), uma tabela para armazenar os dados de Distorção Harmônica Total (THD<sub>V</sub> e THD<sub>I</sub>) e uma tabela para armazenar o resumo do ensaio (data / hora / modo de cálculo THD / Intervalo de aquisição/ Número de testes). A figura 4.17 mostra como foram projetadas estas tabelas no banco de dados.

<b>HARM_IA3F4</b>			<b>HARM_VA3F4</b>		
HARMIA	Tempo	Indice	HARMVA	Tempo	Indice

<b>HARM_IB3F4</b>			<b>HARM_VB3F4</b>		
HARMIB	Tempo	Indice	HARMVB	Tempo	Indice

<b>HARM_IC3F4</b>			<b>HARM_VC3F4</b>		
HARMIC	Tempo	Indice	HARMVC	Tempo	Indice

<b>HARM_RES3F4</b>			<b>HARM_THD3F4</b>		
RES	Tempo	Indice	HARMTHD	Tempo	Indice

Figura 4.17 - Tabelas do banco de dados OOL (Harmônicas).

#### 4.5.2.4 Tabelas (Dados EVENTUAIS – Aneel 505)

O sistema de tabelas de “Aneel 505” foi projetado com três tabelas para armazenar os histogramas (VA, VB, VC), três tabelas para armazenar os Gráficos de Linha (VA, VB, VC) e uma tabela para armazenar o resumo do ensaio (data / hora / DRP / DRC / NLP / NLC / Demanda / Intervalo de aquisição / Número de amostras realizadas). A figura 4.18 mostra como foram projetadas estas tabelas no banco de dados.

<b>ANEELHIST_VA3F4</b>		
HISTVA	Tempo	Indice

<b>ANEELHIST_VB3F4</b>		
HISTVB	Tempo	Indice

<b>ANEELHIST_VC3F4</b>		
HISTVC	Tempo	Indice

<b>ANEELHIST_RES3F4</b>		
RES	Tempo	Indice

<b>ANEELLIN_VA3F4</b>		
LINVA	Tempo	Indice

<b>ANEELLIN_VB3F4</b>		
LINVB	Tempo	Indice

<b>ANEELLIN_VC3F4</b>		
LINVC	Tempo	Indice

Figura 4. 18 - Tabelas do banco de dados OOL (Aneel 505).

## 4.6 Considerações Finais

Ao desenvolver este software, foi estabelecido um padrão de programação e interface do sistema que pudesse resultar em um sistema robusto, eficaz e conciso em termos de programação e ao mesmo tempo simples e objetivo para facilitar ao usuário na tarefa de análise de falhas do sistema elétrico. Este sistema também propicia ao usuário uma avançada ferramenta para a realização de ensaios de qualidade do sistema elétrico, tais como Aneel 505 e Harmônicas.

Foram desenvolvidos módulos específicos para cada tipo de tarefa com avançados recursos gráficos. Todos os dados monitorados “on line” são também armazenados em um banco de dados muito eficiente na realização de buscas por dados “**históricos on line**” e também na busca e gravação de **dados eventuais** (Oscilografia, Aneel 505 e Harmônicas).

### ENSAIOS E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

#### 5.1 Introdução

Neste capítulo serão abordados os testes laboratoriais executados com o intuito de aferir o sistema desenvolvido (OOL). Os ensaios foram divididos em dois grupos distintos.

No **grupo um**, foram realizados ensaios com o intuito de aferir o sistema desenvolvido (**sistema OOL**) com relação aos equipamentos da equipe de Qualidade da UFU que são um padrão de referência na Universidade Federal de Uberlândia para testes desta natureza. Para a realização destes ensaios foram utilizados uma fonte trifásica de altíssima precisão, (**Fonte HP Series 6800A**), um osciloscópio Tektronix de dois canais (**THS 720P**) e o sistema OOL ora desenvolvido.

No **grupo dois**, foram realizados ensaios abordando a funcionalidade de todos os módulos desenvolvidos. O objetivo aqui é realizar uma série de ensaios onde o sistema seja exigido ao máximo para diagnosticar eventuais condições não previstas e que eventualmente possam ocorrer em condições operativas.

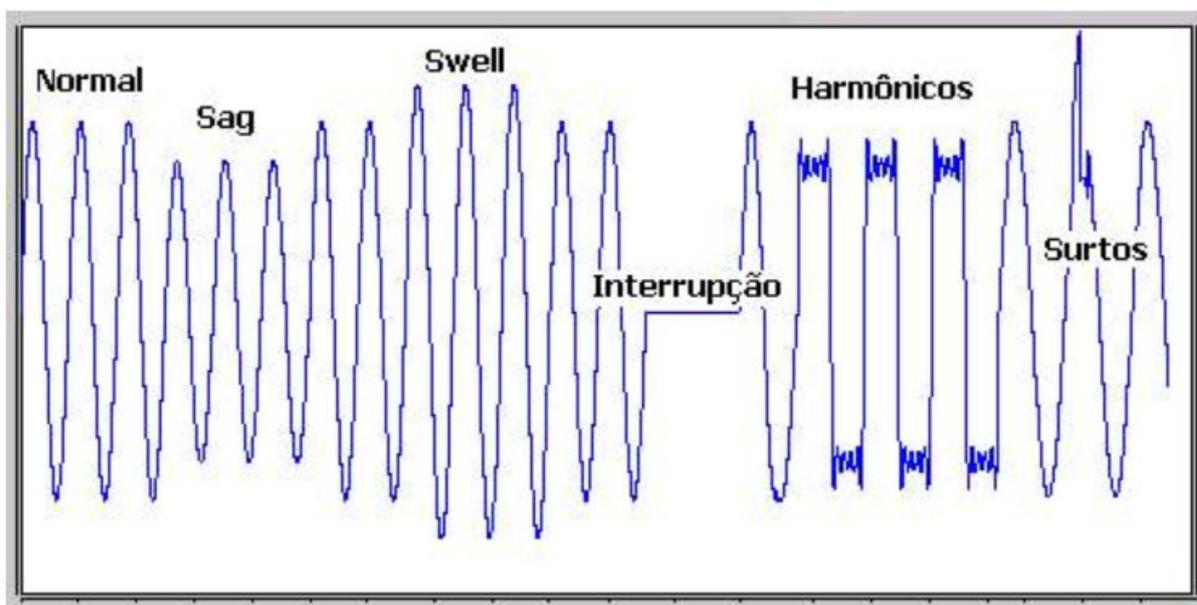
#### 5.2 Padrões recomendados para a realização dos ensaios

Existe uma série de documentos publicados por órgãos Nacionais e Internacionais que normalizam assuntos relativos a qualidade da energia elétrica e oscilografia. Para balizar este estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e foram selecionados quatro documentos relativos a padrões, níveis máximos admitidos e recomendações sobre o tema.

- 1 - ANEEL – Resolução Nº 505 / 2001;
- 2 - ONS – Submódulo 2.2 – Padrões de desempenho da rede básica;
- 3 - ONS – Submódulo 11.6 – Oscilografia de curta e longa duração.
- 4 - ONS – Submódulo 22.1 – Análise de ocorrências e perturbações.

Estes documentos foram utilizados como base na realização dos ensaios a seguir:

A figura 5.1 apresenta algumas formas de onda típicas dos itens de qualidade mais comuns que serão abordados nesta série de ensaios.



*Figura 5.1 – Formas de ondas típicas mais comuns dos itens de qualidade.*

Para a realização dos ensaios de tensões harmônicas foram considerados os valores que constam na tabela 5.1, apresentada pelo documento “**ONS Submódulo 2,2**”.

Tabela 5.1 – Limites globais de tensão expressos em percentagem da tensão fundamental.

V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3, 5, 7	5			3, 5, 7	2		
		2, 4, 6	2			2, 4, 6	1
9, 11, 13	3			9, 11, 13	1,5		
		≥ 8	1			≥ 8	0,5
15 a 27	1			15 a 27	1		
≥ 27	1			≥ 27	0,5		
DTHT = 6%				DTHT = 3%			

Para a realização dos ensaios de VTCD's foram considerados os valores da tabela 5.2 apresentada pelo documento "ONS Submódulo 2,2".

Tabela 5.2 – Denominações das variações de curta duração (VTCD'S)

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão nominal
Variação Momentânea de tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 pu
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual 0,1 e inferior a 0,9 pu
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 pu

Variação Temporária de tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto	Inferior a 0,1 pu
	Afundamento Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto	Superior ou igual 0,1 e inferior a 0,9 pu
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto	Superior a 1,1 pu

Para a realização dos ensaios de tensão em regime permanente foram utilizadas as recomendações da Resolução N° 505 da ANEEL. Esta resolução estabelece que a tensão de atendimento será classificada de acordo com as faixas de variação de leitura. Nesta resolução também constam as exigências sobre o modo de aquisição e as recomendações mínimas para tal. As tabelas abaixo mostram os valores dos intervalos de Tensão Adequada, Tensão Precária e Tensão Crítica estabelecidos pela Resolução 505 da ANEEL para clientes atendidos com tensão nominal entre 1 kV e 69 kV (tabela 5.3), 69 kV e 230 kV (tabela 5.4) e Igual ou Superior a 230 kV (tabela 5.5).

*Tabela 5.3 – Tensão Nominal Superior a 1 kV e inferior a 69 kV.*

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
<b>Adequada</b>	<b>93% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 105% de TC</b>
<b>Precária</b>	<b>90% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 93% de TC</b>
<b>Crítica</b>	<b>TL &lt; 90% de TC ou TL &lt; 105% de TC</b>

Tabela 5.4 – Tensão Nominal Igual ou Superior a 69 kV e inferior a 230 kV.

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
<b>Adequada</b>	<b>95% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 105% de TC</b>
<b>Precária</b>	<b>90% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 95% de TC</b> <b>ou</b> <b>105% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 107% de TC</b>
<b>Crítica</b>	<b>TL &lt; 90% de TC ou TL &lt; 107% de TC</b>

Tabela 5.5 – Tensão Nominal Igual ou Superior a 230 kV.

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
<b>Adequada</b>	<b>95% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 105% de TC</b>
<b>Precária</b>	<b>93% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 95% de TC</b> <b>ou</b> <b>105% de TC ≤ Tensão de Leitura (TL) ≤ 107% de TC</b>
<b>Crítica</b>	<b>TL &lt; 93% de TC ou TL &lt; 107% de TC</b>

### 5.3 Ensaios do sistema em Laboratório (Grupo um – Aferição)

Para aferir o sistema OOL foi utilizado como referencia a fonte **HP Series 6800A**. Nesta fonte é permitido apenas a programação dos sinais de tensão, uma vez que as correntes providas são determinadas pelas características das cargas conectadas em seus terminais de saída, respeitando o limites característicos da fonte.

#### 5.3.1 Características da Fonte HP Série 6800A

A Fonte HP Série 6800A, modelo HP 6834A é um aparelho que combina três diferentes instrumentos em uma única unidade.

- **DAC:** Gerador de funções, onde são produzidas as formas de onda de tensão através da programação da amplitude, frequência e forma;

- **FONTE:** Módulo amplificador que eleva o nível do sinal provindo do gerador de funções para as aplicações que demandam potência;
- **BLOCO DE MEDIÇÃO:** Realiza todas as funções de medições, desde uma simples leitura *rms* de tensão e corrente, até análises sofisticadas da forma de onda.

A **Fonte HP 6834A** apresenta uma variada capacidade de recursos para programação de sinais de tensão, permitindo uma grande flexibilidade para o manuseio de tensões **AC**, frequências, ângulos, fases e limites de corrente. Desta forma, este instrumento é de grande importância para a execução dos mais diversos distúrbios relacionados à tensão. Portanto, a avaliação e aferição do **sistema OOL** se baseará neste instrumento para certificação e qualificação dos resultados obtidos.

As principais características da Fonte HP 6834A são:

- Modelo: HP 6834A / 4500 VA “Three-Phase”;
- Programação de tensão CA, frequência, fase e limite de corrente;
- Formas de onda senoidal, quadradas, e outras definidas pelo usuário;
- Capacidade de gerar transitórios como surtos, VTCD’s e outros distúrbios de rede;
- Lista de programação não volátil permitindo gerar transitórios de saída com complexidade, bem como seqüência de testes;
- Aquisição de tensão e corrente sincronizada por gatilhamento (“trigger”) e possibilidade de cálculos posteriores;
- Medições adicionais de potência total, e de corrente de neutro no modo trifásico;
- Medições feitas com resolução de 16 bits;
- Sincronização de eventos transitórios por gatilhamento (“trigger in”, “trigger out”) ou medições com sinais externos;

- Programação local no próprio painel ou via microcomputador. Built-in HP-IB e interface de comunicação RS232 com a linguagem de comandos SCPI;
- Proteção contra sobre-tensão, sobre-potência, sobre-corrente, sobre-temperatura e proteção RI/DFI (remote inhibit/discrete fault indicator);

### 5.3.2 Série de ensaios para aferição do sistema OOL

Foram realizados dez ensaios para aferição da medição, sendo: Tensão Fase/Neutro (três fases), Medição de Corrente (três fases e Neutro), Freqüência, Oscilografia por falha (simulação de “Interrupção”), Oscilografia por Sobretensão (simulação de “Swell”), Oscilografia por Subtensão (simulação de “Sag”), Oscilografia por Transitórios (simulação de “Surto”), Harmônicas (ensaio padronizado da equipe de Qualidade) e ensaio no módulo Aneel 505.

Os valores de tensão e corrente (rms) foram comparados aos valores medidos na fonte HP e aos valores obtidos no osciloscópio. Para os ensaios de Oscilografia, Aneel 505 e Harmônicas os valores dos ensaios foram gravados por um osciloscópio Tektronix THS 720P que fez aquisições dos sinais nos mesmos pontos onde o sistema OOL realizava a aquisição de sinais (Tensão e Corrente).

Embora alguns ensaios desta série tenham apresentado uma taxa de erro (entre sistema OOL e fonte HP) superior a 0,5% os mesmos não foram corrigidos devido a dois aspectos importantes.

**1** – A UPD utilizada nesta dissertação (UPD 600 – YOKOGAWA) **não é calibrada** por meio de “*trimpots*” ou outros meios mecânicos, o que inviabiliza sua calibração em campo. A **calibração é realizada unicamente via software**, através do sistema de calibração

Yokogawa, com padrões adequados e aferidos por órgãos competentes (RBC – Rede Brasileira de Calibração, vinculada ao INMETRO). Todo o processo de calibração é realizado em ambiente com temperatura e umidade controladas. A calibração é realizada através da porta de comunicação serial 1, via RS485.

2 – Ao ser instalado em uma grande empresa o sistema OOL teria que passar novamente pela aferição junto aos equipamentos desta empresa.

### 5.3.2.1 Teste 01: Ensaio de Aquisição de dados Tensão eficaz – “On Line”

Valor gerado fonte HP: **127 Volts (rms)**

Valor medido na saída da fonte: **126,95 Volts (rms)**

Valor medido no Osciloscópio e no sistema OOL (em Volts).

Erro percentual máximo entre sistema OOL e Fonte HP: -0,23%

	<b>VA</b>	<b>VB</b>	<b>VC</b>	<b>VA</b>	<b>VB</b>	<b>VC</b>
Medido (V)	125,300	125,400	125,200	126,720	126,710	126,650
Erro (%)	-1,31 %	-1,23 %	-1,39 %	-0,18 %	-0,19 %	-0,23 %

**Osciloscópio**

**sistema OOL**

### 5.3.2.2 Teste 02: Ensaio de Aquisição de dados “Corrente rms - On Line”

Valor comparativo das medições verificadas no Osciloscópio e no sistema OOL. (Amper).

Valor medido na saída da fonte: **1,99 Ampéres**

Erro percentual máximo entre sistema OOL e Fonte HP: -2,20%

	<b>IA</b>	<b>IB</b>	<b>IC</b>	<b>IA</b>	<b>IB</b>	<b>IC</b>
Medido (A)	1,982	1,965	1,972	1,947	1,957	1,961
Erro (%)	-0,40 %	-1,27 %	-0,91 %	-2,20 %	-1,68 %	-1,48 %

**Osciloscópio**

**sistema OOL**

### 5.3.2.3 Teste 03: Ensaio de Aquisição de dados “Corrente rms - On Line”

Valor comparativo das medições verificadas no Osciloscópio e no sistema OOL (em Amperes). Neste ensaio foi retirado carga da “fase A” e medido a corrente de Neutro.

<b>IN</b>	<b>IB</b>	<b>IC</b>	<b>IN</b>	<b>IB</b>	<b>IC</b>
1,978	1,971	1,982	1,943	1,962	1,966
<b>IA</b>			<b>IA</b>		
0,00			0,00		

**Osciloscópio** **sistema OOL**

### 5.3.2.4 Teste 04: Ensaio de Aquisição de dados “Frequência - On Line”

Valor gerado fonte HP: **60,00 Hertz**

Valor medido na saída da fonte: **60,00 Hertz**

	<b>Frequência</b>		<b>Frequência</b>
Medido (Hz)	60,00		60,01
Erro (%)	0 %		0,02%

**Osciloscópio** **sistema OOL**

### 5.3.2.5 Teste 05: Ensaio de “Oscilografia por Interrupção”

#### Gerada por simulação de religamento de Disjuntor - Interrupção

Para simular este ensaio foi gerado na fonte HP uma falta de 3 ciclos. Para a comparação destas medições foram gravados dois arquivos no osciloscópio (Canais de tensão e corrente fase A) e sete 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”)).

Na figura 5.2 é apresentado o gráfico gerado pelo osciloscópio (tensão fase A) para este ensaio. Na figura 5.3 é apresentado o gráfico com o registro do sistema OOL para a oscilografia de tensão gerada neste ensaio (Nesta figura apresentado apenas a forma de onda gerada pela fase A - para melhor visualização e comparação com os resultados obtidos no

osciloscópio). Aqui se verifica que no **osciloscópio** e no **sistema OOL** o valor de tensão instantânea, a forma de onda e o intervalo de interrupção são bastante similares. O valor de tensão máxima medida no osciloscópio foi de 136 volts e no sistema OOL foi de 124,70 volts. O valor de tensão mínima medida no osciloscópio foi de -130 volts e no sistema OOL foi de -125,74 volts.

Embora os valores comparativos entre o osciloscópio e sistema OOL tenha apresentado similaridade na forma de onda, foram encontradas diferenças significativas nos valores máximos e mínimos medidos pelos dois sistemas (11,3 V para o valor máximo e 4,26 para o valor mínimo). Os valores não foram corrigidos pois em caso de instalação do sistema OOL em uma concessionária de energia elétrica o mesmo teria que passar por ajustes relacionados ao sistemas destas empresas. O fator relevante a ressaltar é o fato de que o fabricante da UPD garante um erro máximo de 0,5 % para todas as grandezas digitalizadas por esta UPD (Valor este considerado como adequado pela ANEEL). Estes ajustes podem ser conseguidos unicamente através de ajustes via software. O fabricante da UPD (YOKOGAWA) recomenda que estes ajustes sejam realizados nos laboratórios da própria empresa e estão incluídas na garantia do equipamento comercializado por esta empresa.

A partir deste ensaio os objetivos se voltam então para a verificação e comparação da forma de onda adquirida através do sistema OOL sem, contudo levar em conta o erro de medição verificado entre osciloscópio e sistema OOL. Onde, conforme já mencionado este erro pode ser prontamente corrigido, levando-o a patamares aceitáveis e recomendados pela ANEEL.

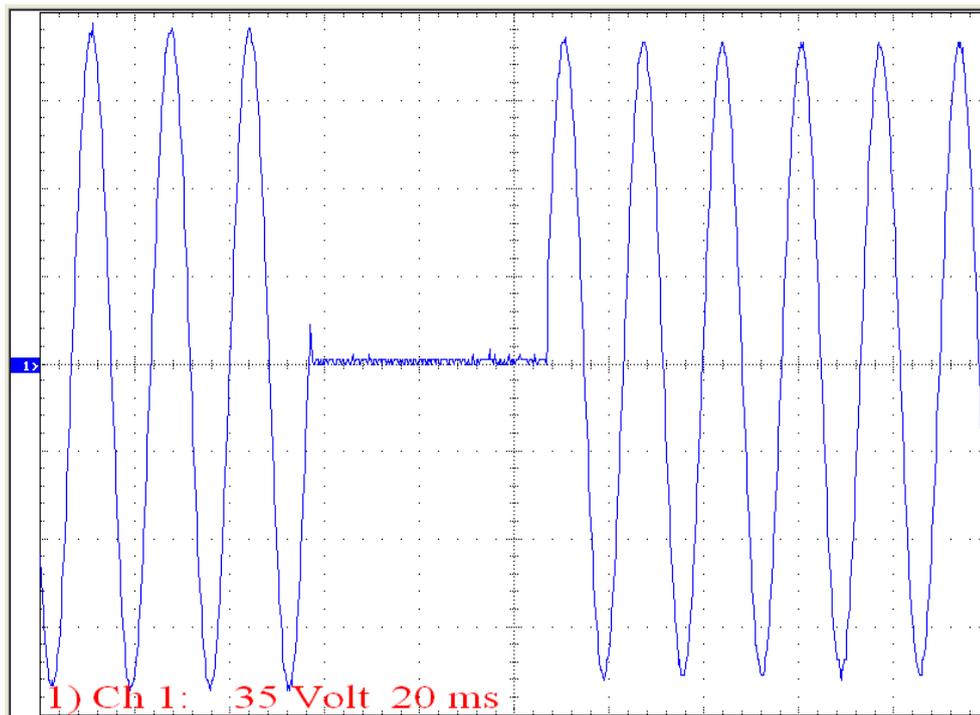


Figura 5.2 - Ensaio Oscilografia (Interrupção) – OSCILOSCÓPIO.

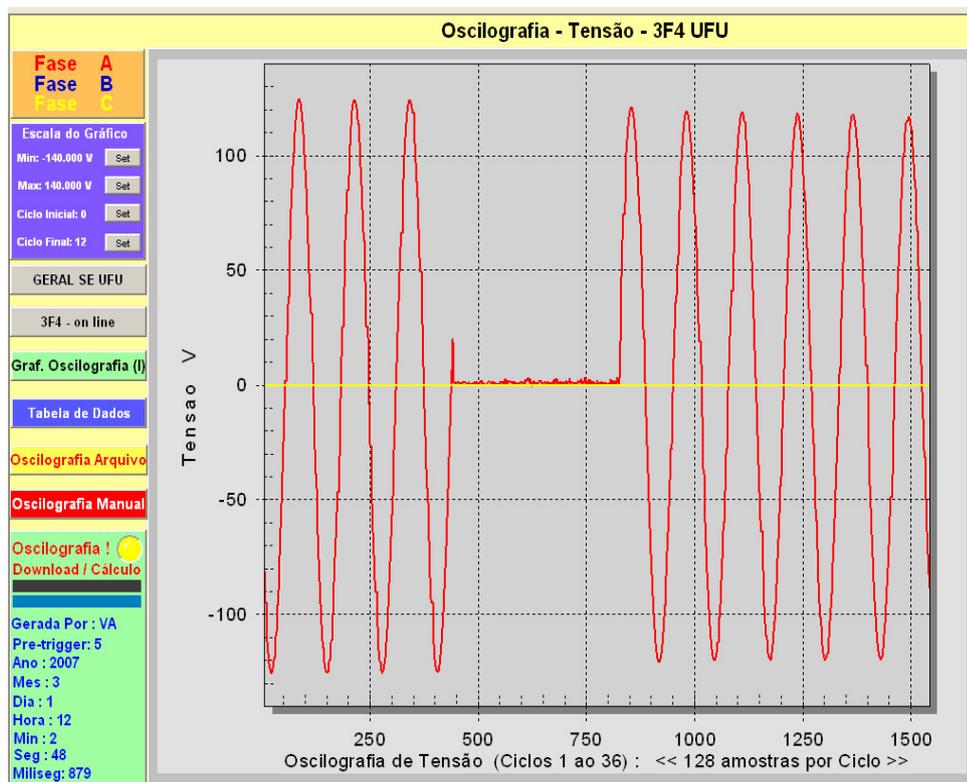


Figura 5.3 - Ensaio Oscilografia (Interrupção) – sistema OOL.

Os dados relacionados do lado esquerdo da figura 5.3 são informações relativas a:

- **Gerada por:** - VA (indica que esta oscilografia foi gerada por distúrbios em VA);
- **“Pré-trigger”** - 5 (informa com qual “pré-trigger” esta oscilografia foi gerada);
- **Ano/Mês/Dia/Hora/Min/Seg/Milisseg** - informam a data e hora que foi gerada esta oscilografia;
- **Escala do Gráfico** – O usuário pode ajustar as escalas de máximo e mínimo de tensão e também o ciclo inicial e ciclo final que ele deseja analisar nesta oscilografia;
- **Fase A, Fase B e Fase C** - São legendas para as formas de onda do gráfico, onde vermelho indica a forma de onda da fase A, azul a forma de onda da fase B e amarelo a forma de onda da fase C. (Padronizado desta forma em todo o sistema OOL).

As demais informações do lado esquerdo deste gráfico são “links” de atalho para outras partes do programa.

#### **5.3.2.6 Teste 06: Ensaio de “Oscilografia”**

##### **Gerada por simulação de Sobretensão – “Swell”**

Para a geração deste ensaio foi simulado uma sobretensão 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 quatro gráficos: dois gráficos gerados (osciloscópio e sistema OOL) onde é possível visualizar 12 ciclos da oscilografia gerada, e outros dois gráficos com destaque nos ciclos onde ocorreu a violação de sobretensão.

Na figura 5.4 é apresentado o gráfico gerado pelo osciloscópio (fase A) para este ensaio, onde são mostrados 12 ciclos. Na figura 5.5 é apresentado o gráfico com o registro do sistema OOL para a oscilografia de tensão gerada neste ensaio (Fase A), onde são mostrados 12 ciclos.

Na figura 5.6 é apresentado o gráfico gerado pelo osciloscópio (fase A), onde são mostrados 6 ciclos desta oscilografia. Na figura 5.7 é apresentado o gráfico com o registro do sistema OOL para a oscilografia de tensão gerada neste ensaio (Fase A), onde são mostrados 6 ciclos desta oscilografia. Aqui também se verifica que no **osciloscópio** e no **sistema OOL** o valor tensão instantânea, a forma de onda e o intervalo de interrupção são bastante similares. O valor de tensão máxima medida no osciloscópio foi de 162 volts e no sistema OOL foi de 148,57 volts. O valor de tensão mínima medida no osciloscópio foi de -158 volts e no sistema OOL foi de -150,64 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 gráficos das figuras 5.4 a 5.7 .

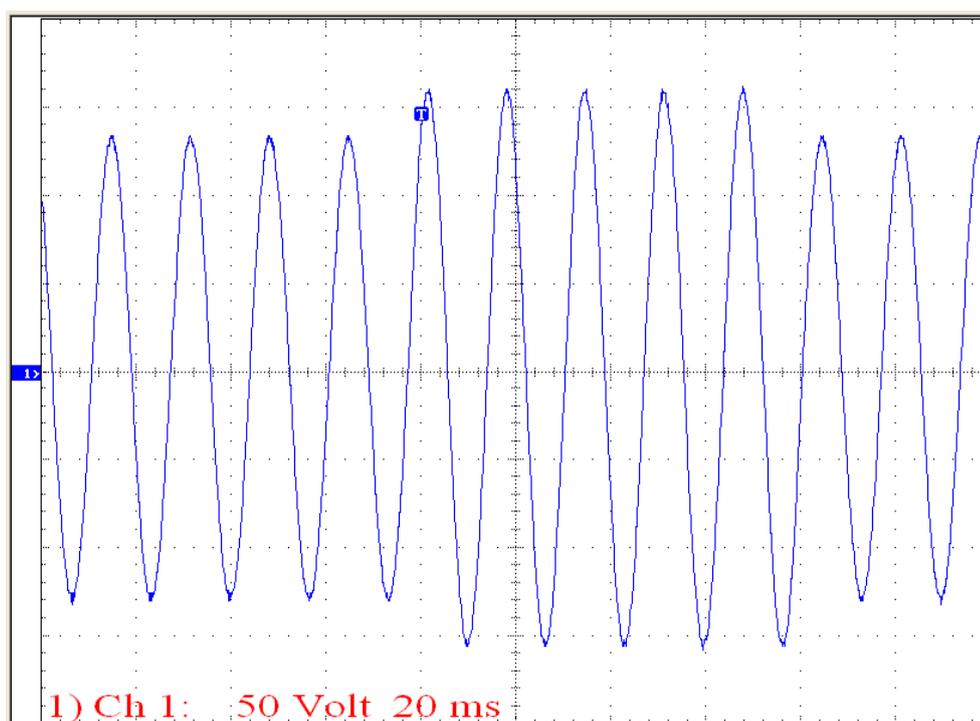


Figura 5.4 - Ensaio Oscilografia (Sobretensão – 12 ciclos) – OSCILOSCÓPIO.