

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Marlon Wilfred Gemerts**

**MONITORAÇÃO DO DESEMPENHO DINÂMICO DE SISTEMAS  
ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de mestre.

**Misael Elias de Moraes (Dr. -Ing. - Orientador)**

**Wellington Santos Motta (Ph.D. - Orientador)**

**Campina Grande-PB**

**Dezembro de 1993**



G322m Gemerts, Marlon Wilfred.  
Monitoração do desempenho dinâmico de sistemas elétricos de potência / Marlon Wilfred Gemerts. - Campina Grande, 1993.  
118 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1993.  
"Orientação : Prof. Dr. Misael Elias de Moraes, Prof. Dr. Wellington Santos Motta".  
Referências.

1. Sistemas Elétricos de Potência. 2. Desempenho Dinâmico - Monitoração. 3. Dissertação - Engenharia Elétrica. I. Moraes, Misael Elias de. II. Motta, Wellington Santos. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 621.311(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MONITORAÇÃO DO DESEMPENHO DA DINÂMICA DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE  
POTÊNCIA

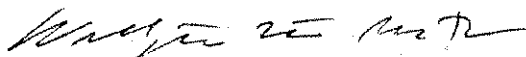
Marlon Wilfred Gemerts

Dissertação aprovada em 30 de dezembro de 1993



Misael Elias de Moraes, Dr.-Ing.

Orientador



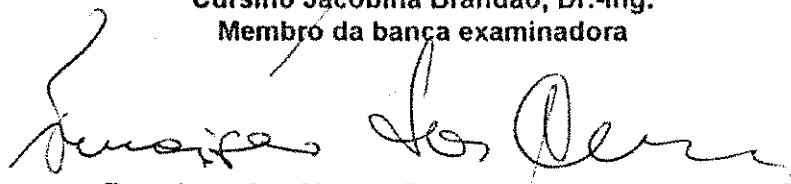
Wellington Santos Motta, Ph. D.

Orientador



Cursino Jacobina Brandão, Dr.-Ing.

Membro da banca examinadora



Francisco das Chagas Fernandes Guerra, Mestre

Membro da banca examinadora

Campina Grande-PB

Dezembro de 1993

**"Self-trust is the first secret of success"**

**Emerson**

A minha esposa, Claudete e a minha  
filha **Benedicta Renica**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Agradeço em especial:

- A meus pais e irmãos, pelo apoio espiritual;
- A minha família, pelo apoio e incentivo;
- Aos professores Misael Elias de Moraes e Wellington Santos Motta, pela orientação;
- Ao professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra e Luis Reyes Rosales Montero, pela assistência técnica deste trabalho;
- Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (CNPQ) pelo fornecimento de bolsa de estudo.
- À companhia energética ELETROBRAS, pelo financiamento parcial do projeto do Modelo Reduzido de Sistemas Elétricos de Potência, ao qual este trabalho se destina.

## RESUMO

Apresenta-se algumas contribuições para a monitoração do desempenho dinâmico de sistemas elétricos de potência. Este trabalho faz parte da implementação do modelo reduzido para usinas elétricas e sistemas de transmissão que vem sendo realizado no Laboratório de Proteção e Simulação de Sistemas de Potência (LPSSP) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba. Foi projetado e implementado uma parte de um sistema de monitoração em tempo real, que suporta um registro de perturbações por software. Os dados são adquiridos e visualizados graficamente por um microcomputador. O sistema é composto por uma unidade de aquisição de dados e uma unidade de processamento dos dados. Os principais objetivos deste trabalho são: contribuir para o controle discreto do sistema elétrico de potência, avaliar o desempenho dos reguladores de tensão e de velocidade da unidade de geração do sistema elétrico de potência, em particular, e do próprio sistema.

## ABSTRACT

Some contributions have been presented for monitoring the dynamic performance of Electric Power Systems. This work makes part of the implementation of a Reduced Model for Electrical Power Plants and Transmission Systems, realized in the Laboratory of Protection and Simulation of Power Systems at the Electrical Engineering Department of the Federal University of Paraíba. A part of a real-time monitoring system, that support a software disturbance recorder is designed and implemented. The data are acquired and visualized graphically by a microcomputer. The system is composed by a data acquisition unit and a data processing unit. The main objectives of this work are: contribute with the Discrete Electric Power System Control, evaluate the performance of the voltage and velocity regulators of the generating unit of the Electric Power System, particularly, and of the system itself.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.1.</b> Diagrama de blocos do sistema de monitoração sugerido neste trabalho.....	18
<b>Figura 2.1.</b> Diagrama esquemático de um sistema elétrico de potência.....	22
<b>Figura 2.2.</b> Diagrama de blocos generalizado de um sistema de monitoração baseado em microcomputador.....	26
<b>Figura 2.3.</b> Os três períodos distintos na ocorrência de uma perturbação.....	30
<b>Figura 2.4.</b> Arquitetura do sistema de monitoração proposto por Clewes et alli.	34
<b>Figura 2.5.</b> Arquitetura do sistema de monitoração proposto por Costa.....	35
<b>Figura 3.1.</b> Elementos básicos de um sistema de monitoração.....	36
<b>Figura 3.2.</b> Diagrama esquemático do sistema de medição simultânea.....	40
<b>Figura 3.3.</b> Diagrama de blocos do sistema de medição da tensão elétrica.....	42
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama de blocos do sistema de medição da corrente elétrica. ...	43
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama de blocos do sistema de medição da potência elétrica ativa.....	46
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama de blocos do sistema de medição da potência elétrica reativa.....	47
<b>Figura 4.1.</b> A estrutura do hardware do sistema de monitoração.....	49
<b>Figura 4.2.</b> O diagrama de blocos da placa de aquisição de dados, utilizada neste trabalho.....	50
<b>Figura 4.3.</b> Circuitos de transdução e acondicionamento para a tensão fase-neutro e do módulo da tensão trifásica.....	53
<b>Figura 4.4.</b> Circuitos de transdução e acondicionamento para a corrente de fase e do módulo da corrente trifásica.....	53
<b>Figura 4.5.</b> Circuito de transdução e acondicionamento para a potência elétrica ativa trifásica.....	54



<b>Figura 4.6.</b> Circuito de transdução e acondicionamento para a potência elétrica reativa trifásica .....	<b>54</b>
<b>Figura 5.1.</b> Diagrama de blocos da estrutura do software do sistema de monitoração, utilizado neste trabalho.....	<b>55</b>
<b>Figura 5.2.</b> Fluxograma do programa de monitoração com registro de perturbações.....	<b>57</b>
<b>Figura 5.3.</b> Característica dos buffers para armazenamento dos dados do registro de perturbações.....	<b>58</b>
<b>Figura 5.4.</b> Organização do arquivo do registro de perturbações. ....	<b>58</b>
<b>Figura 5.5.</b> O valor real de uma grandeza física, em função da saída do transdutor.....	<b>60</b>
<b>Figura 5.6.</b> Relação entre a variação do valor real da grandeza e do número decimal, na saída do conversor A/D, que varia entre 0 e $2^N$ .....	<b>61</b>
<b>Figura 5.7.</b> Composição do nome do arquivo de dados. ....	<b>63</b>
<b>Figura 6.1.</b> Diagrama de blocos do modelo experimental utilizado no teste do sistema de monitoração.....	<b>67</b>
<b>Figura 6.2.</b> Forma de onda da tensão fase-neutro $V_a$ , quando o sistema está operando em vazio. ....	<b>69</b>
<b>Figura 6.3.</b> Forma de onda da tensão fase-neutro $V_a$ , quando o sistema está operando com carga resistiva.....	<b>69</b>
<b>Figura 6.4.</b> Forma de onda da tensão fase-neutro $V_a$ , quando o sistema está operando com carga indutiva (motor de indução). ....	<b>70</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
<b>Tabela 6.1.</b> Condições de operações do sistema elétrico em vazio. ....	<b>68</b>
<b>Tabela 6.2.</b> Condições de operação do sistema elétrico com carga resistiva. ...	<b>68</b>
<b>Tabela 6.3.</b> Condições de operação do sistema elétrico com carga indutiva. ....	<b>68</b>
<b>Tabela A1.1.</b> Mapa de endereço da memória de dados, utilizado pelo sistema de monitoração. ....	<b>73</b>
<b>Tabela A1. 2.</b> Mapa de endereço das portas de entrada/saída. ....	<b>74</b>
<b>Tabela A2.1.</b> Mapa de endereçamento das portas de E/S da placa de aquisição de dados PCL-718. ....	<b>76</b>
<b>Tabela A2.2.</b> Formato dos registros de dados do conversor A/D. ....	<b>76</b>
<b>Tabela A2.3.</b> Formato do registro do multiplexador. ....	<b>76</b>
<b>Tabela A2.4.</b> Formato dos registros de dados digitais. ....	<b>76</b>
<b>Tabela A2.5.</b> Formato dos registros de dados dos conversores D/A. ....	<b>77</b>
<b>Tabela A2.6.</b> Formato do registro do status do conversor A/D. ....	<b>77</b>
<b>Tabela A2.7.</b> Formato do registro de controle da placa. ....	<b>78</b>
<b>Tabela A2.8.</b> Formato do registro de habilitação do timer. ....	<b>80</b>
<b>Tabela A2.9.</b> Formato do registro de controle do timer. ....	<b>80</b>
<b>Tabela A2.10.</b> Formato do registro de controle do timer, como comando de leitura retroativa. ....	<b>82</b>
<b>Tabela A2.11.</b> Formato dos registros de dados do timer na habilitação do latch de status do(s) contador(es). ....	<b>82</b>

## ÍNDICE

	Página
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE</b> .....	x
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1. Revisão bibliográfica. ....	14
1.2. Contribuição da pesquisa. ....	16
1.3. Sistema de monitoração a ser implementado.....	17
1.4. Conteúdo dos capítulos subsequentes.....	18
<b>CAPÍTULO 2 REQUISITOS BÁSICOS PARA UM SISTEMA DE MONITORAÇÃO CONTROLADO POR MICROCOMPUTADOR.</b> .....	20
2.1. Noções básicas de um sistema elétrico de potência.....	21
2.1.1. Composição de um sistema elétrico de potência, quanto ao nível de tensão.....	22
2.1.2. Condições de operação de um sistema elétrico de potência.....	23
2.2. Propriedades dos microprocessadores para monitoração. ....	25
2.3. Características ideais para um sistema de monitoração. ....	29
2.4. Informações necessárias para o análise do desempenho dinâmico de um sistema elétrico.....	30
2.5. Algumas arquiteturas para a monitoração de sistemas elétricos. ....	33
<b>CAPÍTULO 3 ALGORITMOS DE TRANSDUÇÃO ELÉTRICA</b> .....	36
3.1. Medição simultânea de sinais elétricos controlado por computador. ....	38
3.2. Medição da tensão elétrica.....	40

3.3. Medição da corrente elétrica .....	42
3.4. Medição da potência elétrica ativa .....	43
3.5. Medição da potência elétrica reativa .....	45
<b>CAPÍTULO 4 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO HARDWARE DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO</b> .....	<b>48</b>
4.1. Unidade de aquisição de dados .....	49
4.2. Circuitos de transdução e de acondicionamento de sinais .....	51
<b>CAPÍTULO 5 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DE SOFTWARE DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO</b> .....	<b>54</b>
5.1. Rotina da monitoração com registro de perturbações .....	55
5.1.1. Transformação de valores .....	58
5.1.2. Definição do modo de gatilhamento para o registro de perturbações .....	60
5.1.3. Armazenamento dos dados adquiridos pelo registro de perturbações .....	61
5.2. Definição dos parâmetros para aquisição de dados .....	62
5.3. Definição dos parâmetros para o registro de perturbações .....	63
5.4. Definição dos parâmetros para a visualização dos sinais em tempo real .....	63
5.5. Informações gerais .....	63
<b>CAPÍTULO 6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>65</b>
6.1. Modelo experimental para testar o sistema de monitoração .....	65
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>70</b>
Sugestões para futuros trabalhos: .....	70
<b>APÊNDICE 1</b> .....	<b>72</b>
<b>APÊNDICE 2</b> .....	<b>74</b>
<b>APÊNDICE 3</b> .....	<b>85</b>
<b>APÊNDICE 4</b> .....	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>117</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos sistemas elétricos de potência tem levado as empresas do setor elétrico a estruturarem a operação dos seus sistemas baseados no uso da tecnologia da informática. O uso desta tecnologia vem permitindo uma boa integração entre alternativas de supervisão e controle e de estudo e análise mais confiáveis. Essa integração resulta numa operação mais eficiente do sistema elétrico como um todo [Costa et alii, 1990].

A análise da estabilidade dos sistemas elétricos de potência constitui uma área de estudo desde os primeiros dias da geração e transmissão de energia elétrica em sistemas interligados. À medida que o problema da estabilidade desses sistemas aumenta, equipamentos de controle e de proteção mais eficientes estão sendo adicionados ao sistema de potência para melhorar o seu desempenho. Entretanto, a análise desse problema se torna cada vez mais difícil, com os modelos matemáticos cada vez mais aprimorados. O uso desses modelos em simulações por computador, ou através de modelos reduzidos<sup>1</sup> possibilita um melhor entendimento.

O primeiro passo para analisar e controlar a estabilidade de um sistema de potência é geralmente a monitoração do comportamento dinâmico do mesmo. A fim de se obter os dados necessários, o sistema de monitoração deve dispor de um dispositivo registrador dos sinais envolvidos, chamado de *registrador de*

---

<sup>1</sup>Modelos reduzidos são sistemas pequenos, projetados para simular sistemas grandes para fins de pesquisa. Nesses modelos, os parâmetros ou condições de operação de interesse do sistema grande, são reduzidos por um fator conhecido, de tal modo que, determinadas funções operacionais, ocorridas nos sistemas grandes, podem ser simulados em laboratório. A companhia alemã SIEMENS incentivou a criação de modelos reduzidos nas universidades e escolas técnicas especializadas [Siemens Review, 1969].

*perturbações*. Este dispositivo pode ser analógico, quando os sinais envolvidos são analógicos, ou digital, quando os sinais são digitais.

Os antigos registradores eletromecânicos, baseados em cartões de fita, estão sendo substituídos, de uma forma gradual, por dispositivos baseados na eletrônica digital. Muitos desses dispositivos têm as desvantagens de serem lentos, e possuírem uma capacidade de armazenamento dos eventos ocorridos antes de uma perturbação não ou muito pouco explorada. Além disso, eles não são diretamente compatíveis com o computador; sendo preciso um circuito interface de comunicação entre o dispositivo e o computador, o que, muitas das vezes, aumenta o custo operacional.

Com o avanço crescente na tecnologia dos microprocessadores está se tornando possível projetar e implementar registradores de sinais microprocessados que superam essas desvantagens a baixo custo. O projeto desses sistemas, atualmente, se concentra no melhoramento da capacidade armazenamento dos dados de perturbação, incluindo técnicas de otimização.

Neste trabalho pretende-se projetar e implementar um sistema baseado em microcomputador, que monitora o comportamento dinâmico de um sistema elétrico de potência. Na presença de perturbações, esse sistema deve ter a capacidade de acionar um registro de perturbações, implementado em software. Os dados adquiridos devem ser armazenados em memória para serem visualizados na tela do computador e/ou para serem utilizados em controle discreto do sistema elétrico.

### 1.1. Revisão bibliográfica.

Atualmente, os estudos para análise do comportamento de sistemas elétricos incluem computadores para aquisição e processamento de dados. Estes estudos permitem a verificação da ocorrência de possíveis perturbações no sistema. Essas perturbações podem ser provenientes, por exemplo, de perda de uma grande unidade geradora, o que provoca um desequilíbrio entre geração e carga, ou de queda de uma linha de transmissão, afetando a interligação entre sistemas vizinhos.

Em alguns casos, esses computadores são utilizados onde se tem perturbações provocadas no sistema para determinados tipos de eventos. Isto pode ser observado, por exemplo, no sistema de aquisição de dados proposto por Lee e Osborn [Lee,1985], desenvolvido para análise de faltas de alta impedância no sistema, que são provocadas por quebra ou queda dos condutores de distribuição de energia elétrica, gerando corrente de magnitude de 0 a 100 A. Os testes realizados para este tipo de aplicação são efetuados sob condições controladas, ou seja, não são reações naturais do sistema elétrico.

Um outro sistema, denominado "Surge Analyser" (Analisador de Surtos), proposto por Odenberg e Braskich [Odenberg,1985], envolve uma aplicação, onde se tem a medição das perturbações na tensão e corrente na linha de potência CA em ambientes industriais. Com o passar do tempo, vem crescendo o interesse na utilização desses sistemas supervisórios para a análise do comportamento dinâmico do sistema elétrico, principalmente devido ao aumento significativo das interligações, o que vem tornando os sistemas elétricos mais susceptíveis a perturbações.

Neste sentido, alguns sistemas de aquisição de dados para a análise do comportamento do sistema elétrico têm sido desenvolvidos e utilizados. Um

exemplo é o sistema proposto por Perry e outros [Perry,1988] para a monitoração do desempenho dinâmico do sistema elétrico. Entretanto, na utilização deste sistema para monitoração do sistema elétrico, surgiram algumas falhas na detecção de perturbações no sistema, o que levou Hauer e Vakili [Hauer,1989] a desenvolverem um sistema mais sensível a oscilações para detecção de distúrbios no sistema.

A detecção do momento da perturbação (gatilho), é um aspecto que deve ser enfatizado na monitoração das grandezas do sistema elétrico. A falta de um sistema adequado para a detecção desses distúrbios pode gerar um volume muito grande de dados para ser armazenado, exigindo-se uma grande quantidade de memória.

Isto pode ser observado nos sistemas propostos por Ashmole e Caprio [Ashmole,1988], para registrar longas perturbações no sistema elétrico, utilizados respectivamente na companhia de eletricidade inglesa CEGB (Central Electricity Generating Board) e na companhia italiana ENEEM (Ente Nazionale per L'Energia Elettrica Monzese). A capacidade de memória utilizada para esses sistemas permite um armazenamento contínuo de dados durante um dia para o primeiro sistema, enquanto que, para o segundo, têm-se uma capacidade de memória que permite um armazenamento contínuo de dados durante oito horas, sendo a taxa de amostragem de 100 ms para os dois sistemas. O sistema proposto por Caprio, porém, efetua gravações gatilhadas pela detecção de perturbações no sistema. Essas perturbações são detectadas usando algoritmos operando com o sistema ligado ("on-line"), onde pode-se ter, por exemplo, a detecção de uma perturbação próxima a um barramento de 220 KV, causando variações de tensão maiores do que 5 KV.



Como pode-se notar, existe uma preocupação em desenvolver técnicas de detecção do início de uma perturbação em sistemas elétricos. Isto pode ser observado nos sistemas propostos por Choi e Carison [Choi,1987] e Lee [Lee,1988], onde o registro de uma perturbação no sistema elétrico é feito pela mudança de valor programado de um dos canais do registrador ou pela mudança de estado das entradas digitais. No sistema proposto por Choi e Carison, há uma opção adicional para programação do registro de sinais no sistema a partir de um painel, onde chaves podem ser selecionadas.

Em resumo, pode-se afirmar que a preocupação na análise do comportamento do sistema elétrico, levando em consideração possíveis distúrbios no sistema, tem crescido bastante, visto a tentativa de se ter um aperfeiçoamento cada vez maior dos sistemas utilizados na monitoração do sistema elétrico. O aperfeiçoamento desses sistemas visa o registro de sinais.

## **1.2. Contribuição da pesquisa.**

A presente pesquisa tem como objetivo projetar e implementar um sistema de monitoração, baseado em microcomputador, com a capacidade de acionar um registro de perturbações implementado em software, a fim de contribuir para a monitoração e controle do desempenho dinâmico de sistemas de potência.

No projeto e implementação deste sistema são desenvolvidos:

- i. O software do sistema de monitoração.
- ii. Alguns circuitos de transdução e acondicionamento de sinais, utilizados na aquisição dos sinais elétricos de interesse.

No projeto do sistema de monitoração é considerado o baixo custo e a fácil aquisição dos componentes.

### 1.3. Sistema de monitoração a ser implementado.

O sistema de monitoração projetado e implementado é mostrado através do diagrama de blocos da figura 1.1. O sistema de monitoração é projetado e implementado no Laboratório de Proteção e Simulação de Sistemas de Potência (LPSSP) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba para um modelo reduzido de um sistema de potência, desenvolvido naquele laboratório **[Rosales, em publicação]**.

Como pode ser visto, o modelo reduzido é composto por uma microturbina, um microgerador síncrono e uma microlinha de transmissão. A microturbina, constituída por um motor de corrente contínua, aciona o microgerador síncrono, que por sua vez energiza a microlinha de transmissão. Na outra extremidade da linha é colocada uma carga trifásica, simulando assim um grande sistema de potência. No painel de controle se encontram dispositivos para fins de controle e proteção do sistema. Os circuitos de transdução e acondicionamento de sinais para o sistema de monitoração também se encontram neste painel. Informações técnicas sobre o sistema de microgeração se encontra na referência **[Rosales, 1991]**.

Através do sistema de monitoração projetado para este modelo, são observados os sinais selecionados para a monitoração, julgando assim o comportamento dinâmico deste modelo. Neste sistema é embutido um registro de perturbações por software, que registra os sinais na presença de uma perturbação.

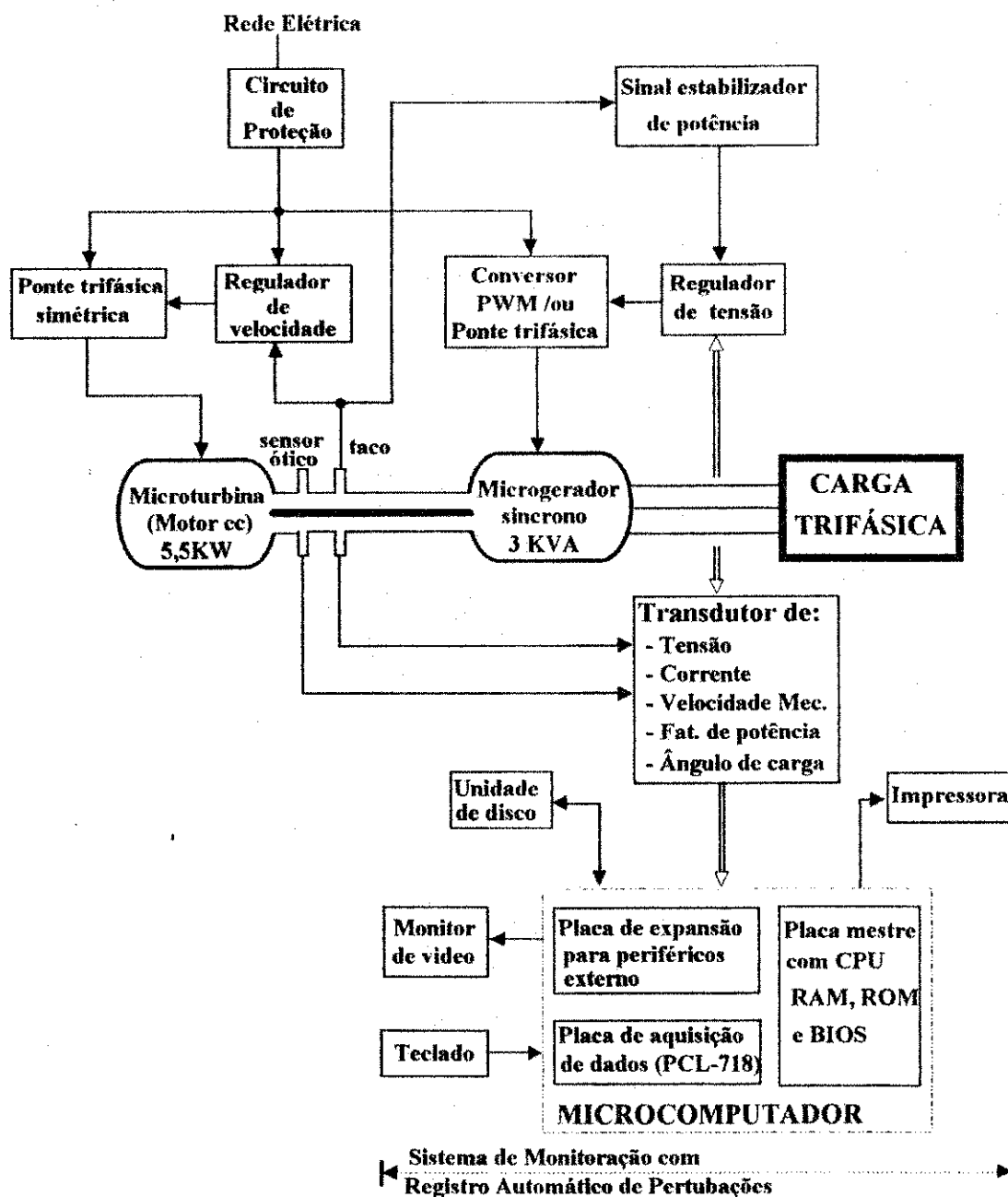


Figura 1.1. Diagrama de blocos do sistema de monitoração sugerido neste trabalho.

#### 1.4. Conteúdo dos capítulos subsequentes.

No capítulo 2 são discutidos os requisitos básicos para o projeto e implementação de um sistema de monitoração em sistemas elétricos, baseado em microcomputador. Aqui serão vistas algumas noções básicas sobre sistemas

elétricos de potência, no ponto de vista do nível de tensão e de estabilidade. As propriedades dos microprocessadores na utilização em monitoração e algumas arquiteturas para monitoração, propostas em trabalhos anteriores, são discutidas.

No capítulo 3 são discutidos os algoritmos de transdução elétrica utilizados neste trabalho. Um método de medição simultânea de sinais é descrito. Os algoritmos utilizados neste trabalho são de tensão, corrente, potência ativa e potência reativa.

No capítulo 4 é mostrada a estrutura do hardware do sistema de monitoração.

No capítulo 5 é discutida a estrutura de software do sistema de monitoração. Aqui é explicado o funcionamento da rotina de monitoração com registro de perturbações, os modos de gatilhamento e o modo de armazenamento dos dados.

No capítulo 6 são mostrados os resultados experimentais para a validação do sistema.

Finalmente, na conclusão, são dados algumas observações sobre os resultados obtidos. Também, é dada várias sugestões para a continuação deste trabalho.

Os apêndices fornecem informações adicionais sobre o sistema de monitoração.

## CAPÍTULO 2

### REQUISITOS BÁSICOS PARA UM SISTEMA DE MONITORAÇÃO CONTROLADO POR MICROCOMPUTADOR.

A investigação de perturbações em um sistema elétrico de potência torna-se importante à medida em que se procura um perfeito equilíbrio entre a geração de energia e o consumo desta. De fato, uma perturbação no sistema, que pode ser causada por exemplo, pela operação de cargas especiais<sup>2</sup>, pode provocar mal funcionamento ou danos em equipamentos elétricos, tanto da concessionária quanto dos consumidores.

Neste sentido, é importante realizar estudos para a avaliação dessas perturbações, para que se tenha o controle adequado dos efeitos indesejáveis desses distúrbios e, conseqüentemente, se tenha um planejamento adequado visando, cada vez mais, o bom desempenho na geração, transmissão e consumo da energia elétrica.

Neste capítulo serão discutidos alguns requisitos básicos para projetar um sistema de monitoração controlado por microcomputador para a análise do comportamento dinâmico de sistemas elétricos. Essa análise é muito importante para avaliar :

- a contribuição do projeto desses sistemas e das práticas operacionais;

---

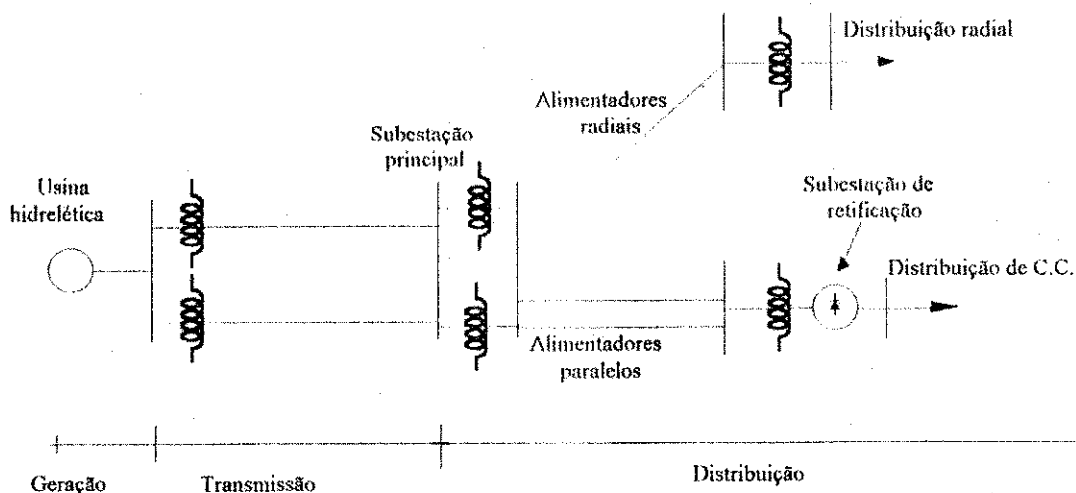
<sup>2</sup>Segundo Bronzeado (1986), cargas especiais são aquelas que, durante a sua operação normal, são susceptíveis de provocar distorção, flutuação, desequilíbrio ou afundamentos de tensão no sistema ao qual estão ligadas.

- a contribuição do modelamento das características dinâmicas em simulações utilizadas para projeto do sistema e para estabelecer os limites;
- o desempenho dos dispositivos especiais de auxílio ao controle utilizados para melhorar a estabilidade do sistema;
- a influência dos dispositivos de proteção e controle sobre o desempenho do sistema em regime transitório.

### **2.1. Noções básicas de um sistema elétrico de potência.**

Um sistema elétrico de potência é um circuito elétrico que representa fisicamente a geração, a transmissão e distribuição de energia elétrica. Com algumas exceções importantes, a parte de transmissão e de distribuição de energia elétrica compreende uma rede de circuitos trifásicos com subestações de transformação e/ou distribuição em várias junções. Os circuitos podem ser por linha aérea ou por cabo subterrâneo. As vantagens principais do cabo subterrâneo são que ele não interfere com a paisagem e é menos sujeito aos acidentes naturais tais como interferências de relâmpagos, de aves ou humana; o custo, no entanto, é muito maior que para linhas aéreas, por isso são geralmente usadas linhas aéreas, exceto em áreas densamente povoadas e onde a paisagem é consideração primordial.

A figura 2.1. mostra esquematicamente como é estruturado um sistema elétrico de potência típico, do ponto de vista dos níveis da tensão .



**Figura 2.1.** Diagrama esquemático de um sistema elétrico de potência.

### 2.1.1. Composição de um sistema elétrico de potência, quanto ao nível de tensão.

Conforme mostra a figura 2.1., um sistema elétrico de potência é dividido nos três níveis básicos, nível de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

#### a. Nível de geração de energia elétrica.

Nesse nível, a energia elétrica é empregada na forma termoelétrica, eletroquímica, eletromecânica e hidroelétrica.

O advento dos dispositivos de estado sólido causou um importante impacto na tecnologia das centrais geradoras de energia elétrica: quase eliminou a dicotomia tradicionalmente estabelecida entre os campos de corrente contínua e corrente alternada e deu maior flexibilidade à utilização de motores e dispositivos eletromagnéticos.

#### b. Nível de transmissão de energia elétrica.

Esse nível do sistema de potência é responsável pelo transporte da energia elétrica, produzida pelos geradores, para as subestações principais (distribuição), geradores de outros sistemas de potência, ou grandes

consumidores (indústria de grande e médio porte). Os circuitos são, geralmente, linhas aéreas ou cabos subterrâneos, que podem suportar diferenças de potencial na ordem de 100 KV ou mais.

*c. Nível de distribuição de energia elétrica.*

Este nível do sistema de potência é responsável pela entrega da energia elétrica, que vem das subestações principais, para os consumidores pequenos (domésticos) e médios (pequenas indústrias e comércio), dentro de dois níveis de tensão:

- . tensão primária, ou de alimentação (por exemplo, 13.2 KV).
- . tensão secundária, ou de consumidor (por exemplo, 120/240 V).

### **2.1.2. Condições de operação de um sistema elétrico de potência.**

No estudo dos sistemas elétricos de potência, deve-se considerar a condição de operação a que eles podem ser submetidos. Os seguintes tipos de operação do sistema são apresentados por Venikov [Venikov,1977]:

Um sistema elétrico de potência pode operar em basicamente quatro regimes diferentes:

*a. operação em regime permanente normal.*

Nessa condição de operação, tem-se uma base para se projetar um sistema elétrico e determinar suas principais características técnicas, como a tensão em módulo e fase, fluxo de potência nas linhas de transmissão, e as características econômicas, como a geração otimizada de potência ativa e reativa no nível de geração.

*b. operação em regime transitório normal.*

Nessa condição de operação, tem-se a mudança de um estado permanente do sistema para outro estado permanente.



*b. operação em regime transitório de falta.*

Nessa condição de operação tem-se uma base para se determinar o desempenho do sistema elétrico, com a análise de suas características técnicas e para se fazer a ação corretiva apropriada.

*c. operação em regime permanente pós-falta.*

Esse modo de operação, geralmente, causa mudanças na conexão normal do sistema, tal como o desligamento de um ou mais de seus elementos. Nesse modo de operação, o sistema elétrico pode exibir as piores características técnicas e econômicas, quando comparado com o modo de operação normal.

Em um sistema elétrico de potência, as condições transitórias são caracterizadas pela variação das variáveis de operação do sistema, como a potência, tensão, corrente, frequência elétrica, fluxo de potência ativa e reativa. Essas condições transitórias aparecem no sistema elétrico devido à presença de pequenas ou grandes perturbações.

A condição transitória normal, por exemplo, surge quando se tem ações de operação normais no sistema. Essas operações envolvem chaveamentos em linhas de transmissão, reatores e capacitores, etc.

Sob a condição de ações operacionais normais no sistema, surgem pequenas perturbações, que, entretanto, não chegam a comprometer sua estabilidade, podendo-se afirmar que o sistema nessas condições apresenta estabilidade de regime permanente.

Sobre o conceito de estabilidade de regime permanente, Venikov define como sendo a capacidade do sistema recuperar sua condição de operação inicial após pequenas perturbações, ou a capacidade do sistema operar em uma condição bem próxima da inicial, quando ainda se tem pequenas perturbações presentes.

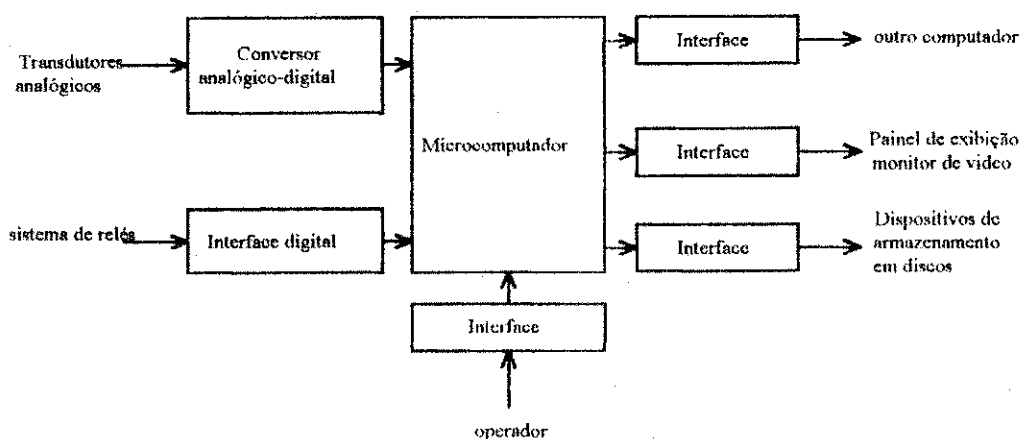
Diante da presença de grandes perturbações, o sistema apresenta as condições transitórias normal e de falta, devido a fenômenos inesperados, tais como o aparecimento de curto-circuito, ou mesmo, queda de linhas de transmissão, trazendo grande alterações no comportamento do sistema elétrico.

Quando se leva em consideração a presença de grandes perturbações no sistema elétrico, pode-se afirmar que o sistema opera em regime de estabilidade transitória, que segundo Venikov pode ser definida como a capacidade do sistema recuperar sua condição inicial, ou uma condição bem próxima da inicial, após da perturbação.

## **2.2. Propriedades dos microprocessadores para monitoração.**

Os principais componentes de um sistema de monitoração baseado em microprocessador estão ilustrados na figura 2.2.

O microprocessador exige que a memória armazene seu programa de instruções e retenha os dados. O microprocessador lê os dados do sistema elétrico através de circuitos especiais de interface; no caso de tensões analógicas supridas por vários transdutores, estas devem primeiro ser convertidas para uma forma digital por um conversor analógico-digital. Interfaces também são necessárias para possibilitar ao microprocessador o controle do monitor de vídeo, teclado e outros dispositivos que podem fazer parte do painel de controle ou do console do operador e para permutar dados com outras unidades. Esses podem ser dispositivos de armazenamento, uma impressora ou um plotador de gráficos, outro computador, etc.



**Figura 2.2.** Diagrama de blocos generalizado de um sistema de monitoração baseado em microcomputador.

As propriedades do microprocessador mais significativas para a aplicação em monitoração do desempenho de sistema elétricos são:

- custo relativamente baixo;
- pequeno tamanho físico;
- consumo de energia relativamente baixo;
- operar sob controle de um dos programas de software;
- o poder de armazenar, recuperar e processar dados de maneira complexa;
- capacidade de controlar e de se comunicar com muitos tipos de dispositivos externos, como monitores de vídeo, impressoras, sistemas de armazenamento de dados, teclados, outro computadores, etc.

O custo relativamente baixo possibilita que a capacidade do microprocessador seja amplamente explorada. A utilização do controle por computador pode agora levar em consideração quase todos registros de dados ou aplicações de monitoração de processos, possibilitando então métodos e abordagens completamente novos. Anteriormente, o alto custo dos sistemas de monitoração baseados em minicomputadores significava que o controle pelo computador poderia ser justificado apenas para as operações de grande escala.

Entretanto, é importante lembrar que um sistema completo também pode incluir sensores e equipamentos associados para fornecer os dados básicos e o software para controlar o computador. A capacidade do microprocessador para a manipulação dos dados geralmente cria exigências de alto desempenho e, conseqüentemente, equipamentos sensores caros para obter maior precisão ou taxas de amostragens mais rápidas. O software é quase sempre caro porque sua produção exige uma mão-de-obra altamente especializada. Seu custo altamente significativo para os sistemas especialmente projetados para uma aplicação particular pode frequentemente ser muitas vezes maior do que o custo do hardware.

O baixo custo do hardware do microcomputador é particularmente importante onde o custo do software pode ser distribuído em muitas unidades. Ele permite também que os microcomputadores sejam considerados bém mais amplamente do que os sistemas de minicomputadores, no que se refere aos problemas que exigem um sistema construído com propósito específico, mas deve-se ter cuidado com os custos muito baixos verificados com o hardware dos microcomputadores como um guia para os custos totais do projeto.

A capacidade de armazenar e manipular dados amplia enormemente o escopo e o potencial dos instrumentos de monitoração. Uma variedade maior de sensores pode ser utilizada e um pouco de acondicionamento de sinais anteriormente efetuado por circuitos analógicos caros pode ser executado pelo processamento digital. Torna-se então mais fácil utilizar transdutores não lineares, ou que tenham qualquer outra característica fora do comum.

Volumes bém maiores de dados podem ser manipulados porque o computador pode armazenar valores e reduzir e processar os dados registrados inicialmente para extrair as informações relevantes para gravação ou exibição. Isto é particularmente interessante para a monitoração investigativa, onde

podem não ser inicialmente conhecidas quais informações são importantes e precisam ser registradas.

A disponibilidade da capacidade de processamento pode fornecer soluções nos casos onde os parâmetros medidos seja difíceis de acessar por meios convencionais. Ela é particularmente útil nos casos onde a análise significativa dos valores medidos é necessária para identificar uma condição de erro, ou onde as leituras de um número de sensores devam ser combinados para obter a informação necessária.

Uma grande variedade de dispositivos periféricos pode ser acoplados aos sistemas de monitoração microprocessados. Isto significa que o equipamento de monitoração pode fornecer um interface bem melhor para o operador do que o equipamento convencional. Os dispositivos de saída variam de simples lâmpadas indicadoras, através de exibições digitais, até elaborados gráficos coloridos em monitores de video. As impressoras fornecem diretamente um registro escrito da informação monitorada e os teclados podem ser utilizados para instruir e programar o sistema. A capacidade de acionar dispositivos de armazenamento de massa de larga escala, tais como o disco flexível e disco rígido, facilita, se necessário, a gravação permanente de quantias de dados muito grandes em altas velocidades.

### 2.3. Características ideais para um sistema de monitoração.

As características ideais para que um sistema de monitoração possa registrar e avaliar o desempenho de um sistema elétrico, são as seguintes:

1. *Gatilhamento automático*: Os dispositivos de registro devem gatilhar automaticamente no evento de um registro. Eles devem ter a capacidade de acomodar uma larga variedade de critérios de gatilhamento.

2. *Sincronização do tempo*: Os eventos e as variáveis em diferentes localizações no sistema de potência devem ser sincronizados de modo a coordenar satisfatoriamente todas as informações monitoradas.

3. *Segurança dos dados do registro*: O sistema de monitoração deve registrar precisamente qualquer distúrbio e deve estar seguro contra interrupções da potência, apagamentos acidentais e outros perigos.

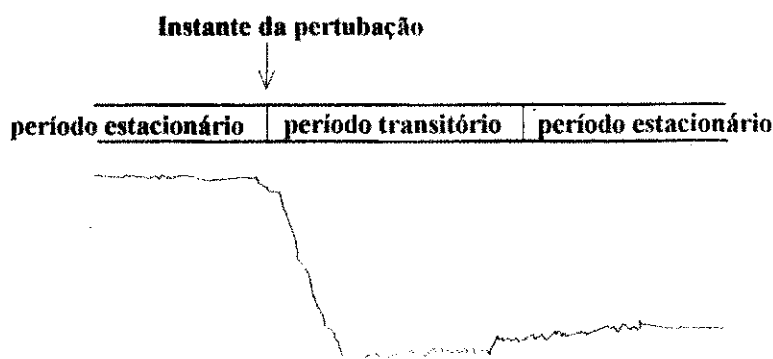
4. *Confiabilidade e facilidade de manutenção*: O sistema deve ser confiável, fácil de fazer manutenção e deve permitir testes funcionais automatizados.

5. *Retirada automatizada de dados*: Os dados monitorados durante o registro das perturbações devem ser transmitidos automaticamente para um local central.

6. *Interface com programas de simulação*: Procedimentos automatizados são necessários para rever de uma forma conveniente os dados e manipula-los numa forma similar daqueles utilizados nos programas de simulação para a recriação da perturbação do sistema. As facilidades devem ser fornecidas para a criação de um fluxo de carga antes da perturbação de uma forma fácil.

## 2.4. Informações necessárias para o análise do desempenho dinâmico de um sistema elétrico.

Para o análise do desempenho dinâmico de um sistema elétrico na ocorrência de uma perturbação, são usualmente observados três períodos distintos, conforme mostra a figura 2.3.



**Figura 2.3.** Os três períodos distintos na ocorrência de uma perturbação.

### 1. Período estacionário antes da perturbação.

Isto se refere ao período no qual o sistema está operando sob uma condição estacionária, antes da ocorrência de uma perturbação.

### 2. Período transitório da perturbação.

Isto se refere ao período no qual o sistema está operando sob a condição transitória, devido à perturbação. Neste período o sistema tenta se ajustar para uma condição estacionária, devido às oscilações de potência de sincronização. Essa condição estacionária pode ser a mesma antes da perturbação, ou pode ser uma outra, dependendo do tipo de perturbação [D'Ajuz et alli,1987]. Em alguns casos, pode ter mais de um período transitório [IEEE Task Force,1987]. Por exemplo, uma segunda perturbação pode ocorrer, antes do reajuste para um seguro ponto de operação.

3. *Período estacionário após a perturbação.* Isto se refere ao período entre o instante em que o distúrbio ocorreu e o instante em que as oscilações de potência de sincronização são amortecidas.

A fim para se obter dados suficientes para o análise do desempenho dinâmico de um sistema elétrico utilizando um registro de perturbação, as seguintes informações são requeridas:

a. *Dados sobre os eventos ocorridos antes da perturbação:* isto inclui todas os dados requeridos para determinar o estado do sistema para a criação do fluxo de potência antes da perturbação. Uma completa descrição instantânea das condições de operação do sistema dentro de um período predefinido antes da inicialização de uma perturbação é normalmente considerada satisfatória.

b. *Instante da ocorrência da perturbação:* o momento de operação dos dispositivos de proteção e controle, no momento da ocorrência da perturbação, é de muita importância. A resolução com que os eventos devem ser determinados depende da sensibilidade da resposta do sistema ao tempo da sua ocorrência. Os eventos associados à eliminação de falhas devem ser determinados com uma resolução menor que aqueles associados ao período transitório de curto duração e ao período dinâmico de longo duração.

c. *Dados da resposta transistória da perturbação:* abaixo é mostrado uma lista de variáveis de um sistema de potência de grande porte, os quais também são úteis para o sistema utilizado neste trabalho, cujas respostas são geralmente de interesse na avaliação do desempenho dinâmico do sistema:

- O fluxo da potência ativa e reativa nos pontos importantes do sistema.
- O magnitude e frequência da tensão e da corrente nos pontos importantes do sistema.
- Grandezas que inicializam os relés especiais e os circuitos de controle para prever a estabilidade do sistema ou para prevenir a propagação de distúrbios dentro do sistema.



- Grandezas do gerador: saída da potência ativa e reativa, tensão terminal, tensão de campo, velocidade rotórica e, se possível, grandezas adicionais como o ângulo rotórico, corrente de campo.
- Variáveis associadas com os dispositivos de controle importantes.
- Grandezas úteis na identificação da resposta de grandes cargas: potência ativa e reativa, magnitude da tensão, frequência e mudança no ângulo de fase.

Idealmente, todos os dados listados acima devem ser monitorados para fornecer informação completa relatando a estabilidade do sistema interligado, as características dinâmicas de geradores e cargas, e as respostas transitórias dos dispositivos de apoio ao controle. A importância relativa das grandezas a serem monitoradas depende do sistema. Um entendimento das características do sistema como todo e a natureza dos problemas de estabilidade é essencial para identificar as grandezas específicas a serem monitoradas para qualquer sistema individual.

*d. Dados da resposta estacionária após a perturbação:* as variáveis de interesse incluem a potência ativa e reativa, a velocidade rotórica e a tensão de campo do gerador. O fluxo de potência, tensão e frequência nos pontos importantes do sistema e as variáveis associadas à operação dos sistemas de controle e de proteção também são importantes.

## 2.5. Algumas arquiteturas para a monitoração de sistemas elétricos.

A implementação de um sistema para monitorar o desempenho de um sistema elétrico pode ser feita utilizando diversas arquiteturas, envolvendo microprocessadores ou microcontroladores.

O sistema de monitoração, proposto por Clewes e outros [Clewes et alli, 1983] é mostrado na figura 2.4. Ele é baseado em um microcomputador de 16 bits, que registra diretamente, numa forma legível para o computador, para um dispositivo de armazenamento magnético de dados através de um dispositivo de DMA. É um instrumento portátil capaz de digitalizar e registrar amostras das formas de onda de tensão e corrente dos transformadores de potencial e de corrente de uma subestação, ou digitalizar amostras da saída de qualquer outro transdutor da subestação. Ele pode medir eventos transitórios que ocorrem no intervalo de tempo entre 5 ms a 30 s.

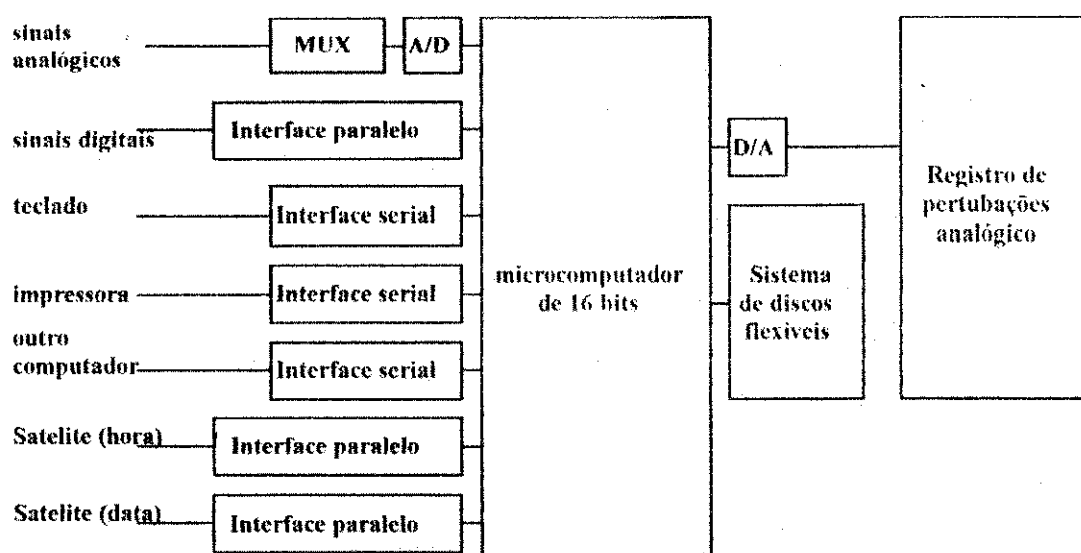
O sistema de disco flexível contém duas unidades de disco flexível de face única e densidade dupla; cada disco pode armazenar até 512.512 bytes de dados com uma velocidade de 16.000 bytes por segundo. A memória RAM consiste em 64 Kbytes, organizada em palavras de 16 bits.

Três interfaces seriais são utilizados para estabelecer a comunicação entre o sistema e o teclado, uma impressora e outros computadores. A taxa de transferência de dados de cada interface pode ser ajustada individualmente de 150 a 38.400 bits por segundo.

Um conversor A/D de 12 bits amostra os sinais analógicos fornecidos pelos interfaces aos transformadores de potencial e de corrente, e de outros transdutores e converte-os numa forma digital. Até dezesseis sinais são fornecidos. A transferência dos dados convertidos para a memória é realizada pelo acesso direto à memória (DMA). A taxa de amostragem utilizadas é 480 Hz

ou 960 Hz, que é selecionada pelo usuário via teclado. Dois conjuntos de filtros, com uma frequência de corte de 180 Hz e 350 Hz, respectivamente, são utilizados para os sinais analógicos a fim de prevenir os dados de entrada contra os erros devido ao efeito "aliasing".

Três interfaces paralelos de 16 bits são fornecidos; um é utilizado para os sinais digitais e os outros dois são utilizados para receber os dados sobre a hora e a data corrente enviados por um satélite.

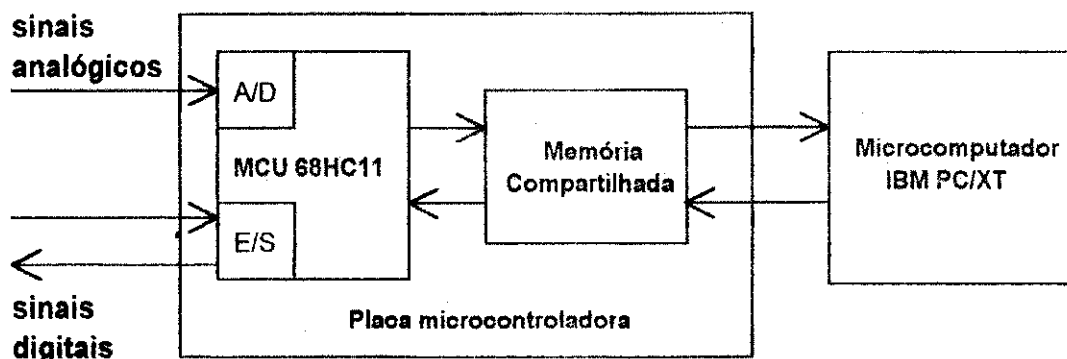


**Figura 2.4.** Arquitetura do sistema de monitoração proposto por Clewes et alii.

O segundo sistema de monitoração envolve um registro de perturbação programável é proposto por Costa [Costa, 1991], (figura 2.4.). Ele é um sistema que tem uma arquitetura multiprocessadora, composta por um microcomputador de 16 bits (8086) e um microcontrolador de 8 bits (MC68HC11). A troca de informações entre os processadores é realizada através de memória compartilhadas. Essas memórias compartilham o mesmo endereço físico, cujo acesso é excludente. Ele tem as seguintes características técnicas:

- Canais analógicas: 3 diferencias
- Canais digitais: 1, oticamente isolado

- Saídas analógicas: nenhuma
- Gatilhamento do registro: O registro gatilha de acordo com uma lógica de gatilhamento, programável por software.
- Taxa de amostragem: programável, entre 64  $\mu$ s e 100 ms.
- Taxa de registro de dados: não há dados
- Capacidade de registrar eventos antes de uma perturbação: sim
- Visualização de dados: numericamente, em forma de tabela, e graficamente, "on-line", no terminal
- Interface ao operador: terminal de video, via interface serial, onde a taxa de transferência é programável. Teclado.



**Figura 2.5.** Arquitetura do sistema de monitoração proposto por Costa.

Apesar das estruturas mostradas oferecerem opções para a implementação da parte de aquisição de dados de um sistema de monitoração, optou-se para uma arquitetura de um sistema de unico processador com uma placa de aquisição de dados multifunção, PCL-718 da Adventech Co. Ltda. Esta opção baseou-se na disponibilidade desta placa, que apresenta os recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho proposto.

## CAPÍTULO 3

## ALGORITMOS DE TRANSDUÇÃO ELÉTRICA

Como um sistema de monitoração é essencialmente um sistema de medição, ele pode ser decomposto em três elementos básicos, conforme mostra a figura 3.1.: o elemento de entrada ou transdutor, o elemento de acondicionamento de sinais e o elemento de saída ou de exibição.

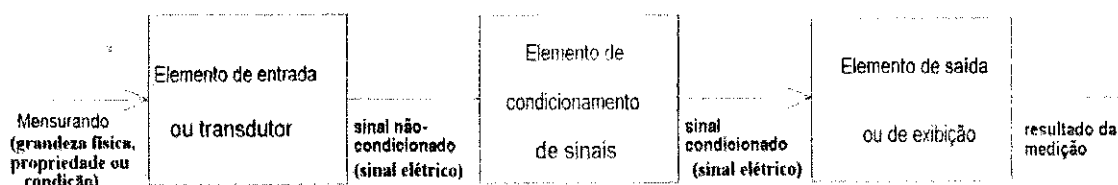


Figura 3.1. Elementos básicos de um sistema de monitoração.

Segundo Norton [Norton, 1969], um transdutor é um dispositivo que fornece uma saída utilizável em resposta de um mensurando específico<sup>3</sup>. Um transdutor é, normalmente, projetado para sensoriar um mensurando específico e para responder apenas a esse mensurando. Em alguns casos, outros mensurandos podem ser calculados por uma relação conhecida entre eles e o mensurando que está sendo medido. Assim, uma corrente elétrica que passa por um fio pode ser calculada pela medição da tensão acima de um resistor colocado no caminho da corrente, cujo valor da resistência é conhecido, por onde esta corrente passa; nesse caso, sabe-se para cada medição, portanto, o mensurando é estabelecido em termos do seu transdutor.

O elemento de acondicionamento de sinais prepara (condiciona) o sinal captado pelo transdutor, que é analógico, para ser utilizado pelo elemento de saída. Nos casos, onde o sistema de monitoração emprega transdutores

<sup>3</sup>Um mensurando é a quantidade física, propriedade ou condição, que é medida [Norton, 1969].

digitais<sup>4</sup>, esse elemento é, geralmente, composto por circuitos digitais, que funcionam do mesmo modo nos casos dos transdutores analógicos.

O elemento de saída ou de exibição utiliza o sinal, condicionado pelo elemento de acondicionamento de sinais, para processamento posterior. Assim ele pode extrair as informações necessária do sinal sensoriado.

Em sistemas de monitoração por computador, o transdutor e o elemento de acondicionamento de sinais formam geralmente a interface necessário entre o computador e o processo; o elemento de saída é então o computador propriamente dito. Neste trabalho são utilizados transdutores analógicos, cuja saída é amostrada por uma taxa de amostragem fixa.

A ligação mais fraca nos sistemas de monitoração, controlado por microcomputador, é a interface entre o computador e o processo. O desempenho dos transdutores e seus componentes eletrônicos associados pode, portanto, ser o fator limitador no desempenho global do sistema. Os transdutores importantes para a monitoração são, na maioria dos casos, aqueles que produzem algum tipo de sinal elétrico de acordo com o valor de um parâmetro físico de interesse.

Apesar que existem vários métodos para monitorar o desempenho dinâmico de um sistema elétrico, neste trabalho, é utilizado um método que emprega diversos transdutores analógicos simultaneamente. onde a sua saídas são digitalizadas por um conversor analógico-digital (A/D). Esse método, requer multiplexador, um amplificador de ganho programável e uma unidade de amostragem e retenção

---

<sup>4</sup>Um transdutor digital pode ser decomposto em duas partes: uma parte sensora, que sensoria o mensurando e gera um sinal analógico e uma parte de conversão analógico-digital, que converte o sinal analógico em forma digital. Entre essas duas partes é inserido um circuito amostrador.

Um outro método foi proposto por Chaudhuri e outros [Chaudhuri,1985], onde um grupo de circuitos eletrônicos, que convertam os mensurandos analógicos em análogos de frequência. O processo de medição é controlado por um microcomputador. Como esse processo de medição é muito mais lento, aproximadamente mil vezes, em relação ao anterior, esse método não foi utilizado neste trabalho.

### 3.1. Medição simultânea de sinais elétricos controlado por computador.

A medição de vários sinais elétricos, simultaneamente, baseada em microprocessador, pode ser realizada por vários métodos.

A figura 3.2. mostra um sistema de medição simultânea, que emprega um conversor analógico. Cada grandeza elétrica, como tensão, corrente, potência é sensoriada por seu transdutor, cuja saída está ligada diretamente a uma das entradas de, um multiplexador analógico. Esse multiplexador, por sua vez, seleciona uma das suas entradas para o conversor A/D, que a converte para uma palavra digital. O microcomputador lê, em seguida essa palavra para processamento posterior. Na entrada do conversor A/D, depois do multiplexador, é colocado um circuito de amostragem e retenção (S/H-Sample and Hold), que assegura o sinal analógico durante o tempo de amostragem.

Para esse sistema, o tempo de amostragem por canal ( $T_s$ ) deve ser projetado em função do número de sinais ( $N$ ) a ser convertido e o tempo de conversão do conversor ( $\tau_c$ ), de tal modo que é satisfeita a seguinte desigualdade

$$T_s \geq \tau_c \cdot N \quad (3.1.)$$

Da equação (3.1.) pode-se concluir que, quanto maior o número de canais, maior deve ser o período de amostragem por canal; conseqüentemente mais lento se torna o sistema. Portanto, para projetar um sistema de monitoração,

utilizando a arquitetura da figura 3.2., é conveniente fazer um compromisso entre o tempo de amostragem desejado e o número de sinais que pode ser medido nesse período.

Quando esta arquitetura é utilizada para monitoração com processamento de dados em tempo real, por exemplo, a visualização dos sinais na tela imediatamente após da aquisição, o tempo do processamento adicional ( $\tau_p$ ), deve ser adicionado ao tempo de conversão do conversor. Neste caso, a desigualdade na equação (3.1.) se torna

$$T_s \geq (\tau_c + \tau_p) \cdot N \quad (3.2.)$$

Por outro lado, para evitar o efeito "aliasing", que podem aparecer em sistema de amostragem, o período de amostragem por canal deve satisfazer as exigências do teorema de amostragem, que estabelecem que ele não pode ser maior que a metade do período da maior variação do sinal que está sendo medido. Na prática, o período de amostragem deve ser menor que um décimo do período da maior variação do sinal. Se  $T_{ss}$  é o período da maior variação do sinal que está sendo medido, então, observando a desigualdade da equação (3.2.), o período de amostragem satisfaz a desigualdade

$$(\tau_c + \tau_p) \cdot N \leq T_s \leq \frac{T_{ss}}{10} \quad (3.3.)$$

O número de sinais que pode ser medido por esse sistema pode ser determinado pela seguinte desigualdade

$$N \leq \frac{T_s}{(\tau_c + \tau_p)} \leq \frac{T_{ss}}{(\tau_c + \tau_p)} \quad (3.4.)$$



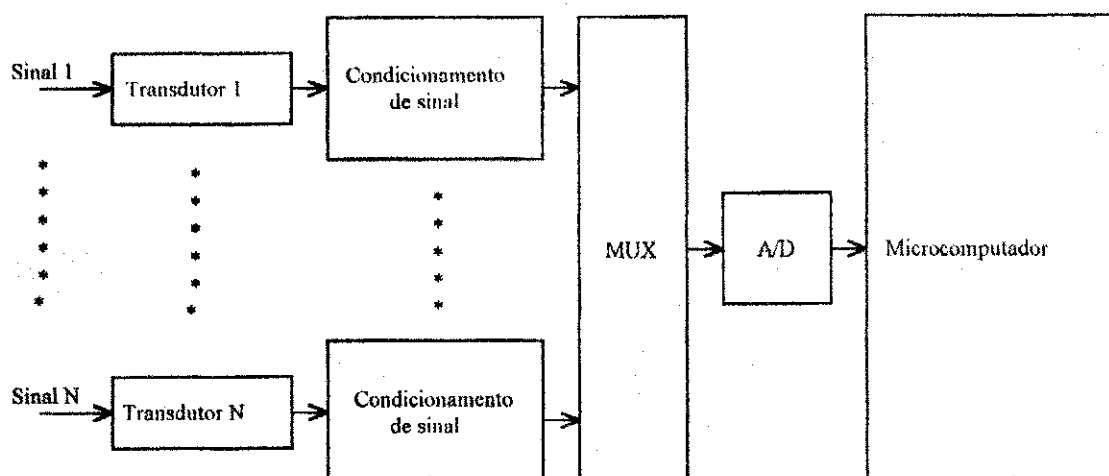


Figura 3.2. Diagrama esquemático do sistema de medição simultânea.

### 3.2. Medição da tensão elétrica.

A figura 3.3 ilustra o sistema de medição para a tensão elétrica. A tensão elétrica é sensoriada e convertida para um nível compatível com os dos circuitos de acondicionamento de sinais e da placa de aquisição de dados por um transformador de tensão com um divisor de tensão. Os filtros "anti-aliasing" servem para remover sinais de frequências fora da faixa de interesse, melhorando assim a relação sinal/ruído e para fornecer uma isolamento elétrica adequada entre os circuitos de acondicionamento de sinais e da aquisição de dados.

Conhecendo a função dos circuitos entre o transformador de potencial e o conversor A/D, o magnitude do sinal de tensão  $v_{ad}$  é dado por

$$v_{ad} = G_{tp} \cdot G_{dp} \cdot G_{fpb} \cdot G_{mux} \cdot G_{S/H} \cdot v_{pri} \quad (3.5.)$$

onde  $v_{pri}$  é a tensão no primário do transformador (valor real da tensão do sistema).  $G_{tp}$  é o ganho do transformador de potencial (TP), dado pela relação da tensão do secundário e do primário.  $G_{dp}$  é o ganho do circuito divisor de tensão, dado pela relação da tensão de saída e de entrada.  $G_{fpb}$  é o ganho total dos filtros na frequência C.C.; na ausência este ganho é igual a um.  $G_{mux}$  é o

ganho do multiplexador analógico.  $G_{S/H}$  é o ganho do circuito de amostragem e retenção.

Se para a conversão analógico-digital é utilizada um conversor de  $n$  bits, a resolução da conversão, em volts, pode ser determinada por

$$\delta v_{ad} = \left| \frac{\Delta v_{ad}}{2^n} \right| = G_{tp} \cdot G_{dp} \cdot G_{fph} \cdot G_{max} \cdot G_{S/H} \cdot \left| \frac{\Delta v_{pri}}{2^n} \right| \quad (3.6.)$$

onde  $\Delta v_{ad}$  ( $\Delta v_{pri}$ ) é a faixa de tensão de entrada do conversor A/D (tensão no primário do transformador), que corresponde à faixa de valores digitais entre  $(11 \dots 11)_2$  e  $(00 \dots 00)_2$ . Portanto, a medição de tensão pode ser realizada com uma resolução de

$$\delta v_{pri} = \left| \frac{\Delta v_{pri}}{2^n} \right| = G' \cdot \delta v_{ad} = G' \cdot \left| \frac{\Delta v_{ad}}{2^n} \right| \quad (3.7.)$$

$$G' = \frac{1}{G_{tp} \cdot G_{dp} \cdot G_{fph} \cdot G_{max} \cdot G_{S/H}}$$

Com esse método de medição são medidas as seguintes grandezas:

- . Tensão de cada fase do terminal do gerador, em relação ao neutro:

$$v_a, v_b, v_c.$$

- . Módulo da tensão trifásica do terminal do gerador, em relação ao neutro:

$$|V_t|.$$

Obs: Na medição da tensão de cada fase não são utilizados filtros "anti-aliasing", por causa da frequência quase fixa do sinal. Na medição do módulo da tensão trifásica é utilizada um ponte retificadora trifásica a diodo, colocada entre o divisor de tensão e os filtros "anti-aliasing".

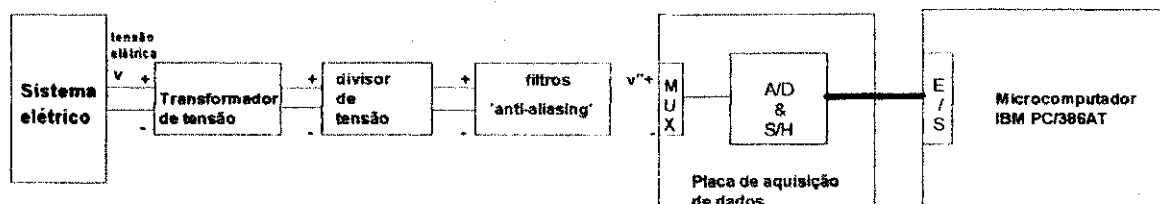


Figura 3.3. Diagrama de blocos do sistema de medição da tensão elétrica.

### 3.3. Medição da corrente elétrica.

A medição da corrente elétrica por meio de um microcomputador é similar à medição da tensão elétrica. Nesse caso, o sinal de saída do transdutor de corrente, muitas vezes, é enviado a um ou mais transformadores de corrente, que reduz ou aumenta a corrente a ser medida com uma quantidade conveniente para o uso em microcomputador. Em seguida, a medição propriamente dita é feita pela medição da tensão acima de um resistor fixo, sabendo que  $v = i \cdot R \Leftrightarrow i = \frac{v}{R}$ , onde  $v$  é a tensão acima do resistor  $R$  e  $i$  é a corrente que passa pelo resistor, fornecido pelo transformador de corrente.

Se a corrente no secundário do transformador de corrente (TC) é dada por

$$i_{sec} = \frac{N_p}{N_s} \cdot i_{pri} = G_{tc} \cdot i_{pri} \quad (3.8.)$$

onde  $G_{tc}$  é o ganho do transformador e  $i_{pri}$  é a corrente no primário do transformador (valor real da corrente do sistema elétrico), então a medição da corrente primário pode ser medida indiretamente, sabendo que a tensão em cima do resistor é dada por

$$v_R = i_{sec} \cdot R = G_{tc} \cdot R \cdot i_{pri} \quad (3.9.)$$

A técnica de medição desta tensão é igual a técnica explicada na seção 3.2. Portanto, a corrente real do sistema pode ser determinada por

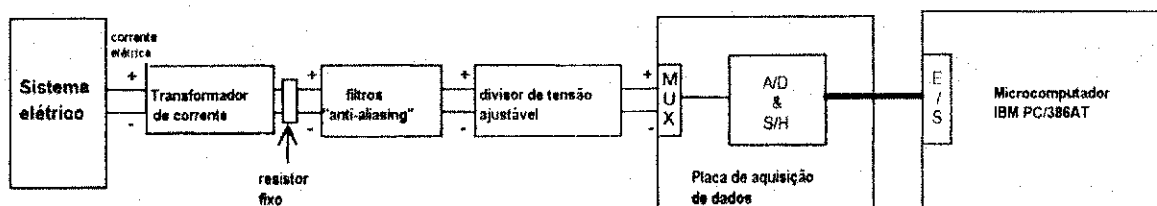
$$i_{pri} = \frac{V_{ad}}{G_{tc} \cdot G_{fph} \cdot R \cdot G_{mux} \cdot G_{S/H}} \quad (3.10.)$$

A medição da corrente elétrica é realizada com uma resolução igual a

$$\delta i_{pri} = \left| \frac{\Delta i_{pri}}{2^n} \right| = G^n \cdot \left| \frac{\Delta V_{ad}}{2^n} \right| \quad (3.11.)$$

$$G^n = \frac{1}{G_{tc} \cdot G_{fph} \cdot R \cdot G_{mux} \cdot G_{S/H}}$$

O sistema de medição de corrente elétrica é ilustrado pelo diagrama de blocos da figura 3.4.



**Figura 3.4.** Diagrama de blocos do sistema de medição da corrente elétrica.

Com esse método, são medidas as seguintes grandezas:

- . Corrente em cada fase no terminal do gerador.
- . Módulo da corrente trifásica no terminal do gerador.

Obs: Na medição da corrente de cada fase não são utilizados filtros "anti-aliasing", por causa da frequência quase fixa do sinal. Na medição do módulo da corrente trifásica é utilizada um ponte retificadora trifásica a diodo, colocada entre o transformador de corrente e os filtros "anti-aliasing".

### 3.4. Medição da potência elétrica ativa.

O método mais comum para se medir a potência elétrica ativa de qualquer sistema elétrico é realizado pela utilização de instrumentos convencionais tais como o wattímetro eletrodinâmico, eletrostático, térmico ou pelo efeito de Hall, todos aqueles que utilizam métodos analógicos que multiplicam e tiram a média das formas de onda da tensão e corrente.

Os instrumentos baseados em técnicas de medição digital predominam atualmente na área de medição de tensão e corrente e oferece uma precisão melhorada e velocidade de resposta acima dos instrumentos eletromecânicos. É natural, portanto, investigar o uso de técnicas digitais na medição de potência elétrica ativa, particularmente em aplicações de monitoração e controle da

potência, onde uma resposta rápida é essencial, e em medições de padrões de laboratório, onde alta precisão é necessária.

A potência elétrica ativa para um sistema elétrico monofásico é dada por

$$P = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v \cdot i \cdot dt \quad (3.12.)$$

onde  $v$  é a tensão instantânea,  $i$  é a corrente instantânea, a  $T_m$  é o intervalo de medição que é usualmente escolhido sendo um ou mais períodos da forma de onda da tensão ou corrente para entradas CA.

Similarmente, para um sistema elétrico polifásico, a potência elétrica ativa é a soma das potências em cada fase. Assim, para um sistema elétrico trifásico, a potência elétrica ativa é dada por

$$P = P_a + P_b + P_c = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v_a \cdot i_a \cdot dt + \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v_b \cdot i_b \cdot dt + \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v_c \cdot i_c \cdot dt \quad (3.13)$$

$$\Leftrightarrow P = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} (v_a \cdot i_a + v_b \cdot i_b + v_c \cdot i_c) \cdot dt$$

onde  $v_a$  ( $i_a$ ),  $v_b$  ( $i_b$ ) e  $v_c$  ( $i_c$ ) é a tensão (corrente) de fase em relação ao neutro.

Neste trabalho, a medição da potência elétrica ativa trifásica é realizada pelo sistema de medição, ilustrado na figura 3.5. O transdutor da potência elétrica ativa trifásica, utiliza a tensão e corrente de cada fase para fornecer um sinal de corrente analógica diretamente proporcional ao magnitude da potência trifásica. Um circuito eletrônico no interior do transdutor, primeiramente multiplica a tensão de cada fase com a corrente correspondente. Depois soma os três produtos e tira a média dessa soma, obtendo assim um sinal de corrente proporcional ao módulo da potência elétrica ativa trifásica.

Assim, a corrente na saída do transdutor pode ser expressa por

$$i_{pa} = G_{pa} \cdot P \quad (3.14.)$$

onde  $G_{pa}$  é o ganho do transdutor e  $i_{pa}$  é a corrente na saída do transdutor, que é proporcional ao módulo da potência elétrica ativa trifásica.

A medição desta corrente pode ser feita pelo mesmo procedimento da seção 3.3. Portanto a potência elétrica ativa pode ser determinada por

$$P = \frac{V_{ad}}{G_{pa} \cdot R \cdot G_{mx} \cdot G_{S/H}} \quad (3.15.)$$

A medição da potência elétrica ativa é realizada com uma resolução igual a

$$\delta P = \left| \frac{\Delta P}{2^n} \right| = G^* \cdot \left| \frac{\Delta V_{ad}}{2^n} \right| \quad (3.16.)$$

$$G^* = \frac{1}{G_{pa} \cdot R \cdot G_{mx} \cdot G_{S/H}}$$

Com esse método, é medida a potência elétrica ativa nos terminais do gerador.

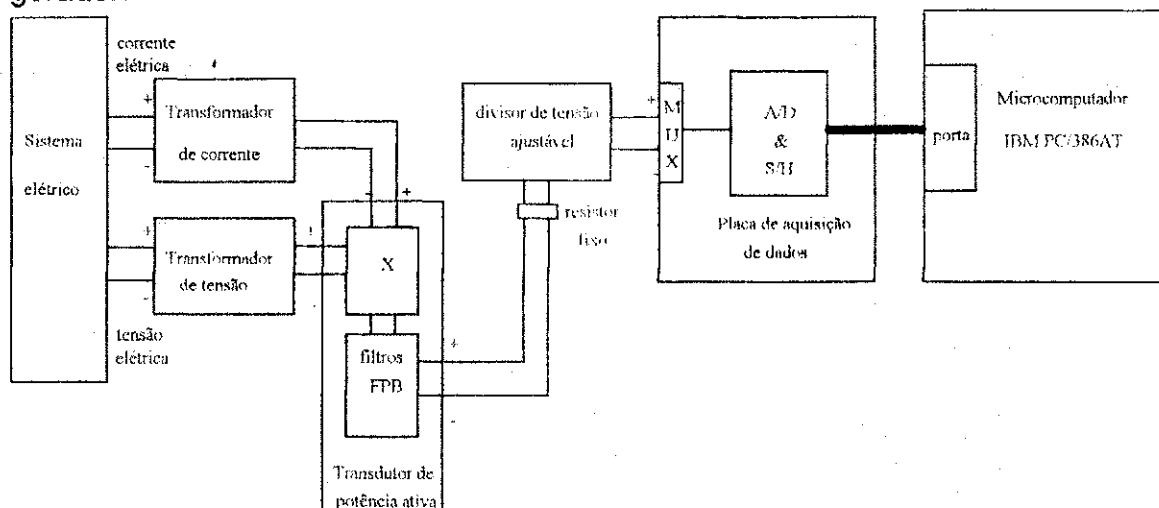


Figura 3.5. Diagrama de blocos do sistema de medição da potência elétrica ativa.

### 3.5. Medição da potência elétrica reativa.

A potência elétrica reativa de um sistema elétrico é definida, matematicamente, média do integral temporal do produto da corrente do sistema

elétrico e uma tensão, igual em magnitude mas em quadratura. Assim a potência elétrica reativa para um sistema elétrico monofásico é determinada por

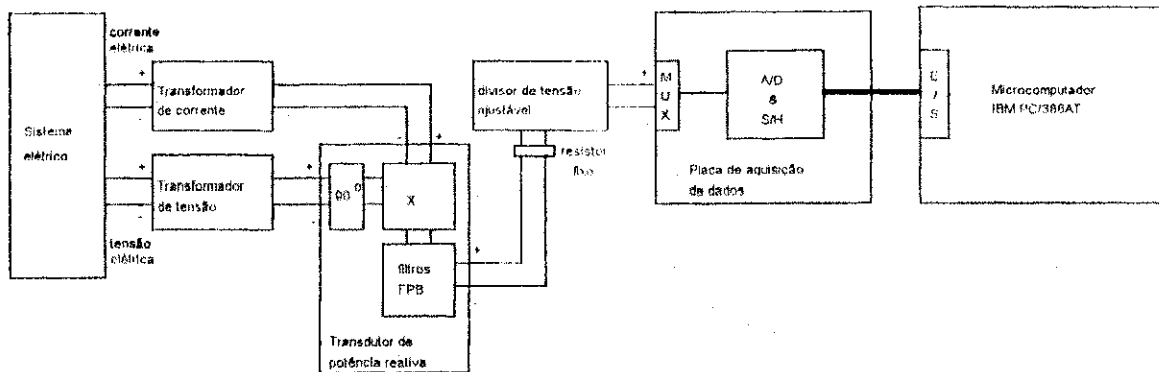
$$Q = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v^* \cdot i \cdot dt \quad (3.17)$$

onde  $v^*$  é a tensão em quadratura, ou a tensão deslocada em fase por  $90^\circ$ . Da mesma forma pode ser determinada a potência elétrica reativa para um sistema elétrico polifásico. Nesse caso, a potência elétrica polifásica é a soma das potências elétricas reativas em cada fase. Portanto, para um sistema elétrico trifásico, a potência elétrica trifásica é igual a

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v_a^* \cdot i_a \cdot dt + \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v_b^* \cdot i_b \cdot dt + \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v_c^* \cdot i_c \cdot dt \quad (3.18.)$$

$$\Leftrightarrow Q = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} (v_a^* \cdot i_a + v_b^* \cdot i_b + v_c^* \cdot i_c) \cdot dt$$

Neste trabalho, a medição da potência elétrica reativa é realizada pelo sistema de medição ilustrado na figura 3.6. O transdutor da potência elétrica reativa, que é similar ao transdutor da potência elétrica ativa descrita na seção 3.4., também utiliza a tensão e corrente de cada fase para fornecer um sinal de corrente analógica diretamente proporcional ao magnitude da potência trifásica. Um circuito eletrônico no interior do transdutor, primeiramente multiplica a tensão em quadratura de cada fase com a corrente correspondente. Depois soma os três produtos e tira a média dessa soma, obtendo assim um sinal de corrente proporcional ao módulo da potência elétrica reativa trifásica.



**Figura 3.6.** Diagrama de blocos do sistema de medição da potência elétrica reativa.

Assim, a corrente na saída do transdutor pode ser expressa por

$$i_{pr} = G_{pr} \cdot Q \quad (3.19.)$$

onde  $G_{pr}$  é o ganho do transdutor e  $i_{pr}$  é a corrente na saída do transdutor, que é proporcional ao módulo da potência elétrica reativa trifásica.

A medição desta corrente pode ser feita pelo mesmo procedimento da secção 3.3. Portanto a potência elétrica reativa pode ser determinada por

$$Q = \frac{V_{adj}}{G_{pr} \cdot R \cdot G_{mux} \cdot G_{S/H}} \quad (3.20.)$$

A medição da potência elétrica reativa é realizada com uma resolução igual a

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \left| \frac{\Delta Q}{2^n} \right| = G^{**} \cdot \left| \frac{\Delta V_{adj}}{2^n} \right| \\ G^{**} &= \frac{1}{G_{pr} \cdot R \cdot G_{mux} \cdot G_{S/H}} \end{aligned} \quad (3.21.)$$

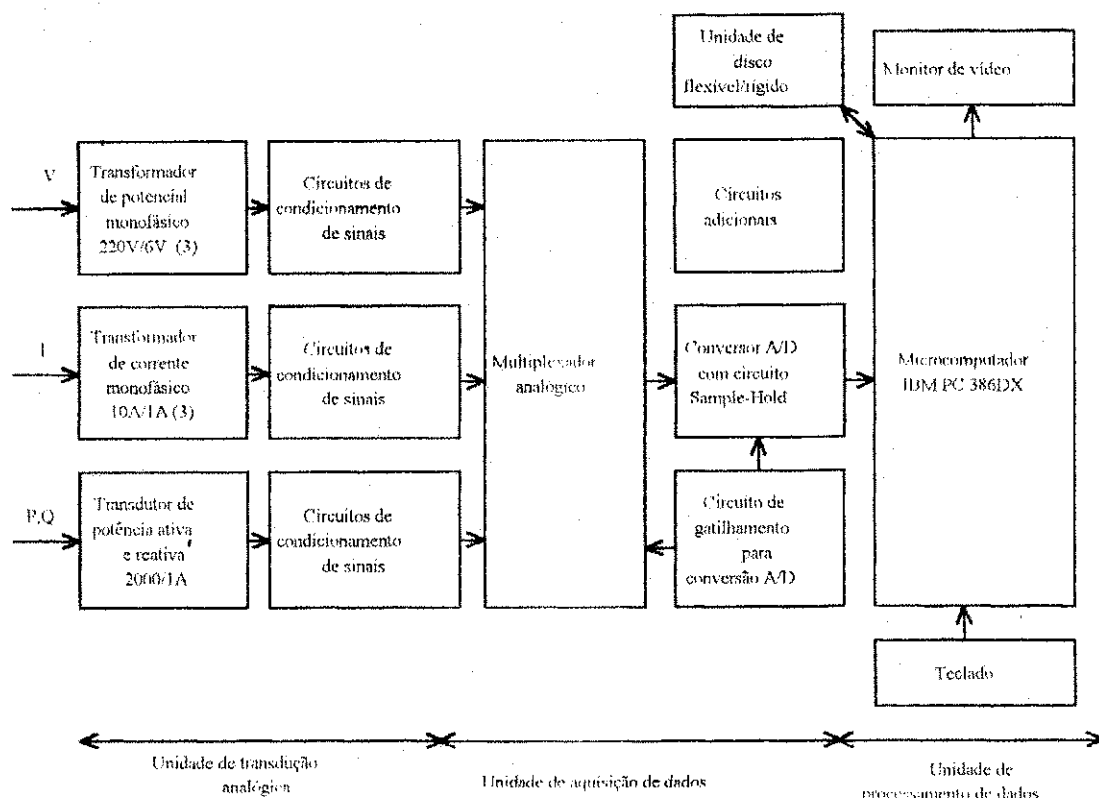
Com esse método, é medida a potência elétrica reativa nos terminais do gerador.



## CAPÍTULO 4

## DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO HARDWARE DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO

O diagrama de blocos da estrutura do hardware do sistema de monitoração é mostrado na figura 4.1.



**Figura 4.1.** A estrutura do hardware do sistema de monitoração.

A unidade de transdução analógica é composto por oito transdutores analógicos: três para a tensão de fase, três para a corrente de fase, um para a potência elétrica ativa e um para a potência elétrica reativa, e, para cada transdutor, um circuito de acondicionamento de sinais. O princípio de funcionamento de cada um desses transdutores já foi discutido no capítulo 3.

A unidade de aquisição de dados é composto por uma placa de aquisição de dados multifunção do tipo PCLAB-CARD, modelo PCL-718 da ADVANTECH COMPANY Ltd, que é controlado pelo microcomputador.

A unidade de processamento de dados é composto por um microcomputador do tipo IBM PC 386DX ou compatível.

Nesse capítulo será apresentada a estrutura do hardware da unidade de aquisição de dados (4.1.) e os circuitos de acondicionamento de sinais (4.2.).

#### 4.1. Unidade de aquisição de dados.

A unidade de aquisição de dados controlada por microcomputador utilizada neste trabalho é composto por uma placa de aquisição de dados PC-Labcard modelo PCL-718 da Adventech Company Ltda, mostrada na figura 4.2.

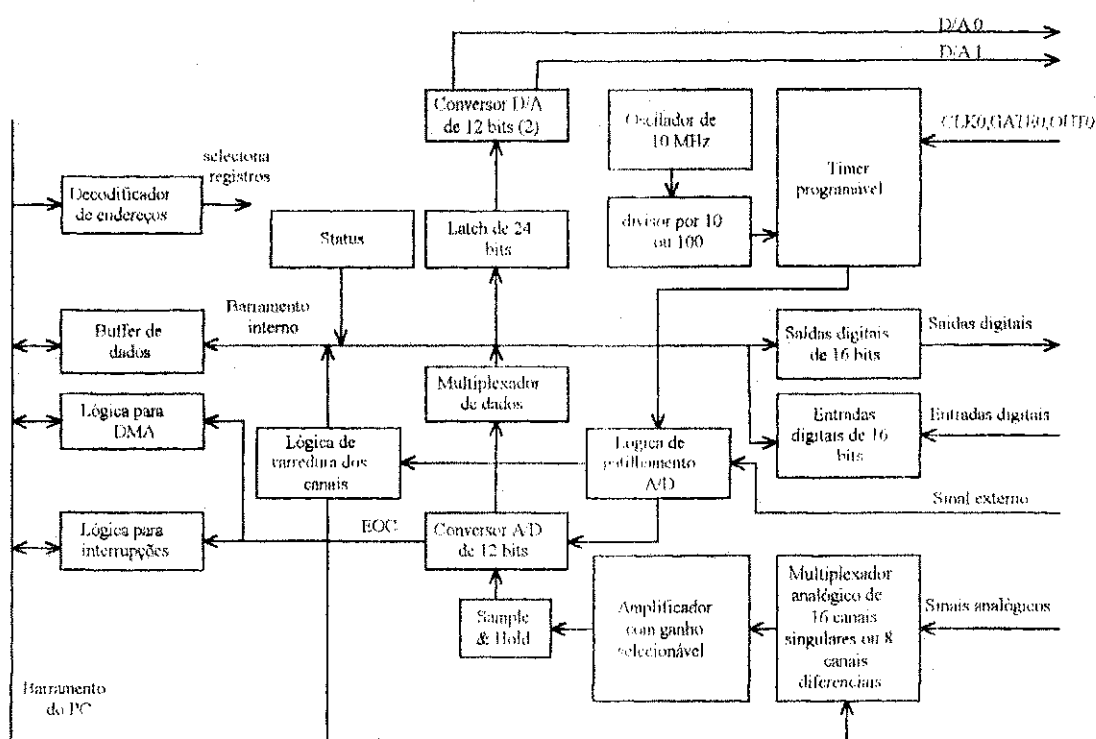


Figura 4.2. O diagrama de blocos da placa de aquisição de dados, utilizada neste trabalho.

A parte, responsável pela conversão analógica-digital, é composto por um multiplexador analógico de 8 canais diferenciais, seguido por um amplificador de ganho programável, um conversor A/D por aproximação sucessiva de 12 bits

com circuito sample-hold no mesmo chip e circuitos lógicos programáveis de gatilhamento e varredura de canais.

A saída do conversor A/D está conectada a um multiplexador digital de 8 bits, qual, por sua vez, está conectado a dois registros de dados, cada de 8 bits, com os seus formato mostrado na tabela A2.3.

As conversões analógicas-digital podem ser gatilhadas em qualquer uma das três maneiras: por software, por um sinal gerado na placa ou por um sinal gerado externamente. O gatilho por software é controlado pelo programa aplicativo através de um comando de software. O gatilho por um sinal gerado na placa utiliza um temporizador programável, configurado como um "marca-passo" que fornece os pulsos de gatilho para o conversor A/D com um período preciso. Por último, o gatilho por um sinal gerado externamente é controlado por uma porta lógica na placa.

Existem três maneiras em que a placa de aquisição realiza uma transferência do resultado da conversão A/D para memória: pelo controle do programa, por uma rotina de interrupção ou por acesso direto a memória (DMA).

A transferência de dados pelo controle do programa utiliza o conceito de "interrogação" (polling). Depois que o conversor A/D é gatilhado, o programa aplicativo checa o bit EOC (End Of Conversion; fim da conversão) do registro do estado da conversão A/D. Se o EOC for detectado, os dados convertidos são transferidos dos registros internos do conversor A/D para a memória do microcomputador pelo controle do programa aplicativo.

Na transferência por uma rotina de interrupção, os dados são transferidos dos registros do conversor A/D para um segmento de memória anteriormente definido pelo gerenciador da rotina de interrupção. No final de cada conversão, o sinal EOC gera uma interrupção que habilita a rotina de gerenciamento de interrupção a realizar a transferência. Os bits de controle de interrupção e os bits

de seleção do nível de interrupção devem ser especificados antes da utilização da rotina de interrupção.

A transferência por acesso direto à memória (DMA) move os dados da conversão A/D da placa de aquisição de dados para a memória do microcomputador sem a operação do processador central do sistema. Essa técnica é muito útil em transferências de dados de alta velocidade, mas é complicada para operar. O canal de DMA, através de uma chave de seleção na placa, e o bit de habilitação do DMA no registro de controle, como os registros do controlador de DMA no microcomputador devem ser configurados adequadamente antes da operação de DMA.

Neste trabalho, para as conversões analógicas-digital são utilizadas a técnica de gatilho controlado por software com transferência de dados controlado pelo programa, onde o período de amostragem é controlado por dois métodos: tempo de serviço (veja capítulo 5) e por um sinal de interrupção, gerado pela placa, com periodicidade programável.

#### **4.2. Circuitos de transdução e de acondicionamento de sinais.**

No hardware do sistema de monitoração, desenvolvido neste trabalho, os circuitos de transdução e de acondicionamento de sinais são mostrados nas figuras 4.3 a 4.5.

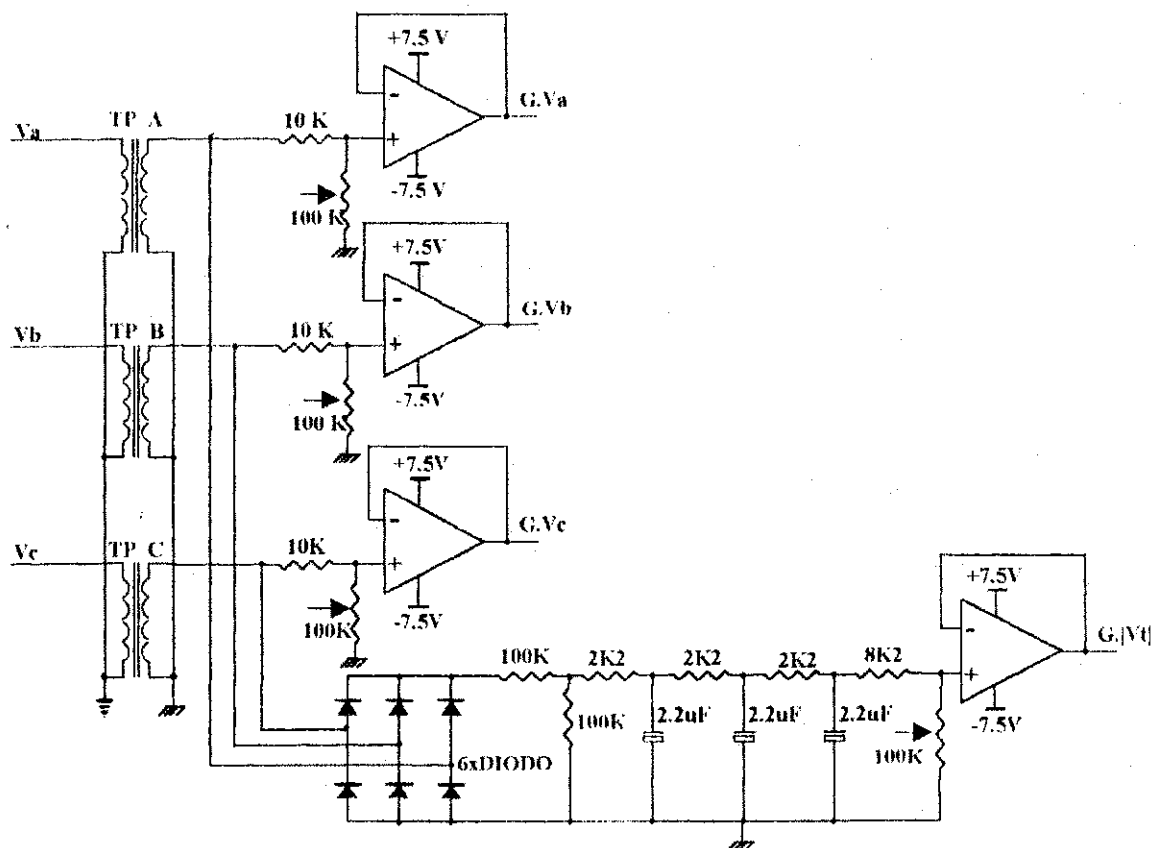


Figura 4.3. Circuitos de transdução e acondicionamento para a tensão fase-neutro e do módulo da tensão trifásica.

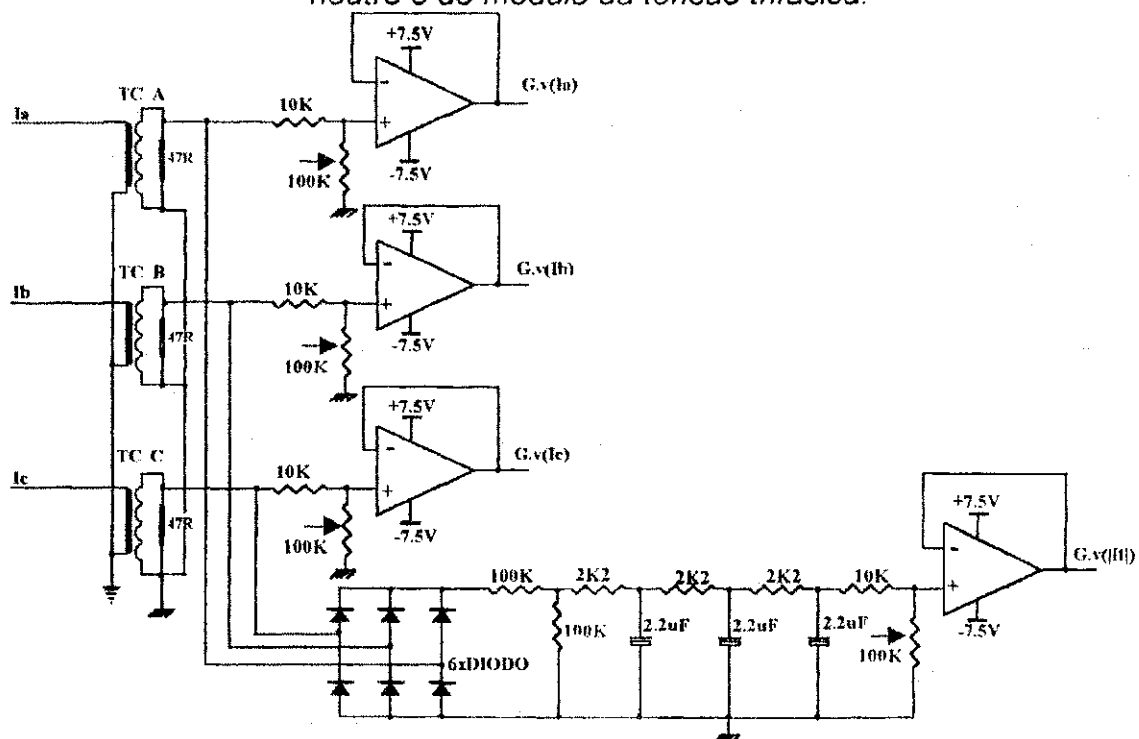
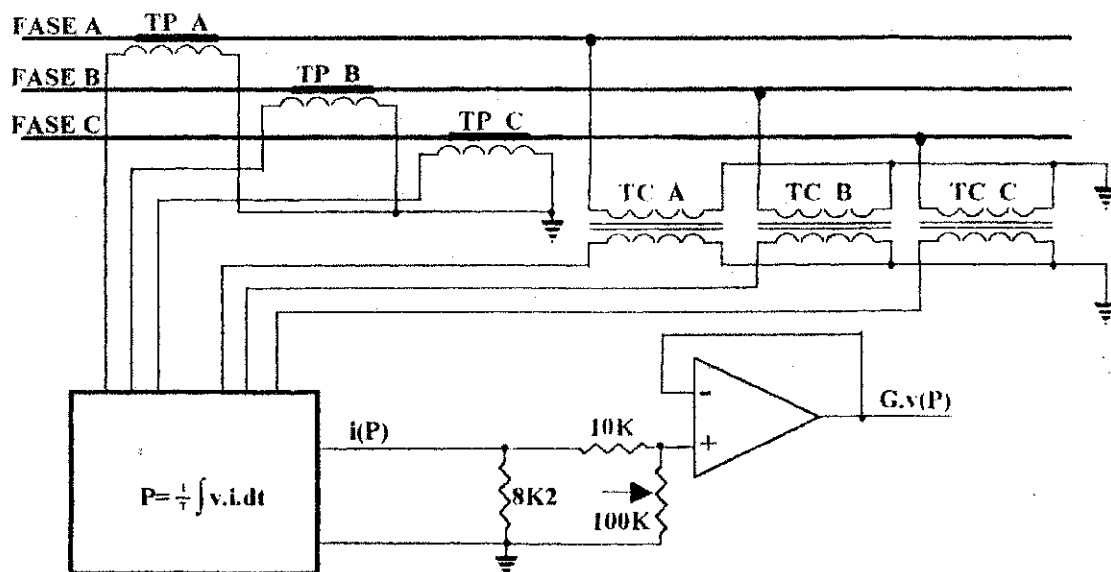
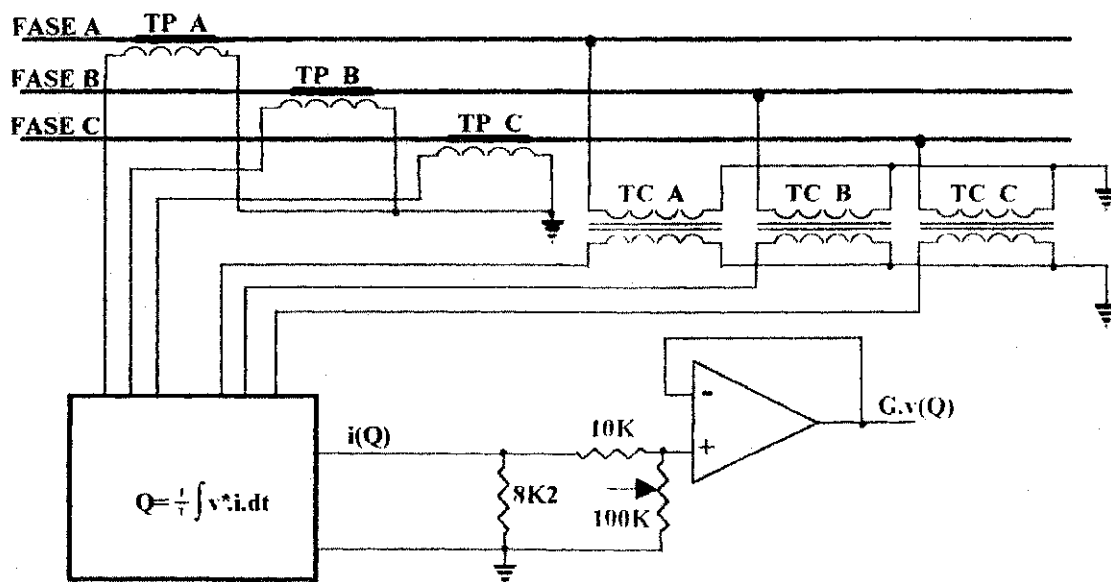


Figura 4.4. Circuitos de transdução e acondicionamento para a corrente de fase e do módulo da corrente trifásica.



TRANSDUTOR DE  
POTÊNCIA ATIVA

Figura 4.5. Circuito de transdução e acondicionamento para a potência elétrica ativa trifásica.



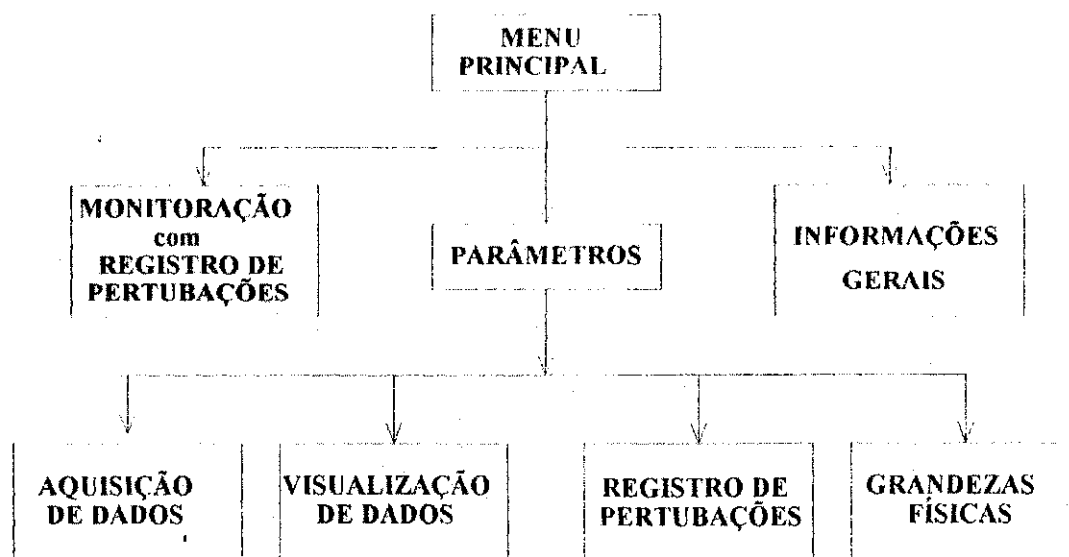
TRANSDUTOR DE  
POTÊNCIA REATIVA

Figura 4.6. Circuito de transdução e acondicionamento para a potência elétrica reativa trifásica.

## CAPÍTULO 5

## DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DE SOFTWARE DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO

O diagrama de blocos da estrutura do software do sistema de monitoração é mostrado na figura 5.1.



**Figura 5.1.** Diagrama de blocos da estrutura do software do sistema de monitoração, utilizado neste trabalho.

Pode-se observar, que a monitoração com o registro de perturbações em tempo real, propriamente dita, é realizada pelo bloco funcional *Monitoração com Registro de perturbações*, cujos parâmetros podem ser modificados, antes ou durante o funcionamento do sistema de potência no bloco *Parâmetros*.

O bloco *Informações gerais* é fornecida informações resumidas sobre a configuração do sistema de monitoração.

### 5.1. Rotina da monitoração com registro de perturbações.

A figura 5.2. mostra o diagrama de blocos da estrutura do rotina da monitoração com registro de perturbações; ela foi implementada em linguagem C para o sistema operacional DOS.(Disk Operational System-Sistema Operacional para Disco).

As rotinas deste programa executam tarefas de monitoração do sistema elétrico em tempo real e verificação da ocorrência de perturbações. No ciclo de monitoração e registro de perturbações é desenvolvido um algoritmo para a execução da lógica de gatilho do registro de perturbações. Esse algoritmo efetua as seguinte tarefas:

- a. verificação do tipo de evento a ser registrado.
- b. armazenamento dos dados de cada grandeza medida em endereços de memória, anteriormente definidos.
- c. execução, da lógica de gatilho, que envolve a aquisição de dados anteriores e posteriores à perturbação.
- d. gravação dos dados do registro de perturbações em arquivo.

O armazenamento no *buffer* dos dados referentes às grandezas medidas anteriores ao instante da perturbação é feito de forma circular, enquanto os dados referentes às grandezas medidas, posteriores ao instante da perturbação é feito de forma sequencial, conforme mostra a figura 5.3.

Observe-se que o programa de monitoração com registro de perturbações aloca dois blocos de memória diferentes para os buffers, cujo tamanho (**pre\_N**, **pos\_N**) depende do número de grandezas medidas e os períodos de gravação, definidos pelo operador: um para armazenar os dados anteriores à ocorrência da perturbação (**pré\_buf**), e outro para armazenar os dados posteriores à ocorrência da perturbação (**pos\_buf**).



No armazenamento dos dados anteriores ao momento da perturbação, tem-se o armazenamento da forma circular, ou seja, dados novos estão sendo gravados

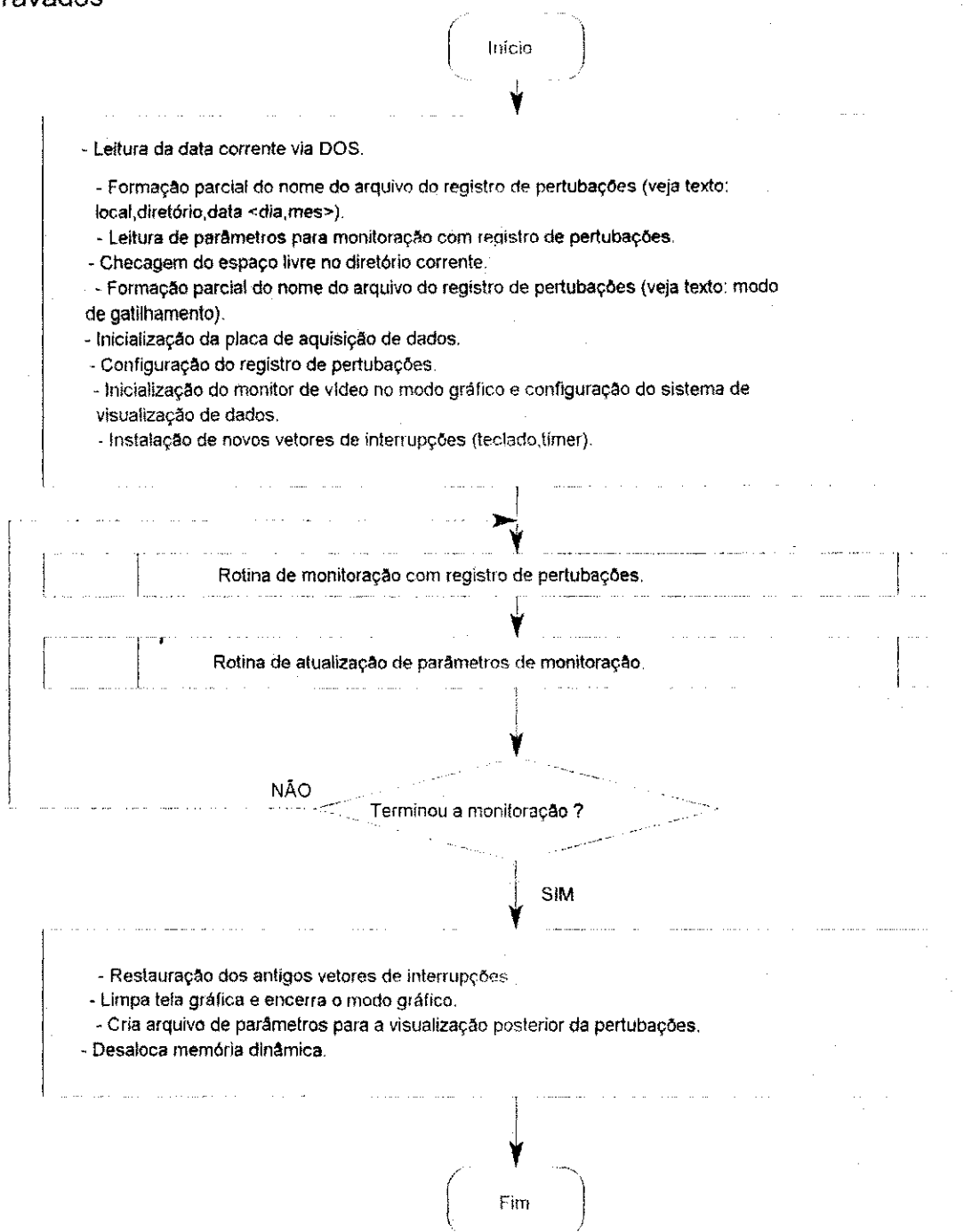
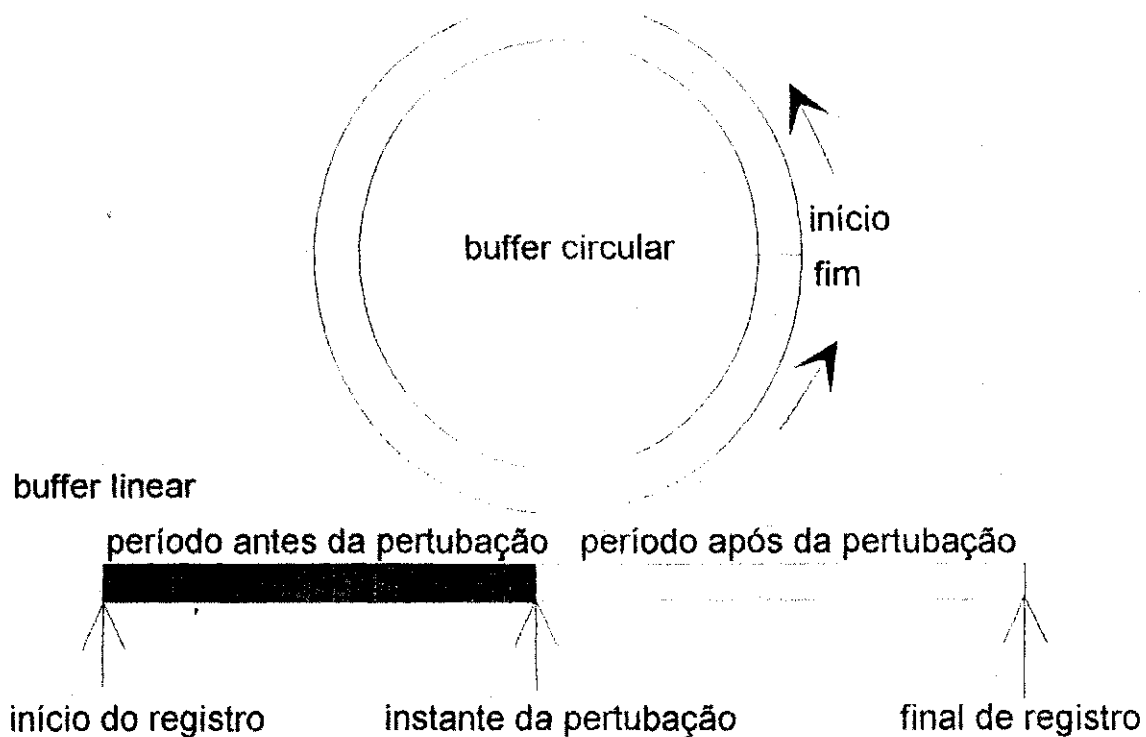


Figura 5.2. Fluxograma do programa de monitoração com registro de perturbações.

de modo a sobrepor dados antigos. No momento em que ocorre uma perturbação, é gravado um ponteiro, **pre\_ptr**, com o número do amostra referente ao momento da perturbação e os dados posteriores ao momento da perturbação são gravados no buffer **pos\_buf**.



**Figura 5.3.** Característica dos buffers para armazenamento dos dados do registro de perturbações.

Quando os dados são armazenados em arquivo, é realizada a seguinte ordem de gravação (veja figura 5.4.):

pre_ptr	pre_N	pos_N
0000	canal[0000]	valor[0000]
0001	canal[0001]	valor[0001]
⋮	⋮	⋮
pre_ptr	canal[pre_ptr]	valor[pre_ptr]
⋮	⋮	⋮
pre_N+pos_N-1	canal[pre_N+pos_N-1]	valor[pre_N+pos_N-1]

**Figura 5.4.** Organização do arquivo do registro de perturbações.

Primeiramente, é armazenado um cabeçalho com informações necessárias para a reconstrução posterior da perturbação. Esse cabeçalho contém o valor do ponteiro **pre\_ptr**, referente ao momento de perturbação, o tamanho, em número de amostras, do buffer **pre\_buf**, e o tamanho, em número de amostras, do buffer **pos\_buf**.

Depois são armazenados os dados referentes aos períodos da perturbação, da mesma ordem como gravados na memória. O valor de um contador de amostras é adicionado para orientar a recuperação dos dados posteriormente. Esse procedimento garante que nenhum dados seja perdido ou repetido e requer pouco tempo para ser executado.

### 5.1.1. Transformação de valores.

A equação de transformação do valor binário do sinal, adquirido pelo conversor *A/D*, no valor real da grandeza correspondente deve conter todas as variáveis envolvidas, ou seja

$$X_{real} = f(n, v, k, X_0, X_f, R) \quad (5.1.)$$

onde  $X_{real}$  é o valor da grandeza no sistema de escala real,  $X_0$  é valor da grandeza correspondente à corrente nula na saída do transdutor,  $X_f$  é o valor

da grandeza correspondente a uma corrente específica  $I_f$ , na saída do transdutor,  $n$  é o número decimal equivalente à palavra binária na saída do conversor A/D, para qualquer valor da grandeza de entrada, a qual varia entre 0 e  $2^N - 1$ , sendo  $N$  o número de bits do conversor A/D,  $V_s$  é a tensão correspondente ao limite inferior da faixa de variação da grandeza real, e  $k$  é o ganho do amplificador.

Para o sistema de monitoração, temos

$$i = \frac{V}{R} \quad (\text{em mA}) \quad (5.2.)$$

$$V_1 = V - V_s \quad (5.3.)$$

$$k \cdot V_1 = n \cdot a \Rightarrow V_1 = \frac{n \cdot a}{k} \quad (5.4.)$$

onde  $a$  é a resolução do conversor A/D, ou seja,  $a = \frac{V_f}{2^N}$ , sendo  $V_f$  a tensão do fundo de escala do conversor A/D. Pode-se observar pela figura 5.5. que

$$X_{real} = X_0 + \frac{(X_f - X_0)}{(I_f - 0)} \cdot i \quad (5.5.)$$

Das equações (5.2.), (5.3.) e (5.4.), pode-se expressar o valor de  $i$  por

$$i = \frac{1}{R} \cdot \left( V_s + \frac{n \cdot a}{k} \right) = \frac{V_s}{R} + \frac{n \cdot V_f}{R \cdot k \cdot 2^N} \quad (5.6.)$$

então, substituindo a equação (5.6.) na equação (5.5.), obtém-se

$$X_{real} = X_0 + \frac{1}{R} \cdot \left( V_s + \frac{n \cdot V_f}{k \cdot 2^N} \right) \cdot \left( \frac{X_f - X_0}{I_f} \right) \quad (5.7.)$$

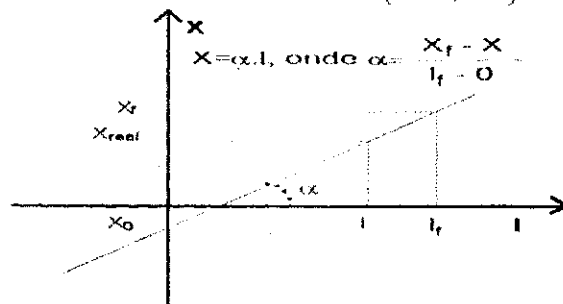


Figura 5.5. O valor real de uma grandeza física, em função da saída do transdutor.

A equação que efetua a transformação do valor real da grandeza elétrica no valor binário da saída do A/D, deve conter as seguintes variáveis envolvidas:

$$Z = f(V, V_{min}, V_{max}, Z_{max}) \quad (5.8.)$$

onde  $Z$  é o valor decimal da saída do conversor A/D, o qual varia entre 0 e  $2^N - 1$ , sendo  $N$  o número de bits do conversor A/D,  $V$  é o valor real da grandeza,  $V_{min}$  é o valor correspondente ao limite inferior da faixa de variação da grandeza,  $V_{max}$  é o valor correspondente ao limite superior da faixa de variação da grandeza, e,  $Z_{max}$  é o número decimal equivalente a  $2^N - 1$ . Pela figura 5.6., obtém-se

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{V - V_{min}} = \frac{Z_{max}}{Z} \Leftrightarrow Z = \frac{(V - V_{min}) \cdot Z_{max}}{V_{max} - V_{min}} \quad (5.9.)$$

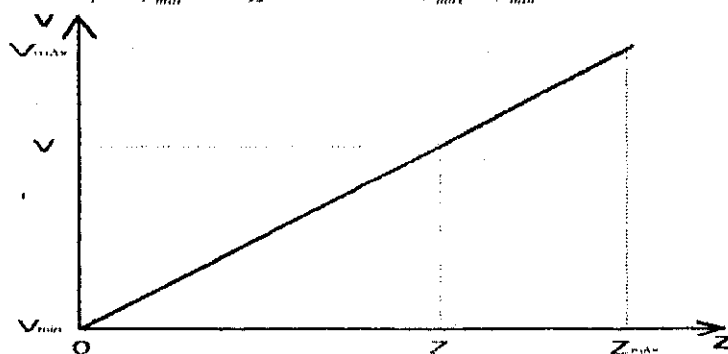


Figura 5.6. Relação entre a variação do valor real da grandeza e do número decimal, na saída do conversor A/D, que varia entre 0 e  $2^N$ .

### 5.1.2. Definição do modo de gatilhamento para o registro de perturbações.

A utilização de uma lógica de gatilhamento para registrar sinais elétricos faz-se necessária quando são realizadas medições pela primeira vez no sistema elétrico para estudos de avaliação do desempenho da dinâmica deste. Neste caso, são colocados parâmetros de gatilhamento para se observar se o sinal representa uma perturbação ou ruído comum no sistema.

Neste trabalho foram definidas dois modos de gatilhamento para acionar o registro de perturbações, selecionáveis por software.

No primeiro tipo, o registro de perturbações é acionado manualmente, pressionando uma tecla especial. Esse modo pode ser utilizado para investigar o desempenho do sistema elétrico operando em regime permanente. Para esse modo, a lógica de gatilhamento do registro é definido como o seguinte: são registrados todos os sinais que são selecionados para serem monitorados.

No segundo tipo, um algoritmo de investigação de perturbações aciona o registro. Esse modo é ideal para investigar o desempenho do sistema elétrico em regime transitório. Para esse modo, a lógica de gatilhamento é definido como seguinte: quando os sinais, selecionados para esta investigação, tem uma taxa de variação fora da faixa especificada, o registro começa a registrar os sinais que são selecionados para serem monitorados.

### **5.1.3. Armazenamento dos dados adquiridos pelo registro de perturbações.**

Um algoritmo dentro da rotina de monitoração com registro de perturbações é responsável pelo armazenamento em arquivos dos dados adquiridos pelo registro. Os parâmetros do sistema que são gravados em arquivo, juntamente com os dados referentes às grandezas medida são:

- . O ponteiro, referente ao momento da perturbação.
- . O tamanho dos buffers, em número de amostras.

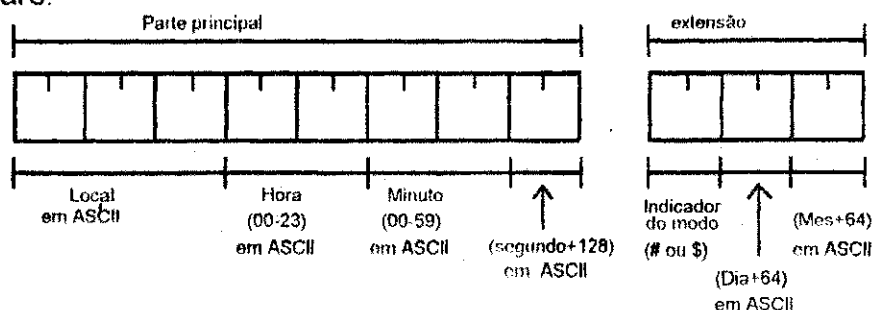
A definição do registro da data e hora ocorre através de um comando de chamada ao BIOS no momento do registro da perturbação ou do sinal. Após dessa chamada, a data e a hora são temporariamente armazenadas em variáveis para formação do nome do arquivo, sendo posteriormente gravadas no arquivo juntamente com os demais parâmetros. Na composição do nome do

arquivo, onde são armazenados os parâmetros do sistema e os dados adquiridos pelo registro de perturbações, tem-se informações sobre:

- Local de aquisição de dados do sistema.
- Data e hora do momento da perturbação.
- Modo de gatilhamento do registro de perturbação.

A figura 5.7. mostra como o nome do arquivo é composto por 8 caracteres alfanuméricos na sua parte principal e 3 caracteres na sua extensão.

A parte da extensão do nome do arquivo, o símbolo "#" indica que o arquivo contém dados dos eventos, obtidos pelo gatilhamento manual. O símbolo "\$" é utilizado para indicar que os dados dos eventos são obtidos pelo gatilhamento por software.



**Figura 5.7.** Composição do nome do arquivo de dados.

## 5.2. Definição dos parâmetros para aquisição de dados.

Na rotina de definição dos parâmetros para a aquisição de dados tem-se as seguintes funções realizadas:

- Definição do endereçamento das portas E/S da placa de aquisição de dados. Neste trabalho, a faixa de endereçamento é mantida entre 300 (hexa) e 30F (hexa) (veja apendice 2).
- Configuração dos registros internos da placa de aquisição de dados. (veja apendice 2).

- Definição da estrutura de memória do microcomputador para armazenar as grandezas medidas.
- Definição do período de amostragem, da fonte de gatilho para a conversão A/D e do tipo de transferência de dados. O período de amostragem por canal é definido como  $T_s = T_s' \cdot N$ , onde  $T_s'$  é o período de amostragem do timer da placa de aquisição e  $N$  é o número de sinais a serem monitorados.
- Definição da estrutura de interrupções do microcomputador e a instalação da rotina gerenciadora de interrupções.
- Determinação do número de sinais a serem monitorados.



### 5.3. Definição dos parâmetros para o registro de perturbações.

Na rotina de definição dos parâmetros para o registro de perturbações, tem-se as seguintes funções realizadas:

- . Determinação do modo e da lógica do gatilhamento.
- . Determinação dos tempos do registro, relacionados aos eventos anteriores e posteriores do momento da perturbação.
- . Conversão desses tempos em termos de números de amostras, utilizando-se as equações:

$$N_{pre} = \frac{T_{pre}}{T_s} \quad (5.10.)$$

$$N_{pos} = \frac{T_{pos}}{T_s} \quad (5.11.)$$

### 5.4. Definição dos parâmetros para a visualização dos sinais em tempo real.

A rotina de definição dos parâmetros para a visualização dos sinais em tempo real realiza as seguintes funções:

- . Determinação dos sinais monitorados a serem visualizados. O sistema de monitoração pode visualizar até quatro sinais simultaneamente
- . Checagem dos parâmetros do monitor de vídeo, como o tipo de adaptador gráfico, o modo gráfico e a resolução.
- . Determinação da memória RAM de trabalho e da memória RAM do vídeo (páginas de vídeo).

### 5.5. Informações gerais.

A rotina de informações gerais fornece um resumo da configuração do sistema de monitoração com registro de perturbações. As informações contidas são:

. Status da aquisição de dados:

- Indica se a placa de aquisição de dados (PCL-718) já ou ainda não foi inicializada.
- Indica o tipo de conexão dos sinais para a conversão A/D: singular ou diferencial.
- Indica se a geração de interrupção foi habilitada e qual o nível de interrupção selecionado.
- Indica se a transferência de dados por DMA foi habilitada e qual o canal do controlador de DMA do microcomputador selecionado.
- Indica a taxa de amostragem por canal e a frequência do sinal de gatilho A/D.

. Status da visualização de sinais em tempo real:

- Indica se a visualização de dados em tempo real foi habilitada.
- Indica o tipo de monitor de vídeo, o modo gráfico, resolução.

. Status do registro de perturbações:

- Indica se o registro de perturbações foi habilitado.
- Indica os tempos de registro.
- Indica o modo de gatilho e a expressão da lógica de gatilho.
- Indica o número de perturbações correntemente registrado.

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS

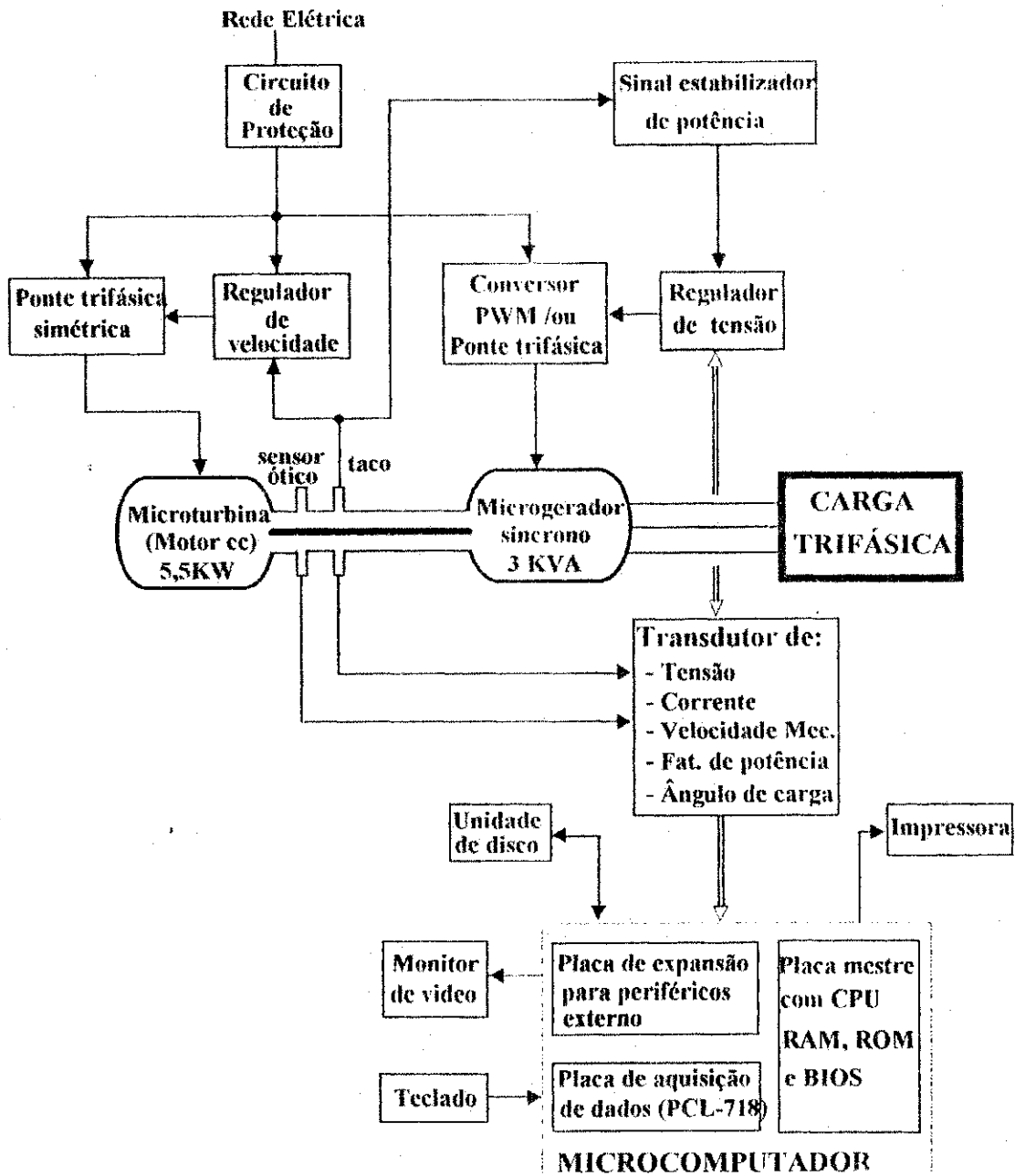
Para validação do trabalho proposto, foram realizados alguns testes de laboratório. Os testes consistem na comparação da medição dos sinais gerados pelo modelo reduzido, em desenvolvimento no LPSSP (Laboratório de Proteção e Simulação de Sistemas de Potência) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba, com os instrumentos de laboratórios convencionais, para a verificação do funcionamento do sistema de monitoração. Este capítulo apresenta a estrutura utilizada para estes testes.

#### 6.1. Modelo experimental para testar o sistema de monitoração

A figura 6.1 mostra o modelo reduzido de um sistema de potência, que é utilizado para testar o desempenho do sistema de monitoração. Neste modelo foram monitorados os seguintes sinais elétricos:

- Tensão entre as fases do terminal do microgerador ( $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  e  $V_{ca}$ )
- Módulo da tensão trifásica.  $|V_t|$
- Corrente de fase-neutro no terminal do microgerador ( $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$ )
- Potência ativa e reativa no terminal do microgerador.

O sinais foram observados com sistema elétrico operando em vazio e com uma carga resistiva e indutiva. Como carga indutiva foi utilizado um motor de indução, cujas características técnicas pode ser encontrado na referência [ROSALES,em publicação].



◀ Sistema de Monitoração com Registro Automático de Perturbações ▶

**Figura 6.1.** Diagrama de blocos do modelo experimental utilizado no teste do sistema de monitoração.

A tabela 6.1 mostra as condições de operação do sistema elétrico em vazio (sem carga). A tabela 6.2 mostra as condições de operação quando o sistema está com uma carga resistiva. E a tabela 6.3 mostra as condições de operação

quando o sistema está com uma carga indutiva. Durante essas três condições de operação o sistema está operando em regime permanente.

<b>Tensão entre fase do microgerador (Vab)</b>	220 Vac
<b>Tensão entre fase do microgerador (Vbc)</b>	220 Vac
<b>Tensão entre fase do microgerador (Vca)</b>	220 Vac
<b>Tensão de armadura da microturbina (motor CC)</b>	260 Vcc
<b>Corrente de armadura da microturbina (motor CC)</b>	4.6 Acc
<b>Tensão de campo da microturbina (motor CC)</b>	38.0Vcc
<b>Corrente de campo do microgerador</b>	1.8 Acc
<b>Tensão de campo do microgerador</b>	7.5 Acc
<b>Frequência no terminal do gerador</b>	60.5 Hz

*Tabela 6.1. Condições de operações do sistema elétrico em vazio.*

<b>Tensão de fase no terminal (Va)</b>	220 Vac
<b>Tensão de fase no terminal (Vb)</b>	220 Vac
<b>Tensão de fase no terminal (Vc)</b>	220 Vac
<b>Tensão de armadura da microturbina (motor CC)</b>	260 Vcc
<b>Corrente de armadura da microturbina (motor CC)</b>	4.6 Acc
<b>Tensão de campo da microturbina (motor CC)</b>	38.0Vcc
<b>Corrente de campo do microgerador</b>	1.8 Acc
<b>Tensão de campo do microgerador</b>	7.5 Vcc
<b>Frequência no terminal do gerador</b>	59.5 Hz
<b>Potência nominal da carga</b>	1.5 KW

*Tabela 6.2. Condições de operação do sistema elétrico com carga resistiva.*

<b>Tensão de fase no terminal (Va)</b>	220 Vac
<b>Tensão de fase no terminal (Vb)</b>	220 Vac
<b>Tensão de fase no terminal (Vc)</b>	220 Vac
<b>Tensão de armadura da microturbina (motor CC)</b>	260 Vcc
<b>Corrente de armadura da microturbina (motor CC)</b>	4.6 Acc
<b>Tensão de campo da microturbina (motor CC)</b>	38.0 Vcc
<b>Corrente de campo do microgerador</b>	1.8 Acc
<b>Tensão de campo do microgerador</b>	7.5 Vcc
<b>Frequência no terminal do gerador</b>	60.0 Hz

*Tabela 6.3. Condições de operação do sistema elétrico com carga indutiva.*

As figuras 6.1. a 6.3. mostram três sinais monitorados, visualizados pelo sistema de monitoração (na tela do microcomputador). Nesse caso, o sistema O

período entre duas amostragens do sistema de monitoração, incluindo a visualização do sinal, foi estabelecido em  $100\mu\text{s}$ . O programa gasta para plotar um ponto na tela do computador está na ordem de  $64\mu\text{s}$ . O número de sinais monitorados simultaneamente foi de um a 12, seleccionável por software. Com esse sistema pode visualizar até quatro sinais simultaneamente, também seleccionável por software.

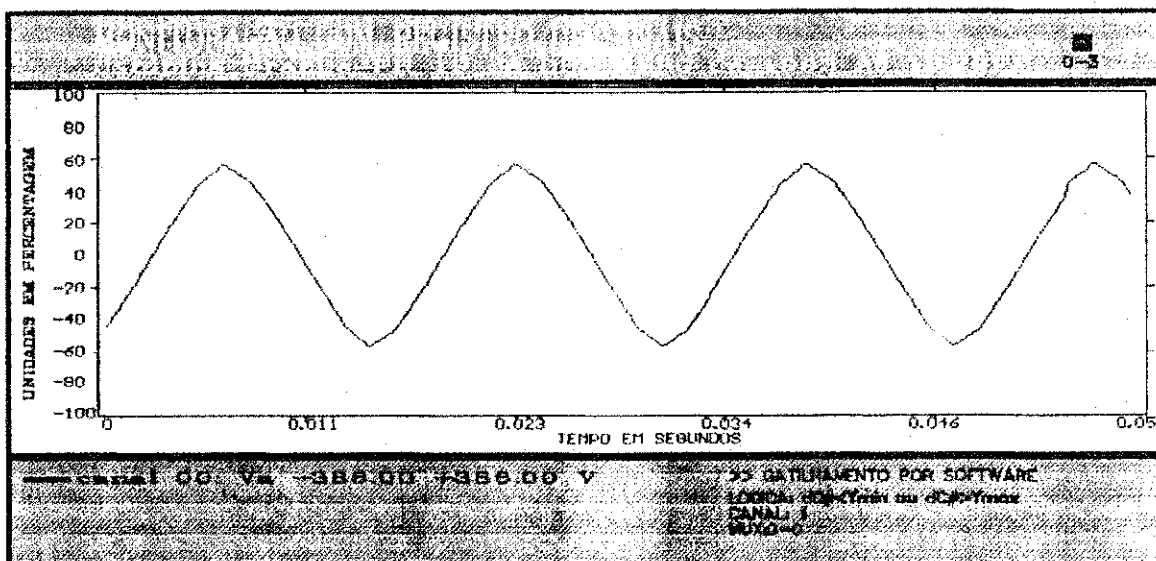


Figura 6.2. Forma de onda da tensão fase-neutro  $V_a$ , quando o sistema está operando em vazio.

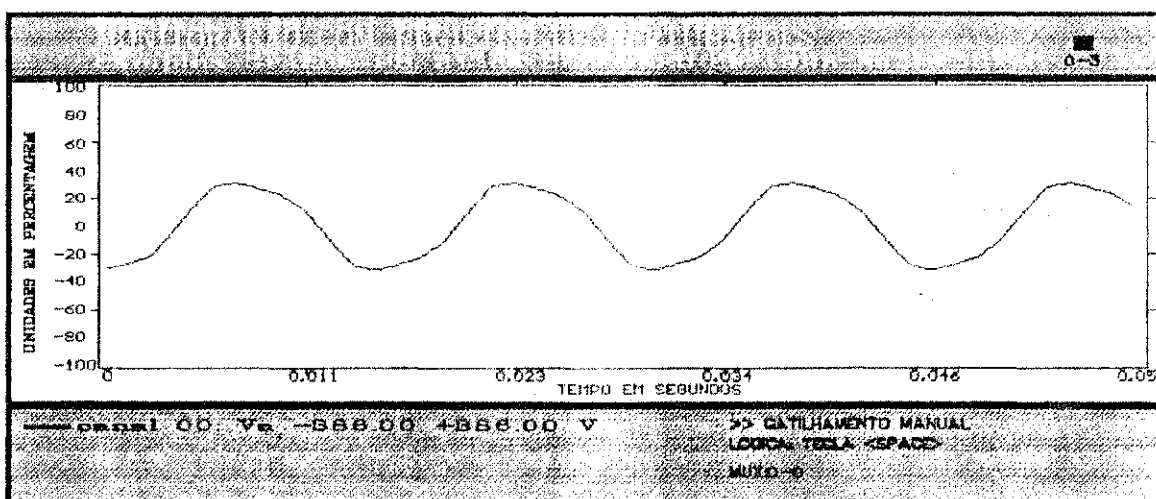


Figura 6.3. Forma de onda da tensão fase-neutro  $V_a$ , quando o sistema está operando com carga resistiva.

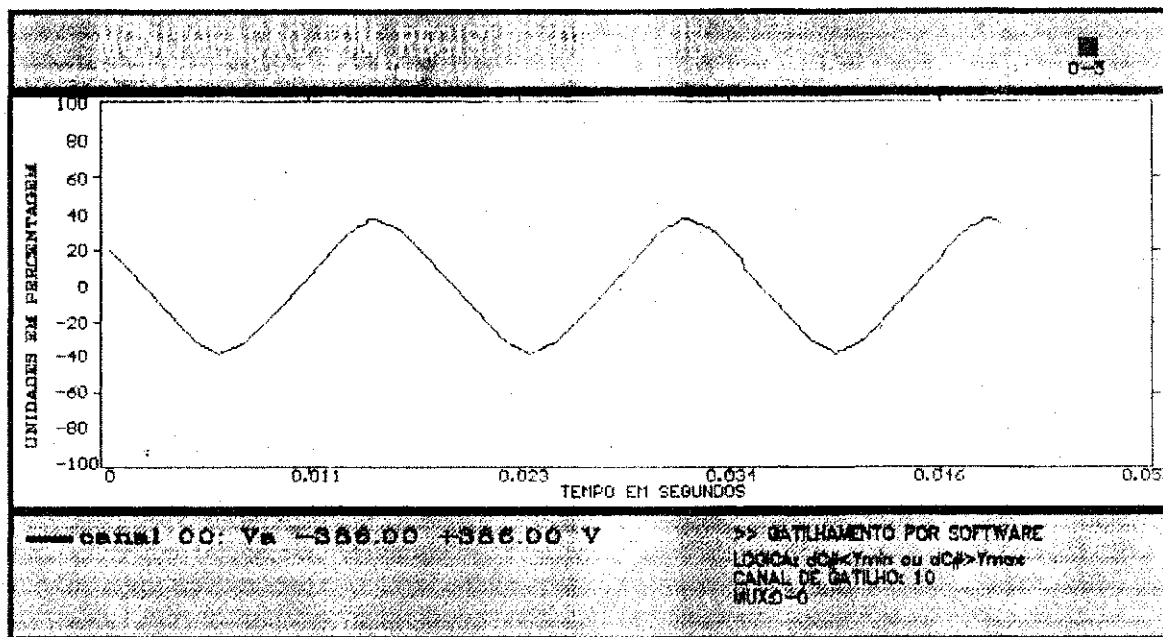


Figura 6.4. Forma de onda da tensão fase-neutro  $V_a$ , quando o sistema está operando com carga indutiva (motor de indução).

## CONCLUSÃO

Os objetivos iniciais deste trabalho foram alcançadas. Foram realizados testes para validação do sistema de monitoração com registro de perturbações proposto, para dois modos de gatilhamento (manual e por software). Os sinais visualizados na tela do microcomputador foram comparados com os sinais visualizados por um osciloscópio digital para três condições de operação do sistema elétrico: em vazio, com carga resistiva e com carga indutiva.

Para a realização destes testes foram feitos alguns circuitos de acondicionamento e isolamento, colocados entre o sistema elétrico de potência e o microcomputador. O programa de software do sistema de monitoração ficou residente no microcomputador.

A definição de algumas teclas no programa de software especiais possibilitou a visualização dos sinais monitorados de uma forma bastante flexível.

### **Sugestões para futuros trabalhos:**

Visto que os sistemas de monitoração são ferramentas, cada vez mais indispensáveis, na investigação do desempenho dinâmico de qualquer sistema, são sugeridas várias sugestões para trabalhos, que possam melhorar o sistema proposto neste trabalho. As melhorias podem ser tanto ao nível de software como ao nível de hardware.

#### **Trabalhos de continuação:**

##### *- Software:*

1. Continuação do programa de monitoração, a fim para implementar o modo de transferência por DMA (Direct Memory Access-Acesso Direto à Memória) para melhorar o desempenho dos controladores digitais para o sistema elétrico.



2. Implementação de um programa multitarefa em tempo real entre a monitoração, controle discreta e análise de dados.

- *Hardware:*

1. Sistema multiprocessador, envolvendo um ou mais DSPs (Digital Signal Processors-Processadores de sinais digitais) para controle, proteção e monitoração.

2. Circuito simulador de falta programável.

**Outros trabalhos:**

- *Software:*

1. Implementação de programas de estimação de parâmetros em tempo real.

2. Implementação de um sistema especialista para a avaliação do desempenho e estabilidade do sistema elétrico.

- *Hardware:*

Implementação de circuitos de proteção digital controlado por computador.

## APÊNDICE 1

### MAPA DE ENDEREÇAMENTO DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO

O mapa de endereço de memória, utilizado pelo sistema de monitoração, é mostrado na tabela A1.1. O mapa de endereço das portas de entrada/saída é dado na tabela A1.2.

Faixa de endereços	Tamanho em Kbytes	Descrição
000000-07FFFF	512	memória do sistema (banco 1)
080000-09FFFF	128	memória do sistema (banco 2)
0AFFFF-0BFFFF	128	memória de vídeo
0C0000-0DFFFF	128	reservado
0E0000-0EFFFF	64	imagem do BIOS
0F0000-0FFFFFFF	64	memória do BIOS
100000-15FFFF	384	memória estendida
160000-FDFFFF	14870	memória RAM estendida
FE0000-FEFFFF	64	BIOS utilizado pelo sistema
FF0000-FFFFFF	64	BIOS

**Tabela A1.1.** Mapa de endereço da memória de dados, utilizado pelo sistema de monitoração.

Faixa de endereço da porta	Dispositivo
000-01F	Controlador de DMA #1 (8237A)
020-03F	Controlador de interrupções #1 (8259A)
040-05F	Timer programável (8254A)
060-06F	Controlador de teclado (8042)
070-07F	Relógio de tempo real, máscara NMI (non-maskable interrupt; interrupção não-mascarável)
080-09F	Registro de página do DMA (74LS612)
0A0-0BF	Controlador de interrupções #2 (8259A)
0C0-0DF	Controlador de DMA #2 (8237A)
0F0-0FF	Coprocessador aritmético (80x87) (não utilizado)
1F0-1F8	Controlador do disco rígido
200-277	Adaptador de jogos (não utilizado)
278-27F	Porta paralela para impressora #2 (LPT2) (não utilizado)
2F8-2FF	Porta serial #2 (COM2) (não utilizado)
300-30F	Placa de aquisição de dados (PCL-718) (veja apêndice 2)

31F-36F	Não utilizado
378-37F	Porta paralela para impressora (LPT1)
380-3AF	Controladores para a comunicação bisínclona (SDLC)
3B0-3BF	Adaptador do monitor monocromático
3C0-3CF	Não utilizado
3D0-3DF	Adaptador do monitor colorido/gráfico
3F0-3F7	Controlador do disco flexível
3F8-3FF	Porta serial #1 (COM1) (não utilizado)

**TabelaA1. 2.** Mapa de endereço das portas de entrada/saída.

## APÊNDICE 2

## REGISTROS INTERNOS DA PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O mapa de endereço das portas de entrada/saída da placa de aquisição de dados PCL-718 é mostrado na tabela A2.1. O formato dos seus registros internos é mostradas nas tabelas A2.2. a A2.11

Porta (hexa)	Leitura	Escrita
300	Registro de dados do conversor A/D LSB (RDATA-LSB)	gatilho por software (STRIG)
301	Registro de dados do conversor A/D MSB (RDATA-MSB)	não acessível
302	Registro do multiplexador (RMUX)	Registro do multiplexador (RMUX)
303	Registro de dados digitais LSB (RDIG-LSB)	Registro de dados digitais LSB (RDIG-LSB)
304	não acessível	Registro de dados do conversor D/A #0 LSB (RDA0-LSB)
305	não acessível	Registro de dados do conversor D/A #0 MSB (RDA0-MSB)
306	não acessível	Registro de dados do conversor D/A #1 LSB (RDA1-LSB)
307	não acessível	Registro de dados do conversor D/A #1 MSB (RDA1-MSB)
308	Registro de status do conversor A/D (RSTATAD)	limpa byte de solicitação de interrupções (CLRQ)
309	Registro de controle da placa (RCTRL)	Registro de controle da placa (RCTRL)
30A	não acessível	Registro de habilitação do timer (RTE)

30B	Registro de dados digitais MSB (RDIG-MSB)	Registro de dados digitais MSB (RDIG-MSB)
30C	Registro de dados do timer-contador #0 (RTIM-0)	Registro de dados do timer-contador #0 (RTIM-0)
30D	Registro de dados do timer-contador #1 (RTIM-1)	Registro de dados do timer-contador #1 (RTIM-1)
30E	Registro de dados do timer-contador #2 (RTIM-2)	Registro de dados do timer-contador #2 (RTIM-2)
30F	não acessível.	Registro de controle do timer (RTIM-CTRL)

**Tabela A2.1.** Mapa de endereçamento das portas de E/S da placa de aquisição de dados PCL-718.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RDATAD-LSB	AD3	AD2	AD1	AD0	C3	C2	C1	C0
RDATAD-MSB	AD11	AD10	AD9	AD8	AD7	AD6	AD5	AD4

**Tabela A2.2.** Formato dos registros de dados do conversor A/D.

Legenda:

AD11-AD0: saída digital do conversor A/D (em hexa).

C3-C0 : número do canal A/D (em hexa) do qual os dados são derivados.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RMUX	CH3	CH2	CH1	CH0	CL3	CL2	CL1	CL0

**Tabela A2.3.** Formato do registro do multiplexador.

Legenda:

CH3-CH0: número do canal final do multiplexador (em hexa).

CL3-CL0 : número do canal inicial do multiplexador (em hexa).

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RDIG-LSB	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
RDIG-LSB	DO7	DO6	DO5	DO4	DO3	DO2	DO1	DO0
RDIG-MSB	DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8

<b>RDIG-MSB</b>	<b>DO15</b>	<b>DO14</b>	<b>DO13</b>	<b>DO12</b>	<b>DO11</b>	<b>DO10</b>	<b>DO9</b>	<b>DO8</b>
-----------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------

**Tabela A2.4.** Formato dos registros de dados digitais.

Legenda:

DI15-DI0 : Registro de dados digitais de 16 bits (entrada).

DO15-DO0 : Registro de dados digitais de 16 bits (saída).

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
<b>RDA0-LSB</b>	<b>DA3</b>	<b>DA2</b>	<b>DA1</b>	<b>DA0</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>RDA0-MSB</b>	<b>DA11</b>	<b>DA10</b>	<b>DA9</b>	<b>DA8</b>	<b>DA7</b>	<b>DA6</b>	<b>DA5</b>	<b>DA4</b>
<b>RDA1-LSB</b>	<b>DA3</b>	<b>DA2</b>	<b>DA1</b>	<b>DA0</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>RDA1-MSB</b>	<b>DA11</b>	<b>DA10</b>	<b>DA9</b>	<b>DA8</b>	<b>DA7</b>	<b>DA6</b>	<b>DA5</b>	<b>DA4</b>

**Tabela A2.5.** Formato dos registros de dados dos conversores D/A.

Legenda:

DA15-DA0 : Entrada digital dos conversores D/A.

x : não relevante, não utilizado.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
<b>RSTATAD</b>	<b>EOC</b>	<b>U/B</b>	<b>MUX</b>	<b>INT</b>	<b>CN3</b>	<b>CN2</b>	<b>CN1</b>	<b>CN0</b>

**Tabela A2.6.** Formato do registro do status do conversor A/D.

Legenda:

EOC: fim de conversão (end of conversion):

EOC=0: o conversor A/D está no estado inativo e está pronto para a próxima conversão. Os dados da conversão anterior estão disponíveis nos registros de dados do conversor A/D.

EOC=1: o conversor A/D está ocupado, que implica que a conversão está procedendo

U/B: indicador da polarização do conversor A/D:

U/B=0: o conversor é bipolar.

U/B=1: o conversor é unipolar.

MUX: indicador do tipo de canais do multiplexador:

MUX=0: canais diferenciais (8 canais).

MUX=1: canais singulares (16 canais).

INT: saída do conversor A/D válidos:

INT=0: nenhuma conversão A/D completada desde o último "clear" do bit INT. Nenhum dado de conversão A/D é válido.

INT=1: conversão A/D é completada e os dados da conversão estão prontas. Se o bit INTE do registro de controle (BASE+9) é setado, um sinal de interrupção será enviado ao barramento do microcomputador pelo canal de interrupção IRQ<sub>n</sub>, onde n está especificado pelos bits I2,I1,I0 do registro de controle.

CN3-CN0: número do próximo canal a ser convertido (em hexa). Quando EOC=0, esses bits do status contêm o número do próximo canal a ser convertido.

**obs:** Se é utilizado um gerador de pulsos da placa ou pulsos externos como fonte de gatilho da conversão A/D, o bit INT, em vez do bit EOC, deverá ser checado pelo software antes de ler os dados da conversão. Quando EOC=0, a situação pode ser que tanto uma conversão é completada ou nenhuma conversão ainda não é começada. Por isso, o software deve aguardar pelo sinal INT=1 antes de ler os dados de conversão e depois resetar o bit INT, escrevendo um valor no registro do status do conversor A/D.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RCTRL	INTE	I2	I1	I0	x	DMAE	ST1	ST0

Tabela A2.7. Formato do registro de controle da placa.

Legenda:

INTE: desabilita/habilita sinais de interrupção gerados pela placa de aquisição de dados:

INTE=0: desabilita a geração de interrupções. Nenhum sinal de interrupção será enviado ao microcomputador.

INTE=1 e DMAE=0: habilita a geração de uma interrupção quando uma conversão A/D é completada. Isto é para transferências de dados acionadas por interrupção.

INTE=1 e DMAE=1: habilita a geração de uma interrupção quando um sinal T/C (terminal count) é recebido pelo controlador DMA do microcomputador, indicando o termino de uma transferência por DMA. Isto é para transferências de dados por DMA e a transferência pode ser parada pela interrupção causada pelo sinal T/C.

I2 a I0: seleção do canal de interrupção.

I2	I1	I0	Canal de interrupção
0	0	0	não disponível
0	0	1	não disponível
0	1	0	IRQ2
0	1	1	IRQ3
1	0	0	IRQ4
1	0	1	IRQ5
1	1	0	IRQ6
1	1	1	IRQ7

DMAE: desabilita/habilita as transferências por DMA realizadas pela placa de aquisição de dados:

DMAE=0: desabilita as transferências por DMA.

DMAE=1: habilita as transferências por DMA. Cada conversão A/D inicializa dois sinais de requisição ao DMA sequencialmente para causar



o controlador de DMA 8237A a transferir dois bytes de dados da conversão da placa para memória do microcomputador.

O controlador de DMA 8237A e o registro de página de DMA do microcomputador devem ser programados antes que o bit DMAE desse registro de controle é colocado em "1".

ST1 e ST0: fonte de gatilho.

ST1	ST0	fonte de gatilho
0	x	gatilho por software
1	0	gatilho externo
1	1	gatilho interno

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RTE	x	x	x	x	x	x	TC1	TC0

Tabela A2.8. Formato do registro de habilitação do timer.

Legenda:

TC0: desabilita/habilita o temporizador programável interno.

TC0=0: habilita o temporizador.

TC0=1: o temporizador é controlado pelo sinal TRIG0, isto mantém os pulsos de gatilho ao conversor A/D fora do temporizador, até que o sinal TRIG0 esteja em "alto".

TC1: indicador do tipo da sinal de entrada do contador #0:

TC1=0: o contador #0 é configurado para aceitar pulsos externos com sinal de clock.

TC1=1: o contador #0 é configurado para aceitar um sinal de 100 KHz, gerado internamente, com sinal de clock.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
RTIM-CTRL	SC1	SC0	RW1	RW0	M2	M1	M0	BCD

Tabela A2.9. Formato do registro de controle do timer

Legenda:

SC1 e SC0: seleciona contador.

SC1	SC0	
0	0	contador 0
0	1	contador 1
1	0	contador 2
1	1	comando de leitura retroativa

RW1 e RW0: seleciona a operação de leitura/escrita do contador.

RW1	RW0	
0	0	guarda a contagem do contador
0	1	leitura/escrita do byte menos significativo (LSB) da contagem
1	0	leitura/escrita do byte mais significativo (MSB) da contagem
1	1	leitura/escrita primeiro LSB, depois MSB

M2, M1 e M0: Seleciona o modo de operação do contador.

M2	M1	M0	
0	0	0	Modo 0: interrupção no termino de contagem
0	0	1	Modo 1: monoestável programável
x	1	0	Modo 2: divisor por N programável
x	1	1	Modo 3: gerador de onda quadrada
1	0	0	Modo 4: strobe gatilhado por soft-ware
1	0	1	Modo 5: strobe gatilhado por hard-ware

BCD: seleciona contagem binária/BCD.

BCD=0: seleciona contagem binária de 16 bits.

BCD=1: seleciona contagem BCD de 4 dígitos.

**Obs.:** Se o módulo é configurado para binário, a contagem pode ser qualquer número entre 0 e 65535. Por outro lado, para o módulo BCD, a contagem pode ser setada como qualquer número entre 0 e 9999.

Se ambos os bits SC1 e SC0 são colocados em "1", o registro de controle do timer (**RTIM-CTRL**) conterá um comando de leitura retroativa. O formato do registro de controle, é dado na tabela A2.10:

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
<b>RTIM-CTRL</b>	1	1	CNT	STA	C2	C1	C0	x

**Tabela A2.10.** Formato do registro de controle do timer, como comando de leitura retroativa.

Legenda:

CNT: habilita/desabilita o latch de contagem do(s) contador(es) selecionado(s).

CNT=0: habilita o latch de contagem

CNT=1: desabilita o latch de contagem

STA: habilita/desabilita o latch de status do(s) contador(es) selecionado(s).

STA=0: habilita o latch de status

STA=1: desabilita o latch de status

C2,C1 e C0: seleciona o contador para a operação de leitura retroativa.

C2=1: seleciona o contador 2

C1=1: seleciona o contador 1

C0=1: seleciona o contador 0

Quando é habilitado o latch de status do(s) contador(es) selecionado(s), o registro de leitura/escrita do(s) contador(es) selecionado(s) pelos bits C2-C0 contem o byte do status de retorno. O formato dos registros de dados do timer é mostrado na tabela A2.11.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
<b>RTIM-0</b>	OUT	NC	RW1	RW0	M2	M1	M0	BCD
<b>RTIM-1</b>	OUT	NC	RW1	RW0	M2	M1	M0	BCD
<b>RTIM-2</b>	OUT	NC	RW1	RW0	M2	M1	M0	BCD

**Tabela A2.11.** *Formato dos registros de dados do timer na habilitação do latch de status do(s) contador(es).*

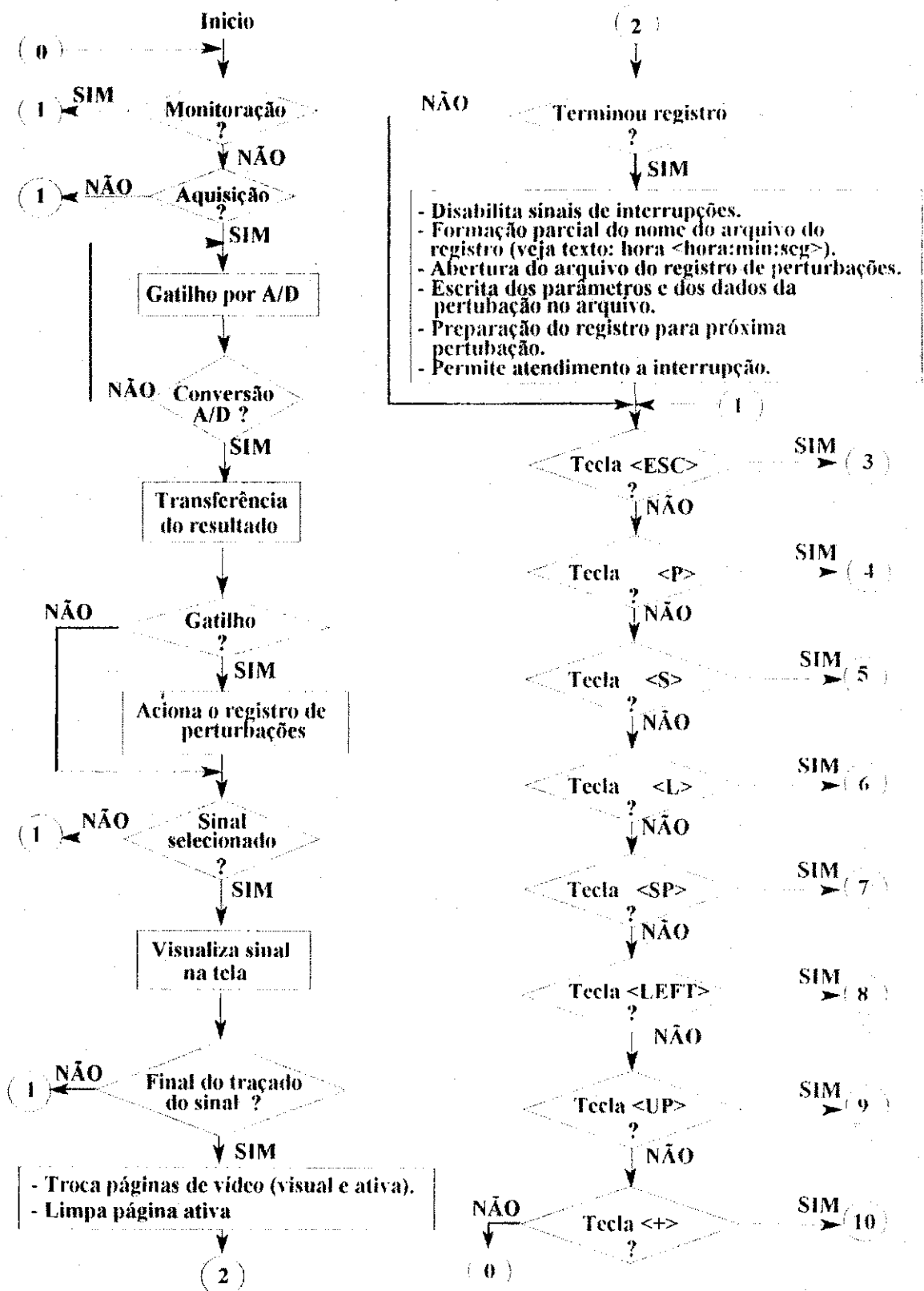
Legenda:

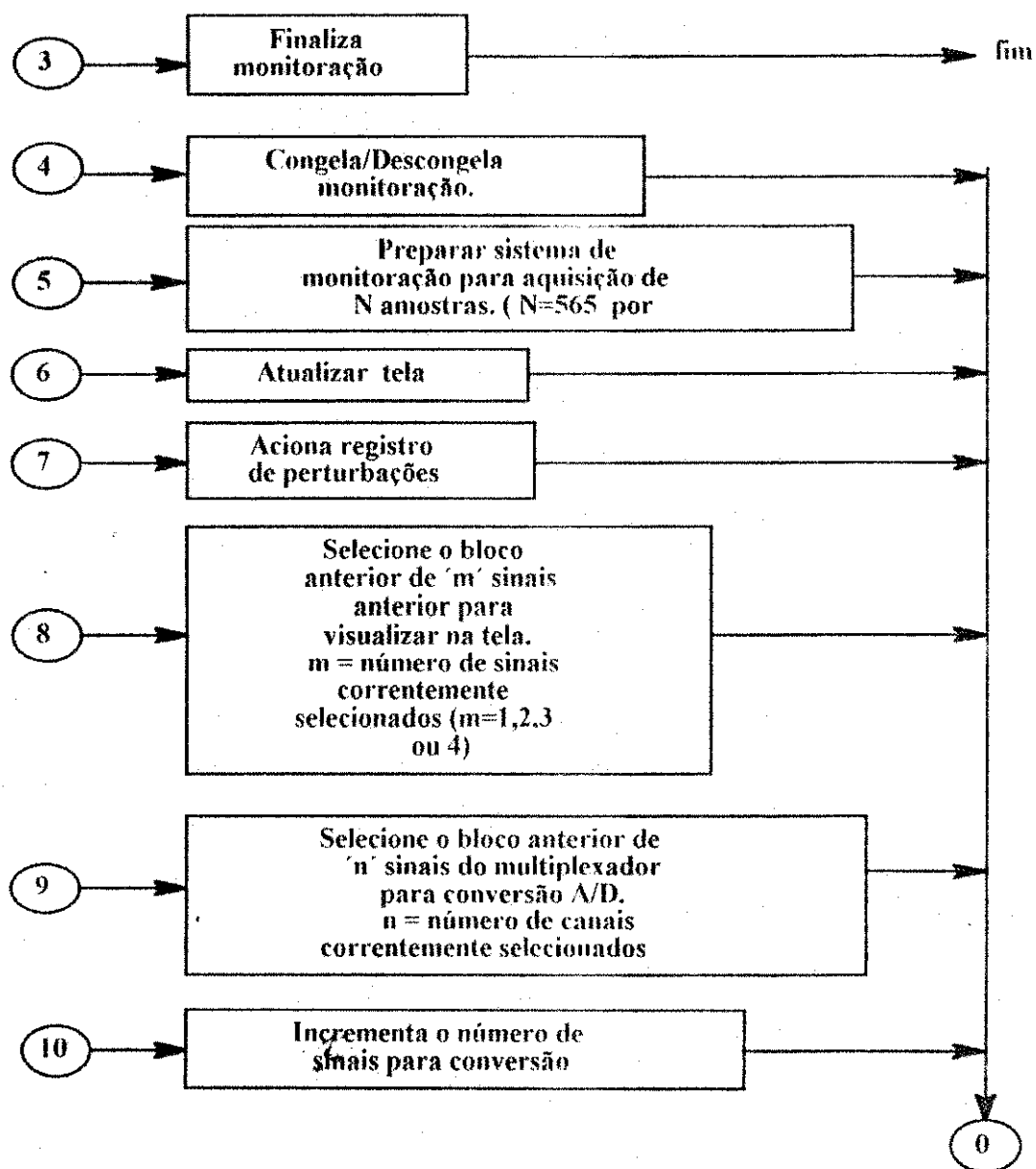
OUT: indicador do estado atual do pino OUT do contador.

NC: contagem nula indica quando a última contagem escrita no registro de dado tem sido carregada.

bit 5 a bit 0: veja Tabela A2.9.

**APÊNDICE 3:** Fluxograma detalhado da rotina de monitoração e registro de perturbações.





**APÊNDICE 4:** Listagem em linguagem C do programa de monitoração com registro de perturbações automático.

```
/* *****  
* Programa : RT_354.CPP  MONITORACAO EM TEMPO REAL  
* Revisao  : 3.54          VERSAO FINAL  
* Data    : 18/12/1993    Marlon W. Gemerts  
*===== *  
* Esse programa realiza uma conversao A/D gatilhado por software e *  
* transferencia de dados controlado pelo programa. Um registro com *  
* gatilho automatico e programavel pelo operador pode ser acionado *  
* O periodo de amostragem é controlada por uma rotina de interrupção*  
* para atender os pulsos vindo da placa de aquisição de dados (PCL- *  
* 718) *  
*****/  
  
#include "RT.H"  
  
#define TIMER      0x08  
  
#define END        0  
  
#define REFRESH    1  
  
#define ONE_SHOT   2  
  
#define MUX_UPDATE 3  
  
int  pertub_config(int type);  
  
void  mux_config(void );  
  
struct time t;  
  
struct date d;  
  
struct dfree dt;  
  
char dir[MAXDIR],drive[MAXDRIVE],ext[MAXEXT],file[MAXFILE],r_file[MAXPATH],local[4];
```

```

long  finem,r_count=0;

int   ch_type,cnst,dd,old_adt[16],mux_lo,mux_hi;

/* ***** ROTINA PRINCIPAL ***** */
/* SINTAXE PARA EXECUTAR: RTS_354 <arquivo de parametros> */

int main (int argc,char *argv[])

{

/* ***** DECLARACAO DE VARIAVEIS LOCAIS ***** */

int   creg,i,final,st,tempd;

float  dyl,pos_data,pre_data,tempf;

char   dat[5],infile[MAXPATH],string[85];

getdate(&d); /* Obtem a data via DOS */

/* Formação parcial do nome do arquivo do registro */

drive[0]=getdisk()+ 'A'; drive[1]='\0';

ext[1]=d.da_day+64; ext[2]=d.da_mon+64; ext[3]='\0';

local[0]='C'; local[1]='P'; local[2]='G'; local[3]='\0';

getcurdir(0,dir);

if (argc<2) sprintf(infile,"RT_MON.PAR");

else {

    sprintf(infile,"%s",(char *) argv[1]);

    strcpy(string,searchpath(infile));

    if (!string) {

        gotoxy(5,23); printf("\7SINTAXE: RTS_354 <arquivo.par>");

        gotoxy(5,24); printf("default: RT_MON.PAR");

        sprintf(infile,"RT_MON.PAR");

    }

}

```



```

}

for (i=0; i<16; i++) { v_chns[i]=i; trig[i]=-1; }

/* ***** LEITURA DO ARQUIVO DE PARAMETROS ***** */

if ((in=fopen((char *) infile,"rt"))==NULL) {

    gotoxy(5,23); fputc(7,stdout);

    printf("Erro na abertura do arquivo %s.....",infile);

    return -2;

}

    /* Parametros da placa de aquisicao de dados (PCL-718) */

fscanf(in,"%s %x",dat,&base); /* Endereco-base */

fscanf(in,"%s %x",dat,&creg); /* Registro de controle */

fscanf(in,"%s %d",dat,&loop); /* Numero de ciclos de conversao A/D com exibicao de sinal:
    * loop:
    * -1: continuo */

fscanf(in,"%s %d",dat,&mux_lo); /* Canal inicial do multiplexador */

fscanf(in,"%s %d",dat,&mux_hi); /* Canal final do multiplexador */

    /* Parametros do registro de sinais */

fscanf(in,"%s %d",dat,&r_mod0); /* Tipo de registro de sinais:
    * r_mod0:
    * 0: Nao ha' registro
    * 1: registro manual
    * 2: registro automatico */

fscanf(in,"%s %f",dat,&pre_data);/* Periodo pre-falha <segundos> */

fscanf(in,"%s %f",dat,&pos_data);/* Periodo pos-falha <segundos> */

fscanf(in,"%s %f",dat,&sample); /* Periodo de amostragem <segundos> */

fscanf(in,"%s %d",dat,&r_trig); /* Numero de canais de gatilho
    * ##: O numero de canais de gatilho
    * deve ser pelo menos um */

```

```

for (i=0;i<r_trig;i++) { /* Canais do multiplexador usados como *
                        * canais de gatilho */
    fscanf(in,"%d\n",&tempd); /* Numero do canal */
    if (tempd<0) tempd=0; if (tempd>15) tempd=15;
    r_chns[i]=tempd; trig[tempd]=i;
    fscanf(in,"%f\n",&tempf); /* Limiar superior em percentagem */
    if (tempf<-100.0) tempf=-100.0; if (tempf>100.0) tempf=100.0;
    r_lims[i]=tempf;
    fscanf(in,"%f\n",&tempf); /* Limiar inferior em percentagem */
    if (tempf<-100.0) tempf=-100.0; if (tempf>100.0) tempf=100.0;
    r_liml[i]=tempf;
    if (r_liml[i]>r_lims[i]) { r_liml[i]=tempf; r_liml[i]=r_lims[i]; r_lims[i]=tempf; }
}

/* Parametros para a visualizacao na tela */
for (i=0;i<16;i++) {
    fscanf(in,"%s %s",dat,string); /* Nome da variavel do canal */
    strcpy(var_name[i],string);
    fscanf(in,"%s %s",dat,string); /* Unidade do canal */
    strcpy(unit_name[i],string);
    fscanf(in,"%s %f",dat,&tempf); /* Valor maximo do canal */
    vmax[i]=tempf;
    fscanf(in,"%s %f",dat,&tempf); /* Valor minimo do canal */
    vmin[i]=tempf;
    if (vmin[i]>vmax[i]) { tempf=vmax[i]; vmax[i]=vmin[i]; vmin[i]=tempf; }
}

fclose (in);

/* Checa espaço livre em disco corrente. Se não há espaço, desliga registro. */
getdfree(0,&dt); fmem=(long) (dt.df_avail*dt.df_bsec*dt.df_sclus);

```

```

if (fmem<8000) { fputc(7,stdout); r_mod0=0; }

/* Formação parcial do nome do arquivo do registro */
if (r_mod0==1) ext[0]='#';
if (r_mod0==2) ext[0]='$';

r_ativa=0; r_flag=0;

/* ***** INICIALIZA A PIACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS ***** */
/* REGISTRO DE CONTROLE <BASE+9>: b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0 */
/* [INTE I2 I1 I0 x DMAE ST1 ST0] */
outportb(base+9,creg);
if (inportb(base+9) != creg) {
    gotoxy(5,23); fputc(7,stdout);
    cprintf("FALHA NO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS!");
    return -3;
}

outportb(base+8,1); /* reseta o bit de solicitacao de interrupcao */
/* ***** LE O REGISTRO DO STATUS DO CONVERSADOR A/D ***** */
/* REGISTRO DE STATUS A/D <BASE+8>: b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0 */
/* [EOC UNI MUX INT CN3 CN2 CN1 CN0] */
ad_bias=ch_type=0;
st = inportb(base+8);
if ((st & 0x40) == 0x40) ad_bias=-1; /* Conversao unipolar */
else ad_bias=1; /* Conversao bipolar */
if ((st & 0x20) == 0x20) ch_type=1; /* Canais A/D "single-ended" */
else ch_type=-1; /* Canais A/D diferenciais */
mux_config(); /* Configura registro do multiplexador */

/* ***** CONFIGURA O REGISTRO DE SINAIS ***** */
if (r_mod0) {

```

```

pre_N=(unsigned) (pre_data/sample); pos_N=(unsigned) (pos_data/sample);

r_buf=(unsigned huge *) farcalloc((pre_N+pos_N),sizeof(unsigned));

r_chn=(unsigned huge *) farcalloc((pre_N+pos_N),sizeof(unsigned));

if (r_buf==NULL || r_chn==NULL) {

    gotoxy(5,23); fputc(7,stdout);

    cprintf("NAO HA MEMORIA PARA O REGISTRO DE SINAIS...");

    gotoxy(5,24);

    cprintf("REGISTRO DE SINAIS DESLIGADO!");

    r_mod0=0;

    fprintf(r_out,"MEMORIA ESGOTADA!\n\n"); fclose(r_out);

}

else r_ativa=1; /* ativa registro */

for (i=0;i<r_trig;i++) {

    lims[i]=(unsigned) 2048+20.475*r_lims[i];

    limi[i]=(unsigned) 2048+20.475*r_limi[i];

    if (lims[i]>4095) lims[i]=4095; if (limi[i]>4095) limi[i]=4095;

}

}

pre_ptr=0; pos_ptr=pre_N;

/* ***** INICIALIZACAO DO MONITOR DE VIDEO NO MODO GRAFICO ***** */

if (graph_init()) {

    gotoxy(5,23); fputc(7,stdout);

    cprintf("FALHA NA INICIALIZACAO DO MODO GRAFICO !");

    return -5;

}

denorm();

```

```

graphcolor[0]=EGA_BLACK; graphcolor[1]=EGA_GREEN;
graphcolor[2]=EGA_BLUE; graphcolor[3]=EGA_RED;
graphcolor[4]=EGA_LIGHTGRAY; graphcolor[5]=EGA_LIGHTGREEN;
graphcolor[6]=EGA_LIGHTBLUE; graphcolor[7]=EGA_LIGHTRED;

/* ***** DETERMINACAO DA JANELA DE EXIBICAO DOS SINAIS ***** */
xmn=Graphs[0]; xmx=Graphs[2]; dx=xmx-xmn;
ymn=Graphs[3]; ymx=Graphs[1]; nzy=(ymx+ymn)/2;

/* ***** CÁLCULO INCREMENTO DAS COORDENADAS-Y DOS SINAIS EM PIXELS ***** */
dxt=(float ) -(ymx-ymn)/4096.;

/* PREPARACAO DE VARIAVEIS AUXILIARES PARA A CONVERSAO A/D EM TEMPO REAL
*/
kbch=0; if (loop<0) { loop=-1; ptr=-2; } else ptr=0;
final=REFRESH; ad_modify(&final);

/* ***** INSTALACAO DA ROTINA DE INTERRUPCAO DO TECLADO ***** */
install_interrupts();

/* ***** LOOP DE CONVERSAO A/D E EXIBICAO DOS SINAIS EM TEMPO REAL ***** */
do {
    final=ad_loop(); /* Malha de monitoração com registro de perturbações */
    ad_modify(&final);
}
while (final!=END);

/* * TERMINO DO LOOP DE CONVERSAO A/D E EXIBICAO DOS SINAIS EM TEMPO REAL */
deinstall_interrupts(); /* Restaura antiga tabela de vetores de interrupção */

```

```

cleardevice();

closegraph(); /* Encerra Modo gráfico */

if (r_mod0) { fclose(r_out); farfree(r_buf); }

free(xy_map);

return 0;

}

/* **** ROTINA PARA A INSTALACAO DE ROTINAS DE DEFINIDAS PELO USUARIO NA
TABELA DE INTERRUPCAO **** */

void install_interrupts (void )
{
disable(); /* Impede todas as interrupções por software*/

imr=inportb(0x021);

do { outportb(0x021,0xFF); } while (inportb(0x021) != 0xFF); /* Impede todas os sinais de
interrupção na entrada do controlador */

oldint09=getvect(0x09);

oldintTs=getvect(0x0F);

setvect(0x09,newint09); /* Vetor de interrupção do teclado */

setvect(0x0F,newintTs); /* Vetor de interrupção da rotina que controla o período de amostragem
*/

do { outportb(0x021,0x00); } while (inportb(0x021) != 0x00); /* Libere todas os sinais de
interrupção na entrada do controlador */

enable(); /* Libere as interrupções por software*/

}

/* ***** ROTINA PARA A RESTAURACAO DA TABELA DE INTERRUPCAO ***** */

void deinstall_interrupts (void )
{

```

```

do { outportb(0x021,0xFF); } while (inportb(0x021) != 0xFF); /* Impede todas os sinais de
interrupção na entrada do controlador */

setvect(0x09,oldint09);

setvect(0x0F,oldintTs);

do { outportb(0x021,imr); } while (inportb(0x021) != imr); /* Libere aqueles sinais de interrupção
na entrada do controlador anteriormente selecionados */

enable(); /* Libere as interrupções por software*/

}

```

```

/* ***** ROTINA DE INTERRUPTAO PARA TECLADO ***** */

```

```

void interrupt newint09 (...)
{
static unsigned char al=0, ah=0;

enable();

kbch=inportb(0x060);

al=inportb(0x061); ah=al; al=al|0x80;

outportb(0x061,al); outportb(0x061,ah);

outportb(0x020,0x20);

}

```

```

/* ***** ROTINA DE INTERRUPTAO PARA CONTROLAR O PERIODO DE
AMOSTRAGEM ***** */

```

```

void interrupt newintTs (...)
{
enable();

ad_flag=1;

outportb(0x020,0x20);

```

```

}

/* ***** ROTINA DA TELA DE EXIBICAO DOS SINAIS ***** */

void graph_frame (void)
{
char string[85];

struct tm tt;

extern int v_chns[16],dxx[16];

extern unsigned offset;

extern float vmax[16],vmin[16];

extern char unit_name[16][10],var_name[16][10];

int h;

gettime(&t); /* Obtem a data e a hora via DOS */

/* Preparar as variáveis com a data e a hora para sua exibição */
tt.tm_sec =t.ti_sec; tt.tm_min=t.ti_min; tt.tm_hour=t.ti_hour;
tt.tm_mday=d.da_day; tt.tm_mon=d.da_mon; tt.tm_year=d.da_year;

/* Prepara a tela gráfico padrão */

setlinestyle(SOLID_LINE,1,THICK_WIDTH);

setcolor(EGA_RED);

rectangle(W_title [0],W_title [1],W_title [2],W_title [3]);

rectangle(W_graph [0],W_graph [1],W_graph [2],W_graph [3]);

rectangle(W_legend[0],W_legend[1],W_legend[2],W_legend[3]);

setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_LIGHTGRAY);

bar(W_title [0]+3,W_title [1]+3,W_title [2]-3,W_title [3]-3);

setcolor(EGA_WHITE);

settextstyle(8,HORIZ_DIR,0); /* Estilo de texto */

```



```

strcpy(string,"MONITORAÇÃO COM REGISTRO DE SINAIS");

setusercharsize(5,10,6,8); h=textheight(string);

outtextxy(W_title[0]+50,W_title[1],string);

setcolor(EGA_WHITE);

sprintf(string,"Campina Grande-PB,%02d de %s de %04d às %02d:%02d%.2s",

tt.tm_mday,mes[tt.tm_mon-1],tt.tm_year,tt.tm_hour,tt.tm_min,pm(&tt));

setusercharsize(1,2,3,8);

outtextxy(W_title[0]+50,W_title[1]+h,string);

setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_WHITE);

bar(W_graph [0]+3,W_graph [1]+3,W_graph [2]-3,W_graph [3]-3);

setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_WHITE);

bar(Graphs[0]-3,Graphs[1],Graphs[2]+3,Graphs[3]),

setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_LIGHTGRAY);

bar(W_legend[0]+3,W_legend[1]+3,W_legend[2]-3,W_legend[3]-3);

settextstyle(8,HORIZ_DIR,0); /* Estilo de texto */

setusercharsize(1,2,1,3);

sprintf(string,"canal %02d: %-5s %+.2f %+.2f %c",v_chns[offset+0],

var_name[v_chns[offset+0]],vmin[v_chns[offset+0]],vmax[v_chns[offset+0]],

unit_name[v_chns[offset+0]][0]);

h=textheight(string);

if (mux_lo<=offset+0 && mux_hi>=offset+0) {

setcolor(graphcolor[(offset+0)%8]);

moveto(10,W_legend[1]+1*h+4); linerel(25,0);

}

if (mux_lo<=offset+1 && mux_hi>=offset+1) {

setcolor(graphcolor[(offset+1)%8]);

moveto(10,W_legend[1]+2*h+4); linerel(25,0);

}

```

```

if (mux_lo<=offset+2 && mux_hi>=offset+2) {
    setcolor(graphcolor[(offset+2)%8]);
    moveto(10,W_legend[1]+3*h+4); linerel(25,0);
}

if (mux_lo<=offset+3 && mux_hi>=offset+3) {
    setcolor(graphcolor[(offset+3)%8]);
    moveto(10,W_legend[1]+4*h+4); linerel(25,0);
}

setcolor(EGA_BLACK);

if (mux_lo<=offset+0 && mux_hi>=offset+0) { outtextxy(40,W_legend[1]+1*h-5,string); }
sprintf(string,"canal %02d: %-.5s %+.2f %+.2f %c",v_chns[offset+1],
        var_name[v_chns[offset+1]],vmin[v_chns[offset+1]],vmax[v_chns[offset+1]],
        unit_name[v_chns[offset+1]][0]);
if (mux_lo<=offset+1 && mux_hi>=offset+1) { outtextxy(40,W_legend[1]+2*h-5,string); }
sprintf(string,"canal %02d: %-.5s %+.2f %+.2f %c",v_chns[offset+2],
        var_name[v_chns[offset+2]],vmin[v_chns[offset+2]],vmax[v_chns[offset+2]],
        unit_name[v_chns[offset+2]][0]);
if (mux_lo<=offset+2 && mux_hi>=offset+2) { outtextxy(40,W_legend[1]+3*h-5,string); }
sprintf(string,"canal %02d: %-.5s %+.2f %+.2f %c",v_chns[offset+3],
        var_name[v_chns[offset+3]],vmin[v_chns[offset+3]],vmax[v_chns[offset+3]],
        unit_name[v_chns[offset+3]][0]);
if (mux_lo<=offset+3 && mux_hi>=offset+3) { outtextxy(40,W_legend[1]+4*h-5,string); }

setcolor(EGA_BLACK);
settextstyle(3,HORIZ_DIR,0);
setusercharsize(1,3,1,3);

if (r_mod0==0) outtextxy(400,W_legend[1]+1*h-5,">> REGISTRO DESLIGADO");
if (r_mod0==1) outtextxy(400,W_legend[1]+1*h-5,">> GATILHAMENTO MANUAL");

```

```
if (r_modos==2) outtextxy(400,W_legend[1]+1*h-5,">> GATILHAMENTO POR SOFTWARE");
```

```
if (r_modos==1) {
```

```
    strcpy(string,"LOGICA: TECLA <SPACE>");
```

```
    h=textheight(string);
```

```
    outtextxy(400,W_legend[1]+2*h,string);
```

```
}
```

```
if (r_modos==2) {
```

```
    sprintf(string,"LOGICA: C#<Ymin ou C#>Ymax");
```

```
    h=textheight(string);
```

```
    outtextxy(400,W_legend[1]+2*h,string);
```

```
    sprintf(string,"# CANAIS: %d",r_trig);
```

```
    outtextxy(400,W_legend[1]+3*h,string);
```

```
}
```

```
sprintf(string,"MUX:%d-%d",mux_lo,mux_hi);
```

```
outtextxy(400,W_legend[1]+4*h,string);
```

```
switch (offset) {
```

```
    case 0: /* Mostra os canais 0 a 3 */
```

```
        setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_RED);
```

```
        bar(W_title[2]-50,W_title[3]-30,W_title[2]-40,W_title[3]-20);
```

```
    break;
```

```
    case 4: /* Mostra os canais 4 a 7 */
```

```
        setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_YELLOW);
```

```
        bar(W_title[2]-50,W_title[3]-30,W_title[2]-40,W_title[3]-20);
```

```
    break;
```

```

case 8: /* Mostra os canais 8 a 11 */
    setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_GREEN);
    bar(W_title[2]-50,W_title[3]-30,W_title[2]-40,W_title[3]-20);
break;
case 12: /* Mostra os canais 12 a 15 */
    setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_CYAN);
    bar(W_title[2]-50,W_title[3]-30,W_title[2]-40,W_title[3]-20);
break;
}

sprintf(string,"%d-%d",offset,offset+3);
h=textheight(string);
outtextxy(W_title[2]-55,W_title[3]-2*h,string);
}

/* ***** ROTINA QUE EXIBE 'AM' OU 'PM' PARA AS HORAS ***** */
char *pm(struct tm *t)
{
    if (t->tm_hour<12) return "AM";
    else return "PM";
}

/* ***** ROTINA DE MONITORACAO GRAFICA E REGISTRO DE PERTURBACOES ***** */
int ad_loop (void)
{
    do {
        if (ad_flag==1) { /* Checa se o sinal para nova amostragem já chegou */
            if (freeze==0) { /* A TELA NAO ESTA' CONGELADA */

```

```

outportb(base,0); /* COMANDO DE SOFTWARE PARA CONVERSÃO A/D */

/* LOOP DE ESPERA DA CONVERSAO A/D */

while ((inportb(base+8)&0x80) == 0x80);

/* TRANSFERENCIA DOS DADOS A/D PARA MEMORIA */

adl=inportb(base); adh=inportb(base+1);

adt=(unsigned) ((adh<<8)|adl)>>4; chn=adl&15;

if (trig[chn]>=0) { /* É CANAL DE GATILHO DO REGISTRO */

    if (pre_ptr<=(mux_hi-mux_lo)) { old_adt[chn]=adt; cnst=0; }

    else { cnst=adt-old_adt[chn]; old_adt[chn]=adt; }

    /* HOUVE UMA PERTURBACAO ENTAO ACIONA A MEMORIA POS
    DATA DO REGISTRO */

    if (cnst<=limi[chn] || cnst>=lims[chn]) {

        if (r_mod0==2 && r_flag==0) {

            r_flag=1;

            r_count++;

            gettime(&t); }

            getdfree(0,&df); fmem=(long) (dt.df_avail*dt.df_bsec*dt.df_sclus);

            if (fmem<8000) { fputc(7,stdout); r_mod0=0; }

        }

    }

if (r_ativa==1) { /* REGISTRO DE SINAIS E' ATIVADO? */

    if (r_flag==1) { /* ESTA' GRAVANDO NA MEMORIA POS-DATA? */

        *(r_buf+pos_ptr)=(unsigned) adt;

        *(r_chn+pos_ptr)=(unsigned) chn; pos_ptr++;

        if (pos_ptr>(pre_N+pos_N)) r_ativa=0;

    }

    else { /* REGISTRO ESTA' GRAVANDO NA MEMORIA PRE-DATA */

        *(r_buf+pre_ptr)=(unsigned) adt;

```

```

*(r_chn+pre_ptr)=(unsigned) chn; pre_ptr++;
if (pre_ptr>pre_N) pre_ptr=0;
}
}

/* CHECAGEM DO SINAL CONVERTIDO PARA SUA EXIBICAO
NA TELA */
if (chn>=offset && chn<offset+4) {
x=(int) xmn+xx[chn]+1; y=(int) ymx+adt*dyt;
if (xx[chn]<=0) ya[chn]=y;

/* PLOTA O RESULTADO DA CONVERSAO A/D NA TELA */
setcolor(graphcolor[chn%8]; line(xa[chn],ya[chn],x,y);
xx[chn]++; xa[chn]=x; ya[chn]=y;

/* CHECAGEM SE TRACADO DO SINAL CHEGOU NO FINAL DA
TELA */
if (xx[chn]>=dx-5) {
setviewport(xmn+1,ymx,xmx,ymn,1);
vpage=apage; apage=vpage; vpage=tpage;
setvisualpage(vpage); setactivepage(apage); /* Troca de página do video */
/* PREPARACAO DA TELA PARA PROXIMA EXIBICAO */
clearviewport();
if (one_shot==1) freeze=1;
setviewport(0,0,scrx,scry,1);
setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_WHITE);
bar(Graphs[0]-3,Graphs[1],Graphs[2]+3,Graphs[3]);
xx[offset+0]=xx[offset+1]=xx[offset+2]=xx[offset+3]=0;
xa[offset+0]=xa[offset+1]=xa[offset+2]=xa[offset+3]=xmn+1;
/* CHECAGEM SE GRAVACAO NA MEMORIA POS-DATA CHEGOU
NO FINAL. GRAVA RESULTADO EM DISQUETE E PREPARA O

```

```
REGISTRO PARA PROXIMA PERTURBACAO
```

```
if (r_ativa==0 && r_flag==1) {  
    disable();  
    sprintf(file,"%s%02d%02d%c",local,t.ti_hour,t.ti_min,t.li_sec+128);  
    _makepath(r_file,drive,dir,file,ext);  
    if ((r_out=fopen(r_file,"wt+"))!=NULL) {  
        fprintf(r_out," %04X\\%04X\\n",pre_ptr,pre_N);  
        for (i=0;i<pre_N+pos_N;i++)  
            fprintf(r_out,"%01X %01X\\%04X\\n",i,*(r_chn+i),*(r_buf+i));  
        fclose(r_out);  
    }  
    r_ativa=1; r_flag=0; pre_ptr=0; pos_ptr=pre_N;  
    enable();  
}  
}'  
}  
}
```

```
/* FOI PRESSIONADA A TECLA <ESC>? SE FOR FINALIZA A  
CONVERSAO E EXIBICAO GRAFICA */
```

```
if (kbch==1) { kbch=0; fputc(0x07,stdout); return END; }
```

```
/* FOI PRESSIONADA A TECLA <SPACE>? SE FOR ACIONA O  
REGISTRO DE SINAIS */
```

```
if (kbch==57) {  
    kbch=0;  
    if (r_modos==1) {
```

```

r_flag=1; gettime(&t);

getdfree(0,&dt); fmem=(long) (dt.df_avail*dt.df_bsec*dt.df_sclus);

if (fmem<8000) { fputc(7,stdout); r_mod0=0; }

fputc(0x07,stdout);
}
}

/* FOI PRESSIONADA A TECLA <P>? SE FOR, CONGELA OU
DESCONGELA TELA */

if (kbch==25) {
    kbch=0;
    if (freeze==0) freeze=1;
    else { freeze=one_shot=0; return REFRESH; }
}

/* FOI PRESSIONADA A TECLA <S>? SE FOR, ENQUANDO A
TELA ESTA' CONGELADA, LIMPA A TELA, REALIZA 565
AMOSTRAS (UMA LARGURA DE TELA) E CONGELA NOVAMENTE */

if (kbch==31) {
    kbch=0;
    if (freeze==1) { one_shot=1; freeze=0; return ONE_SHOT; }
}

/* FOI PRESSIONADA A TECLA <L>? SE FOR, LIMPA A
TELA */

if (kbch==19) { kbch=0; return REFRESH; }

/* FOI PRESSIONADA A TECLA <SETA PARA DIREITA>?

```



SE FOR, MOSTRA O CONJUNTO DE 4 SINAIS POSTERIOR\*/

```
if (kbch==77) {  
    kbch=0;  
    switch (offset) {  
        case 0: offset=4; break;  
        case 4: offset=8; break;  
        case 8: offset=12; break;  
        case 12: offset=0; break;  
    }  
    return REFRESH;  
}
```

/\* FOI PRESSIONADA A TECLA <SETA PARA ESQUERDA>?

SE FOR, MOSTRA O CONJUNTO DE 4 SINAIS ANTERIOR \*/

```
if (kbch==75) {  
    kbch=0;  
    switch (offset) {  
        case 0: offset=12; break;  
        case 4: offset=0; break;  
        case 8: offset=4; break;  
        case 12: offset=8; break;  
    }  
    return REFRESH;  
}
```

/\* FOI PRESSIONADA A TECLA <SETA PARA CIMA> OU <SETA  
PARA BAIXO>? SE FOR, SELECIONA OS N CANAIS PROXIMOS  
ou ANTERIORES CANAIS DO MULTIPLEXADOR, RESPECTIVAMEN

```

TE */

if (kbch==72) { kbch=0; mux_hi++; mux_lo++; return MUX_UPDATE; }

if (kbch==80) { kbch=0; mux_hi--; mux_lo--; return MUX_UPDATE; }

/* FOI PRESSIONADA A TECLA <-> OU <+>? SE FOR, AUMENTA
O NUMERO DE CANAIS DO MULTIPLEXADOR SELECIONADO,
RESPECTIVAMENTE */

if (kbch==74) {
    kbch=0; mux_hi--;
    if (mux_hi<mux_lo) mux_hi=mux_lo;
    return MUX_UPDATE;
}

if (kbch==78) {
    kbch=0; mux_hi++;
    if ((mux_hi-mux_lo)>15) mux_hi--;
    return MUX_UPDATE;
}

if (loop<0) { loop=-1; ptr=-2; } else ptr++;
}

while (ptr<loop);

return END;
}

/* ROTINA PARA ATUALIZAR PARAMETROS PARA MONITORAÇÃO E REGISTRO DE
PERTURBAÇÕES */

void ad_modify(int *flag)
{
switch (*flag) {

```

```

case END : return; /*Finaliza monitoração */

case MUX_UPDATE: /* Atualiza o registro do multiplexador da placa */
    mux_config();

case REFRESH : /* Atualiza tela gráfica */
    cleardevice();
    setactivepage(0);
    directvideo=1; graph_frame();
    graph_grid2(xmn-4,xmx+4,ymn+2,ymx-2,5,EGA_BLACK);
graph_numb(xmn,xmx,ymn-10,ymx-10,5,-100.0,100.0,sample,ad_bias,EGA_BLACK);
    outtextxy(xmn+250,ymn+10,"TEMPO EM SEGUNDOS");
    setttextstyle(8,VERT_DIR,0); setusercharsize(1,3,1,4);
    outtextxy(W_graph[0]+7,W_graph[1]+30,"UNIDADES EM PERCENTAGEM");
    setactivepage(1);
    directvideo=1; graph_frame();
    graph_grid2(xmn-4,xmx+4,ymn+2,ymx-2,5,EGA_BLACK);
graph_numb(xmn,xmx,ymn-10,ymx-10,5,-100.0,100.0,sample,ad_bias,EGA_BLACK);
    outtextxy(xmn+250,ymn+10,"TEMPO EM SEGUNDOS");
    setttextstyle(8,VERT_DIR,0); setusercharsize(1,3,1,4);
    outtextxy(W_graph[0]+7,W_graph[1]+30,"UNIDADES EM PERCENTAGEM");
    vpage=0; apage=1; /* Página visual é a página 0 Página ativa é a página 1 */
    setvisualpage(vpage); setactivepage(apage);
    xx[offset+3]=xx[offset+2]=xx[offset+1]=xx[offset+0]=0;
    xa[offset+3]=xa[offset+2]=xa[offset+1]=xa[offset+0]=xmn+1;
    ya[offset+3]=ya[offset+2]=ya[offset+1]=ya[offset+0]=nzy;
    break;

case ONE_SHOT: /* Aquisição de 565 amostras por canal */
    setviewport(xmn+1,ymx,xmx,ymn,1);
    tpage=apage; apage=vpage; vpage=tpage;

```

```

setvisualpage(vpage); setactivepage(apage);

clearviewport();

setviewport(0,0,scrx,scry,1);

setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_WHITE);

bar(Graphs[0]-3,Graphs[1],Graphs[2]+3,Graphs[3]);

xx[offset+0]=xx[offset+1]=xx[offset+2]=xx[offset+3]=0;

xa[offset+0]=xa[offset+1]=xa[offset+2]=xa[offset+3]=xmn+1;

break;
}
}

```

/\* ROTINA PARA CONFIGURAR/RECONFIGURAR O REGISTRO DO MULTIPLEXADOR DA  
PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS \*/

```
void mux_config(void)
```

```

{
/* ***** COLOCA A FAIXA DE VARREDURA DO MULTIPLEXADOR ***** */
/* REGISTRO DO MULTIPLEXADOR <BASE+2>: b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0 */
/* [CH3 CH2 CH1 CH0 CL3 CL2 CL1 CL0] */
int val;

if ((ch_type==1) && (mux_hi>15)) mux_hi= 0;
if ((ch_type==1) && (mux_hi< 0)) mux_hi=15;
if ((ch_type==1) && (mux_lo< 0)) mux_lo=15;
if ((ch_type==1) && (mux_lo>15)) mux_lo= 0;
if ((ch_type==1) && (mux_hi> 7)) mux_hi= 0;
if ((ch_type==1) && (mux_hi< 0)) mux_hi= 7;
if ((ch_type==1) && (mux_lo< 0)) mux_lo= 7;
if ((ch_type==1) && (mux_lo> 7)) mux_lo= 0;

```

```

if (mux_lo>mux_hi) { val=mux_hi; mux_hi=mux_lo; mux_lo=val; }

val=mux_hi*16+mux_lo;

outportb(base+2,val);

if (inportb(base+2) != val) {

    gotoxy(5,23); fputc(7,stdout);

    cprintf("FALHA NO MULTIPLEXADOR !");

}

}

```

```

/*****

```

```

* PROGRAMA : RT.H CABEÇALHO DO PROGRAMA RT_354.CPP *
* VERSAO : 3.00 VERSAO FINAL *
* DATA : 18.11.1993 AUTOR: MARLON WILFRED GEMERTS *
* LINGUAGEM : TURBO C++ V3.01 *

```

```

*****

```

```

* PROGRAMA COM DEFINICOES E DECLARACOES DAS VARIAVEIS E FUNCOES *
* UTILIZADAS NO PROGRAMA RT_354.CPP *

```

```

*****/

```

```

#include <time.h>

#include <string.h>

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <math.h>

#include <graphics.h>

#include <dos.h>

#include <dir.h>

#include <conio.h>

```

```
#include <alloc.h>
```

```
#define KEYBD      0x09
```

```
/* ** PROTOTIPOS DAS FUNCOES DEFINIDAS NO PROGRAMA RT_GRAPH.CPP ***** */
```

```
extern void denorm(void);
```

```
extern void graph_grid2(unsigned xmn,unsigned xmx,unsigned ymn,unsigned ymx,  
    unsigned udiv,unsigned cor);
```

```
extern void graph_numb(unsigned xmn,unsigned xmx,unsigned ymn,unsigned ymx,  
    unsigned udiv,float min,float max,float sample,unsigned bias,unsigned cor);
```

```
extern int graph_init(void);
```

```
/* ***** PROTOTIPOS DAS FUNCOES DEFINIDAS LOCALMENTE ***** */
```

```
void install_interrupts (void);
```

```
void deinstall_interrupts (void);
```

```
void interrupt newint09 (...);
```

```
void interrupt (*oldint09) (...);
```

```
void interrupt newintTs (...);
```

```
void interrupt (*oldintTs) (...);
```

```
void graph_frame (void);
```

```
char *pm(struct tm *t);
```

```
int ad_loop (void);
```

```
void ad_modify(int *flag);
```

```
void update_params(void);
```

```
/* ***** DECLARACAO DAS VARIAVEIS GLOBAIS DEFINIDAS NO *****
```

```
***** PROGRAMA RT_GRAPH.CPP *****
```

```
*/
```

```

extern unsigned scrx,scry;

extern unsigned W_title[4],W_graph[4],W_legend[4],Graphs[4];

/* ***** DECLARACAO/DEFINICAO DAS VARIAVEIS GLOBAIS ***** */

int dxx[16],exib[16],graphcolor[8],*xy_map,v_chns[16],r_chns[16],trig[16],xa[16],xx[16],ya[16];

int ad_bias,adh,adl,ad_flag=0,apage,adt,base,chn,dx,freeze=0,i,loop,nzy,one_shot=0,ptr,
    r_ativa,r_flag,tpage,r_trig,r_mod0,v_exib,vpage,x,y;

unsigned limi[16],lims[16],huge *r_buf,huge *r_chn;

unsigned count=0,offset=0,pos_N,pos_ptr,pre_N,pre_ptr,xmn,xmx,ymn,ymx;

float sample,vmax[16],vmin[16],r_limi[16],r_lims[16];

unsigned char kbch,jmr;

char chstr[16][10],strad[10],unit_name[16][10],var_name[16][10];

FILE *in,*r_out;

char *mes[12] = {
    "JANEIRO",
    "FEVEREIRO",
    "MARÇO",
    "ABRIL",
    "MAIO",
    "JUNHO",
    "JULHO",
    "AGOSTO",
    "SETEMBRO",
    "OUTUBRO",
    "NOVEMBRO",
    "DEZEMBRO"
};

```

```

/*****

```

```

* Programa : RT_GRAPH.CPP
* Revisao : 3.00          VERSAO FINAL
* Data   : 16/11/1993    Marlon W. Gemerts

```

```

*****

```

```

* Esse programa possui algumas funcoes graficas para serem utilizadas no *
* programa RT_354.CPP (Programas de monitoracao em tempo real)          *

```

```

*****/

```

```

#include <string.h>

```

```

#include <stdio.h>

```

```

#include <graphics.h>

```

```

#include <ctype.h>

```

```

#include <alloc.h>

```

```

void denorm(void);

```

```

void graph_grid2(unsigned xmn,unsigned xmx,unsigned ymn,unsigned ymx,
                 unsigned udiv,unsigned cor);

```

```

void graph_numb(unsigned xmn,unsigned xmx,unsigned ymn,unsigned ymx,
                unsigned udiv,float min,float max,float sample,unsigned bias,unsigned cor);

```

```

int graph_init(void);

```

```

float rx,ry;

```

```

int gdriver,gmode;

```

```

unsigned scrx,scry;

```

```

unsigned W_title[4] = { 0, 0.639, 43 };

```



```

unsigned W_graph[4] = { 0, 43,639,255 };
unsigned W_legend[4] = { 0,255,639,319 };
unsigned Graphs[4] = { 55, 50,625,230 };

/* Funcao para denormalizacao de coordenadas especiais na tela */
void denorm(void )
{
unsigned char i;
for (i=0; i<4; i=i+2) {
    W_title [i]=W_title [i]*rx; W_title [i+1]=W_title [i+1]*ry;
    W_graph [i]=W_graph [i]*rx; W_graph [i+1]=W_graph [i+1]*ry;
    W_legend[i]=W_legend[i]*rx; W_legend[i+1]=W_legend[i+1]*ry;
    Graphs [i]=Graphs [i]*rx; Graphs [i+1]=Graphs [i+1]*ry;
}
}

/* Funcao para desenhar grade de grafico */
void graph_grid2(unsigned xmn,unsigned xmx,unsigned ymn,unsigned ymx,
unsigned udiv,unsigned cor)
{
unsigned i;
float dxp,dyp;

setcolor(cor);
setlinestyle(SOLID_LINE,1,1);
dxp=(float ) (xmx-xmn)/udiv; dyp=(float ) (ymn-ymx)/udiv;
line(xmn,ymx,xmx,ymx); line(xmn,ymn,xmx,ymn);
line(xmn,ymx,xmn,ymn); line(xmx,ymx,xmx,ymn);

```

```

for (i=1; i<udiv; i++) {
    line(xmn-4,ymx+dyp*i,xmn,ymx+dyp*i);
    if (xmx+4<W_graph[2]-1) line(xmx+4,ymx+dyp*i,xmx,ymx+dyp*i);
    line(xmn+dxp*i,ymx-4,xmn+dxp*i,ymx);
    line(xmn+dxp*i,ymn+4,xmn+dxp*i,ymn);
}
}

/* Funcao para colocar o valor real da variavel no eixo-y e no eixo-x do grafico */
void graph_numb(unsigned xmn,unsigned xmx,unsigned ymn,unsigned ymx,
    unsigned udiv,float min,float max,float sample,unsigned bias,unsigned cor)
{
    unsigned i,h,w,zero,xdiv,ydiv;
    float dxp,dyp,dxf,dyf,temp;
    char numstr[10];

    setcolor(cor);
    settxtstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4);
    if (min>max) { temp=min; min=max; max=temp; }
    ydiv=2*udiv; xdiv=udiv;
    if (udiv<1) udiv=1;
    dxp=(float ) (xmx-xmn)/xdiv; dyp=(float ) (ymn-ymx)/ydiv;
    dyf=(float ) (max-min)/ydiv; dxf=(float ) dxp*sample;
    if (bias) {
        zero=(ymn+ymx)/2;
        if (min*max<0) {
            sprintf(numstr,"%3.0f",0.0); h=textheight(numstr);
            outtextxy(W_graph[0]+27,zero+h/2,numstr);
        }
    }
}

```

```

    }
}

for (i=0; i<=ydiv; i++) {
    sprintf(numstr, "%3.0f", min+dyf*i); h=textheight(numstr);
    outtextxy(W_graph[0]+27, ymn-dyp*i+h/2, numstr);
}

for (i=0; i<=xdiv; i++) {
    sprintf(numstr, "%.2g", dxf*i);
    h=textheight(numstr); w=textwidth(numstr);
    outtextxy(xmn+dxp*i-w/2+2, W_graph[3]-h-17, numstr);
}
}

/* Rotina de inicializacao grafica */
int graph_init(void)
{
    detectgraph(&gdriver, &gmode); if (graphresult()<0) return -3;
    initgraph(&gdriver, &gmode, ""); if (graphresult()<0) return -4;

    setgraphmode(1);          /* modo grafico do video e' 1 */
    scrx=(unsigned) getmaxx();
    scry=(unsigned) getmaxy(); /* Dimensao da tela grafica */
    rx=(float) (scrx+1)/640.; /* Relacao entre tela real e */
    ry=(float) (scry+1)/320.; /* tela normalizada (CGA-LO) */

    setviewport(0,0,scrx,scry,1);

    return 0;
}

```



## BIBLIOGRAFIA

- ASHMOLE,P.H. & DI CAPRIO,U.** Recorders for longer term system disturbances on the CEGB and ENEL systems. IEEE Transactions on Power Systems, feb. 1988, p.137-141.
- BRONZEADO,H.S.** Conceito, Avaliação, Análise e controle dos distúrbios causados pela operação de consumidores especiais. I ciclo de palestras de estudos e planejamento da operação de sistemas", Salvador-BA, 1986.
- CHAUDHURI,N.;GHOSH,S.:GHOSH,A.M.** A technique for simultaneous measurement with a microcomputer, IEEE Transactions on industrial electronics. maio 1985, p.144-119.
- CHOI,S.S. & CARISON,P.J.** Development and Application of a power- system digital transient recorder, IEEE proceeding, september 1987. p. 368-376.
- CLEWES,T.W. et alli.** A digital transient recorder for power system monitoring and analysis, IEEE Transactions on power apparatus and systems, jul. 1983, p.2186-2193.
- COSTA,E.A.C. et alli.** Desenvolvimento de um registrador digital de perturbação nos sistemas elétricos. 8 Congresso Brasileiro de Automatica, set. 1990. p.902-907.
- COSTA,E.A.C.** Desenvolvimento de um registrador de perturbações nos sistemas elétricos, Dissertação de mestrado, CCT/DEE, Campina Grande. jun. 1991.
- D'AJUZ A. et alli.** Transitórios elétricos e coordenação de isometro - Aplicação em sistemas de potência de alta tensão, Furnas, centrais elétrico S.A. 1987.
- DALLY,J.W.;RILEY,W.F.;McCONNEL.K.G.** Instrumentation for engeneering measurements. John Wiley & Sons, New York, 1984. 576 p.

- DJOKIC,B.;BOSNJAKOVIC,P.;BEGOVIC,M.** New method for reactive power and energy measurement IEEE Transactions on instrumentation and measurement, apr. 1992. p.280-285.
- FERRARO,R.F.** Guia do programador para as placas EGA e VGA. Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 1991, 696 p.
- KELLY-BOOTLE,S.** Dominando o turbo C. 2 ed. Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 1989, 610 p.
- KRUTZ,R.L.** Interfacing techniques in digital design with emphasis on microprocessors. John Wiley & Sons, New York,1988. 380 p.
- KURE-JENSEN,J. & HANISCH,R.** Integration of steam turbine controls into power plant systems IEEE Transactions on energy conversion, mar. 1991, p.177-187.
- LEE,D.C.** System Disturbance Monitoring in Ontario Hydro, IEEE Transactions on Power Systems, feb. 1988, pp. 144-148.
- LEE,R.E. & OSBORN,R.H.** A microcomputerbased data acquisition system for high impedance fault analysis. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, oct. 1985, pp. 2748-2753.
- ODENBERG,R. & BRASKICH,B.J.** Measurement of voltage and current surges on the AC power line computer and industrial environments IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, oct. 1985,pp. 2681-2691.
- PINSON,J.L.** Designing screen interfaces in C. Yourdon press, Englewood Cliffs, 1991, 267p.
- ROSALES MONTERO,L.R.** Projeto, implementação e simulação digital do sistema de excitação e regulador de tensão para um microgerador síncrono de 3KVA. Dissertação de Mestrado. DEE/CCT, Campina Grande, abr. 1991.
- ROSALES MONTERO,L.R.** Desenvolvimento de controladores digitais para um modelo reduzido de sistemas elétricos de potência. Tese de Doutorado. DEE/CCT, Campina Grande, em publicação.

**SAY, M.G.** Eletricidade geral Hemus, São Paulo, s.a.

**SAWICKI, T.R. & REINPRECHT, R.** Aplicação de microprocessadores na indústria, Ed. Campus, Rio de Janeiro. 1985.

**SCHILD, H.** Linguagem C: guia prático e interativo. Mc Graw-Hill, Rio de Janeiro, 1989, 363 p.

**SHEINGOLD, D.H.** Analog-digital conversion handbook. 2.ed. Analog Devices. Norwood, 1976.

**SIEMENS.** Model for demonstrating problems in transmission systems and power stations, Siemens review, ago. 1969, p. 315- 321.

**The IEEE Task Force on Instrumentation for system dynamic performance.**  
Instrumentation for monitoring power system dynamic performance. IEEE Transactions on Power Systems, feb. 1987, pp. 145-152.

**VENIKOV, V.** Transient processes in electrical power systems. Mir. Moscow. 1977.