

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO

CONSTRUÇÃO E INTEGRAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE
HARDWARE/SOFTWARE PARA MONITORAÇÃO E
CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA EM UMA REDE
ELÉTRICA

VALTER LUIZ ALVES

BLUMENAU
2003

2003/2-39

VALTER LUIZ ALVES

**CONSTRUÇÃO E INTEGRAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE
HARDWARE/SOFTWARE PARA MONITORAÇÃO E
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DE UMA REDE
ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Universidade Regional de Blumenau para a
obtenção dos créditos na disciplina Trabalho
de Conclusão de Curso II do curso de Ciência
da Computação — Bacharelado.

Prof. Miguel Alexandre Wisintainer – Orientador

**BLUMENAU
2003**

2003/2-39

**CONSTRUÇÃO E INTEGRAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE
HARDWARE/SOFTWARE PARA MONITORAÇÃO E
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DE UMA REDE
ELÉTRICA**

Por

VALTER LUIZ ALVES

Trabalho aprovado para obtenção dos créditos
na disciplina de Trabalho de Conclusão de
Curso II, pela banca examinadora formada
por:

Presidente: _____
Prof. Miguel Alexandre Wisintainer – Orientador, FURB

Membro: _____
Prof. Lúcio Baretta Todorov, FURB

Membro: _____
Prof. Antonio Carlos Tavares, FURB

Blumenau, 05 de dezembro de 2003

Dedico este trabalho a todas aquelas pessoas que de um jeito ou outro contribuíram para a realização deste trabalho, de modo especial para minha esposa que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos da minha formação.

Tentar e falhar é, pelo menos, aprender. Não chegar a tentar é sofrer a inestimável perda do que poderia ter sido.

Geraldo Eustáquio

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu imenso amor e graça.

À minha esposa, Nádía R. B. Alves, que sempre foi muito compreensiva e me incentivou em conseguir alcançar os objetivos.

À minha família, que mesmo longe, sempre esteve presente.

Ao meu orientador, Professor Miguel Alexandre Wisintainer, por toda a dedicação e paciência que teve comigo.

À empresa WEG, pelo empréstimo de materiais e por todo apoio dado a minha formação.

A todos os amigos e colegas que sempre me apoiaram e me ajudaram nos momentos em que precisei.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo, desenvolver um protótipo de hardware/ software que monitore grandezas de uma rede elétrica através de um medidor (transdutor) já existente no mercado e controle o disparo de bancos de capacitores para a devida correção do fator de potência desta mesma rede elétrica, através de um protótipo de hardware desenvolvido juntamente com o seu software. O protótipo de software desenvolvido no PC irá comunicar com o medidor de grandezas elétricas assim como com o hardware que irá acionar os bancos de capacitores, através de uma rede utilizando os padrões RS232 e RS485 e o protocolo *Modbus*. Como objetivos secundários, será apresentado um estudo sobre corrente alternada, fator de potência, protocolo *Modbus*, microcontroladores e os padrões seriais RS232 e RS485.

Palavras chaves: Monografia; PIC; Fator de Potência; Modbus;RS232;RS485.

ABSTRACT

This work has objective, main of this is to develop an of software/hardware that it monitors largenesses of an electric net through an existing measurer already in the market and has controlled the detonation of banks of capacitors for correction of the factor of power of this same electric net, through an of the hardware developed with its software. The of software developed in the PC, communicates with the measurer of electric largenesses as well as with the hardware that will go to set in motion the banks of capacitors, through a net using standard RS232 and RS485 and the Modbus protocol. As objective secondary, it will be presented a study on alternated current, factor of power, Modbus protocol, microcontrollers and serial standards RS232 and RS485.

Key-Words: Monograph; PIC; Power's Factor; Modbus; RS232; RS485.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Sinal CA monofásico Senoidal	14
FIGURA 2 - Representação do triângulo de potência	18
FIGURA 3 – Pergunta e resposta pelo protocolo <i>Modbus</i>	29
FIGURA 4 – Diagrama de blocos do PIC16F62x	38
FIGURA 5 – Diagrama de pinos do PIC16F62x	39
FIGURA 6 – Interface RS232	41
FIGURA 7 – <i>Driver</i> diferencial balanceado da interface RS485	44
FIGURA 8 – <i>Receiver</i> diferencial balanceado da interface RS485	47
FIGURA 9 – Diagrama macro do ambiente	48
FIGURA 10 – Protótipo de hardware	49
FIGURA 11 – Especificação do software do para microcontrolador	51
FIGURA 12 – Funções do protótipo	52
FIGURA 13 – Programação Serial	53
FIGURA 14 – Fechar serial	54
FIGURA 15 – Abrir serial	54
FIGURA 16 – Especificação <i>Modbus</i> no protótipo	55
FIGURA 17 – Função para definir endereço do transdutor	56
FIGURA 18 – Função para configurar valor do TC no transdutor	57
FIGURA 19 – Função para configurar valor do TP no transdutor	58
FIGURA 20 – Função para buscar o valor de corrente no transdutor	59
FIGURA 21 – Função para buscar o valor de tensão no transdutor	60
FIGURA 22 – Função para buscar o valor da potência aparente no transdutor	61
FIGURA 23 – Função para buscar o valor da potência reativa no transdutor	62
FIGURA 24 – Função para buscar o valor da potência ativa no transdutor	63
FIGURA 25 – Função para buscar o valor do fator de potência no transdutor	64
FIGURA 26 – Função para determinar capacitor que deverá ser ligado ou desligado	65
FIGURA 27 – Função para comunicação entre PC, transdutor e protótipo de hardware	66
FIGURA 28 – Tela de entrada do protótipo	70
FIGURA 29 – Tela para configuração da porta serial	71
FIGURA 30 – Tela para configuração do transdutor	73
FIGURA 31 – Tela para monitoração	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação da potência do transformador em função do fator de potência	22
Tabela 2 – Variação da seção do cabo em função do fator de potência	22
Tabela 3 – Formato da mensagem <i>Modbus</i> modo ASCII	31
Tabela 4 – Formato da mensagem <i>Modbus</i> modo RTU	32
Tabela 5 – Características de máquinas <i>RISC</i> e <i>CISC</i>	37
Quadro 1 – Programa do microprocessador (PIC)	68
Quadro 2 – Função para abertura da porta serial	71
Quadro 3 – Função para configuração do transdutor	73
Quadro 4 – Função para ler valor de corrente	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO	12
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 CORRENTE ALTERNADA	14
2.1 ÂNGULO DE FASE	15
2.1.1 CIRCUITO RESISTIVO	15
2.1.2 CIRCUITO INDUTIVO	16
2.2 CIRCUITO CAPACITIVO	16
2.3 CIRCUITOS EM CORRENTE ALTERNADA (CA)	16
2.4 TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS	17
3 FATOR DE POTÊNCIA.....	19
3.1 CONSEQUÊNCIAS DE UM BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	19
3.1.1 PERDAS NA INSTALAÇÃO	19
3.1.2 QUEDAS DE TENSÃO	20
3.1.3 SUBUTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA	20
3.1.4 PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS.....	22
3.2 CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA.....	22
3.3 VANTAGENS DA CORREÇÃO DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	23
3.3.1 VANTAGENS DA EMPRESA	23
3.3.2 VANTAGENS DA CONCESSIONÁRIA.....	23
3.4 CORREÇÃO EM REDES ELÉTRICAS COM HARMÔNICAS	24
3.4.1 FATOR DE POTÊNCIA REAL	24
3.5 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM BAIXA TENSÃO	25
3.6 LEGISLAÇÃO ATUAL SOBRE FATOR DE POTÊNCIA	26
4 PROTOCOLO MODBUS.....	28
4.1 MODELO DE COMUNICAÇÃO	28
4.2 MODO DE TRANSMISSÃO	29
4.2.1 MODO ASCII	29
4.2.1.1 FORMATO DA MENSAGEM NO MODO ASCII.....	30
4.2.2 MODO RTU	30
4.2.2.1 FORMATO DA MENSAGEM NO MODO RTU	31
4.2.3 CAMPO DE ENDEREÇO	31

4.2.4 CAMPO DE CÓDIGO DE FUNÇÃO.....	32
4.2.5 CAMPO DE DADOS	32
4.2.6 CAMPO DE CHECAGEM DE ERRO.....	33
5 MICROCONTROLADORES	34
5.1 ARQUITETURA DE HARWARE X VON NEUMANN.....	34
5.2 ARQUITETURA RISC VERSUS CISC.....	35
5.3 MICROCONTROLADOR PIC.....	37
6 MEIO DE TRANSMISSÃO RS485 – RS232	40
6.1 DESCRIÇÃO DO BARRAMENTO RS232.....	40
6.1.1 DESCRIÇÃO DOS SINAIS DO BARRAMENTO RS232	42
6.1.2 LIMITAÇÕES DO RS232.....	43
6.2 DESCRIÇÃO DO BARRAMENTO RS485.....	44
6.2.1 TRANSMISSÃO DE DADOS COM O <i>STANDARD</i> EIA RS485.....	45
6.3 INTERFACES RS485 PARA RS232 E VICE-VERSA	46
7 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....	47
7.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO	47
7.1.1.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE HARDWARE	48
7.1.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SOFTWARE PARA O PIC16F628	49
7.1.3 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SOFTWARE DO PC	51
7.2 IMPLEMENTAÇÃO	67
7.2.1 AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO	67
7.2.2 RECURSOS DE HARDWARE NECESSÁRIOS.....	67
7.2.3 PROTÓTIPO DE SOFTWARE.....	67
7.2.3.1 TELAS DO PROTÓTIPO	69
7.3 TESTES.....	77
8 CONCLUSÃO.....	78
8.1 EXTENSÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE A – Circuito eletrônico do protótipo.....	82

1 INTRODUÇÃO

Devido à crise energética que se vive nos dias atuais, o tema conservação de energia tornou-se parte efetiva da sociedade consumidora. Diversos programas têm se mostrados eficientes como forma de conscientizar o consumo de energia. A tecnologia tem ajudado no sentido de detectar falhas na distribuição e fornecimento da mesma.

Para o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o combate ao desperdício é uma fonte virtual de produção de energia elétrica. Isso significa que a energia não desperdiçada pode ser utilizada para alimentação de outros consumidores, sendo, portanto, a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe (CTAI, 2003).

A maioria das cargas das unidades consumidoras consomem energia reativa indutiva, como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros. As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência: potência ativa e potência reativa. A potência ativa é que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento. A potência reativa é usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, ou seja, não realiza trabalho (WEG, 2001).

Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa a outros consumidores (WEG, 2001).

O fator de potência de uma rede elétrica indica a eficiência com que a energia é utilizada, sendo que um alto fator de potência indica uma eficiência alta da rede e um baixo fator de potência indica uma eficiência baixa (EDMINISTER, 1991).

Normalmente a correção do fator de potência é feita com a instalação de bancos de capacitores na rede. Estes bancos passarão a funcionar como geradores de potência reativa para a carga, sendo que a rede não precisará fornecer mais esta potência, deixando assim um maior espaço na rede elétrica para fornecer potência para outros consumidores.

O decreto nº479, de 20 de março de 1992, estabelecido pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), reiterou a obrigatoriedade de se manter o fator de potência o mais próximo possível da unidade (1,00), tanto pelas concessionárias quanto pelos

consumidores. A nova legislação prevê aumento do limite mínimo do fator de potência de 0,85 para 0,92 (WEG, 2001).

Algumas empresas de automação, percebendo a necessidade do mercado de equipamentos que monitorassem e fizessem a devida correção do fator de potência, investiram no desenvolvimento de equipamentos eletrônicos que pudessem atender as necessidades das empresas e indústrias de um modo geral, para atender a legislação e não pagar multa por baixo fator de potência.

Hoje pode ser encontrado no mercado, diversos equipamentos para medição de grandezas elétricas e equipamentos para monitoração e correção de fator de potência. Sendo que este trabalho apresenta a interligação de um PC rodando um protótipo de software, para monitoração de grandezas elétricas e correção do fator de potência, com um destes medidores de grandezas elétricas e um protótipo desenvolvido para acionar os devidos bancos de capacitores para a correção do fator de potência.

Para interligar os equipamentos para que os mesmos possam interagir, foram utilizados os padrões seriais via barramento RS232 e RS485. Outro aspecto é o protocolo que irá efetuar a conexão e troca de mensagens entre os equipamentos, com este propósito, foi utilizada a proposta do *modbus*. Onde o hardware para leitura das grandezas elétricas e o hardware desenvolvido para acionar os bancos de capacitores, são os escravos e suas atividades na rede consistem em responder às questões emitidas pelo PC, ou seja, o mestre. Onde o mestre pode questionar um escravo qualquer em particular e esperar sua resposta.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho desenvolvimento tem por objetivo principal, especificar e desenvolver um protótipo de hardware/software para monitorar uma rede elétrica e fazer a devida correção de fator de potência através do incremento de bancos de capacitores. O software desenvolvido no computador irá interagir com um hardware já existente no mercado, que faz as leituras de uma rede elétrica e as envia para o computador, e com o hardware a ser desenvolvido que acionará os devidos bancos de capacitores em função da necessidade da rede elétrica. As leituras das grandezas elétricas, feitas pelo hardware já existente, serão de valores eficazes até décima sexta harmônica e feitas nos quatro quadrantes.

Para a realização deste trabalho, deve-se considerar outros objetivos tidos como secundários:

- a) estudo de corrente alternada;
- b) estudo de fator de potência;
- c) estudo do protocolo Modbus;
- d) estudo de microcontroladores;
- e) estudo dos padrões seriais RS232 e RS485.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para um melhor entendimento, este trabalho está organizado em 8 capítulos.

O primeiro capítulo descreve os objetivos deste trabalho, assim como se trata de uma introdução à análise de potências elétricas e fator de potência.

O segundo capítulo descreve os circuitos de corrente alternada, onde traz alguns conceitos gerais sobre corrente elétrica alternada e potência elétrica.

O terceiro capítulo descreve sobre fator de potência, conceitos, conseqüências e causas de um baixo fator de potência, vantagens da correção, correção em redes com harmônicas, correção em baixa tensão e legislação atual.

O quarto capítulo descreve sobre o protocolo utilizado no desenvolvimento deste trabalho, o Modbus.

O quinto capítulo descreve sobre microcontroladores, arquitetura Harvard e Von Neumann, arquitetura RISC e CISC e microcontroladores PIC.

O sexto capítulo descreve sobre os meios de comunicação RS232 e RS485, descrição de cada barramento, interfaces para RS232 para RS485 e vice versa.

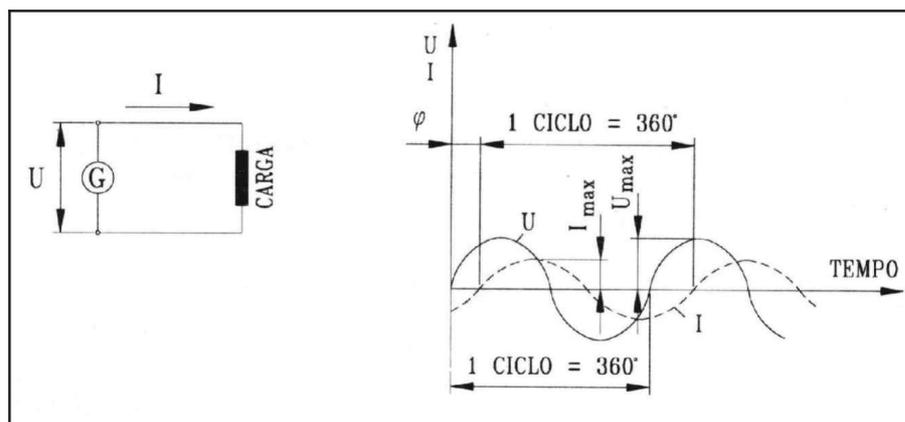
O sétimo capítulo descreve o protótipo em nível de especificação e implementação, será apresentado o protótipo de hardware/software, as ferramentas utilizadas bem como o funcionamento do protótipo. Serão apresentadas também todas as telas do protótipo e sua forma de utilização.

No oitavo capítulo tem-se as conclusões, limitações e trabalhos futuros.

2 CORRENTE ALTERNADA

A corrente alternada caracteriza-se pelo fato de que a tensão, em vez de permanecer fixa, como entre os pólos de uma fonte de tensão, varia com o tempo, mudando de sentido alternadamente. No sistema monofásico uma tensão alternada U (volt) é gerada e aplicada entre dois fios, aos quais se liga a carga, que absorve uma corrente I (ampére).

Representando em um gráfico os valores de U e I , a cada instante, vamos obter a figura 1, estão também indicadas algumas grandezas que serão definidas em seguida. Note que as ondas de tensão e de corrente não estão em fase, isto é, não passam pelo valor zero ao mesmo tempo, embora tenha a mesma frequência, isto acontece para muitos tipos de carga, por exemplo, enrolamentos de motores (cargas reativas).



Fonte: Weg (2001, p. 28)

FIGURA 1 – Sinal CA monofásico senoidal

Abaixo é descrito alguns conceitos e características de um sistema senoidal:

- a) Ciclo: É a parte de uma onda cujo conhecimento é necessário e suficiente para construção da mesma, ou ainda, é a representação completa de uma senoide.
- b) Período: É o tempo necessário, em segundos, para completar um ciclo.
- c) Frequência: É o número de vezes por segundo que a tensão muda de sentido e volta a condição inicial, ou ainda, é o numero de ciclos durante um segundo. É expressa em ciclos por segundo ou hertz, simbolizada por Hz;

- d) Tensão Máxima ($U_{m\acute{a}x}$): É o valor de pico da tensão, ou seja, o maior valor instantâneo atingido pela tensão durante um ciclo (este valor é atingido duas vezes por ciclo, uma vez positivo e uma vez negativo);
- e) Corrente Máxima ($I_{m\acute{a}x}$): É o valor de pico da corrente;
- f) Valor eficaz de tensão e corrente (U e I): É o valor da tensão e corrente alternadas que desenvolvem potência correspondente àquela desenvolvida pela corrente contínua. Pode-se demonstrar que o valor eficaz puramente senoidal vale:

$$U = \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \quad \text{e} \quad I = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

- g) Defasagem ou fator de deslocamento (ϕ): é o “atraso” ou “adiantamento” da onda de corrente em relação a onda da tensão. Em vez de ser medido em tempo (segundos), este atraso é geralmente medido em ângulo (graus) correspondente a fração de um ciclo completo, considerando 1 ciclo = 360° . A defasagem é freqüentemente expressa pelo cosseno do ângulo.

2.1 ÂNGULO DE FASE

Em um circuito de corrente alternada, se tensão e corrente forem ambas funções senoidais do tempo, a representação gráfica de ambas, sobre a mesma escala de tempo, mostrará um deslocamento entre elas, salvo se for uma resistência pura. Esse deslocamento é chamado de ângulo de fase e nunca excede 90° . Por convenção o ângulo de fase é sempre o ângulo que a corrente faz com a tensão (EDMINISTER, 1991).

2.1.1 CIRCUITO RESISTIVO

Um circuito puramente resistivo, é um circuito composto por apenas resistores, que é um dispositivo elétrico utilizado para introduzir resistência num circuito. Quando ligado em um circuito, e percorrido por uma corrente elétrica, este resistor irá consumir energia elétrica convertendo em calor.

Nos circuitos puramente resistivos, observa-se que a tensão e a corrente que percorrem o circuito, estão em fase, ou seja, não existe deslocamento entre tensão e corrente, ângulo de fase é de zero grau.

2.1.2 CIRCUITO INDUTIVO

Um circuito puramente indutivo, é um circuito composto por apenas indutores, ou bobinas perfeitas. Em um indutor a energia é armazenada num campo magnético. Quando em uma bobina é percorrida uma corrente, criará um campo magnético em volta desta bobina que por sua vez criará um fluxo magnético que as atravessa. A capacidade de uma bobina criar um fluxo magnético com determinada corrente é denominada indutância.

Nos circuitos puramente indutivos, observa-se que a corrente está atrasada noventa graus em relação à tensão, ou seja, o ângulo de fase é de 90° .

2.2 CIRCUITO CAPACITIVO

Um circuito puramente capacitivo, é um circuito composto por apenas capacitores. Em um capacitor a energia é armazenada na forma de campo elétrico. A capacitância, mede o quanto de energia elétrica pode ser armazenada em um capacitor.

Nos circuitos puramente capacitivos, observa-se que a corrente está adiantada de noventa graus em relação à tensão, ou seja, o ângulo de fase é de 90° .

2.3 CIRCUITOS EM CORRENTE ALTERNADA (CA)

Na prática, não encontramos um circuito que apresente apenas características de um circuito resistivo, indutivo ou capacitivo. Um circuito elétrico apresenta mais de uma característica e dependendo do circuito pode apresentar as três características simultaneamente, entretanto uma delas pode predominar. Podemos ter por exemplo uma bobina projetada para apresentar elevada indutância, mas o fio com que ela é fabricada possui alguma resistência, temos então um circuito que apresenta duas características, indutivo e resistivo (EDMINISTER, 1991).

2.4 TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS

A maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa indutiva, como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros. As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência, potência ativa e potência reativa (WEG, 2001).

Potência ativa (P) é a potência que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc. Sua unidade de medida é o watt (W). Para tensão e corrente senoidais, a potência ativa é a parte real da potência complexa. Para tensão e corrente periódicas não senoidais, a potência ativa é a soma das potências dos componentes contínuos, e das potências ativas dos componentes fundamentais e dos harmônicos (LUMIÈRE, 2001).

Potência reativa (Q) é a potência usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas. É mediada em volt ampère reativo (VAr). Em regime senoidal, é a parte imaginária da potência complexa (LUMIÈRE, 2001).

Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa.

A potência total absorvida é chamada de potência aparente (S), sua unidade de medida é o volt ampère (VA). Podemos dizer ainda que a potência aparente é o produto dos valores eficazes da tensão e da corrente, em um acesso (LUMIÈRE, 2001).

Pode-se representar a relação entre as três potências (ativa, reativa e aparente), através de um triângulo retângulo. Onde os catetos deste triângulo representam as potências ativa e reativa, sendo a potência aparente representada pela hipotenusa. O ângulo formado entre a potência aparente e a potência ativa, representa o ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente, ou ainda, o ângulo de fase. Sendo que este ângulo irá variar em função do tipo de carga que for ligada (EDMINISTER, 1991).

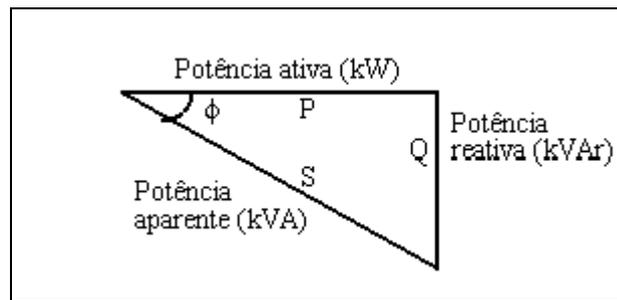


FIGURA 2 – Representação do triângulo de potência

3 FATOR DE POTÊNCIA

Fator de potência, pode ser definido, como sendo a relação entre a potência ativa para a potência aparente. Em um circuito puramente senoidal, pode-se dizer que o fator de potência é igual ao cosseno do ângulo ($\cos\phi$) entre a tensão e a corrente eficaz, ou ainda, o cosseno do ângulo entre potência aparente e potência ativa (EDMINISTER, 1991).

Em um circuito, onde exista a presença de harmônicos na rede, deve-se levar em consideração os valores dos componentes fundamentais e dos harmônicos para determinação das potências e posteriormente o valor do fator de potência (LUMIÈRE, 2001).

O valor do fator de potência, é um número compreendido entre 0 e 1, podendo ser positivo (fator de potência indutivo) ou negativo (fator de potência capacitivo). Ele indica a eficiência do uso da energia. Sendo que um alto fator de potência indica uma eficiência alta e inversamente, um fator de potência baixo indica baixa eficiência (WEG, 2001).

No triângulo de potências, podemos observar que quanto maior for a potência reativa maior será o fator de potência, logo maior será o espaço sendo ocupado na rede por uma potência que não realiza trabalho, quando este poderia estar disponível para outro consumidor de energia ativa.

3.1 CONSEQUÊNCIAS DE UM BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Baixos valores de fator de potência são decorrentes de quantidades de energia reativa. Essa condição resulta em aumento na corrente total que circula nas redes de distribuição de energia elétrica da concessionária e das unidades consumidoras, podendo sobrecarregar as subestações, as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando a estabilidade e as condições de aproveitamento dos sistemas elétricos, trazendo inconvenientes diversos, tais como perdas na instalação, quedas de tensão e subutilização da capacidade instalada (WEG, 2001).

3.1.1 PERDAS NA INSTALAÇÃO

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total. Como essa corrente cresce com o excesso da energia reativa,

estabelece-se uma relação entre o incremento das pedras e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos (WEG, 2001).

3.1.2 QUEDAS DE TENSÃO

O aumento da corrente devido ao excesso de energia reativa leva a quedas de tensão acentuadas, podendo ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede. Esse risco é sobretudo acentuado durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada. As quedas de tensão podem provocar ainda, a diminuição da intensidade luminosa, das lâmpadas e o aumento da corrente nos motores (WEG, 2001).

3.1.3 SUBUTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA

A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos. O “espaço” ocupado pela energia reativa poderia ser então utilizado para o atendimento de novas cargas (WEG, 2001).

Os investimentos em ampliação das instalações estão relacionados principalmente aos transformadores e condutores necessários. O transformador a ser instalado deve atender à potência total dos equipamentos utilizados, mas devido a presença de potência reativa, a sua capacidade deve ser calculada com base na potência aparente das instalações (WEG, 2001).

A Tabela 1 mostra a potência total que deve ter o transformador, para atender uma carga útil de 800kW para fatores de potência crescentes.

Tabela 1 – Variação da potência do transformador em função do fator de potência

Potência útil absorvida -kW	Fator de potência	Potência do trafo – kVA
800	0,50	1600
	0,80	1000
	1,00	800

Também o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos cresce com o aumento da energia reativa. Da mesma forma, para transportar a mesma potência ativa sem os aumentos das perdas, a seção dos condutores deve aumentar à medida que o fator de potência diminui. A Tabela 2 ilustra a variação da seção de um condutor em função do fator de potência. Nota-se que a seção necessária, supondo-se um fator de potência 0,70 é o dobro da seção para o fator de potência 1,00 (WEG, 2001).

Tabela 2 – Variação da seção do cabo em função do fator de potência

Seção relativa	Fator de potência
1,00	1,00
1,23	0,90
1,56	0,80
2,04	0,70
2,78	0,60
4,00	0,50
6,25	0,40
11,10	0,30

A correção do fator de potência por si só já libera capacidade para instalação de novos equipamentos, sem a necessidade de investimentos em transformador ou substituição de condutores para esse fim específico.

3.1.4 PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS

- a) Acréscimo na conta de energia elétrica por estar operando com baixo fator de potência;
- b) Limitação da capacidade dos transformadores de alimentação;
- c) Quedas e flutuações de tensão nos circuitos de distribuição;
- d) Sobrecarga nos equipamentos de manobra, limitando sua vida útil;
- e) Aumento das perdas elétricas na linha de distribuição pelo efeito Joule;
- f) Necessidade de aumento do diâmetro dos condutores;
- g) Necessidade de aumento da capacidade dos equipamentos de manobra e de proteção.

3.2 CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

- a) Motores de indução trabalhando a vazio;
- b) Motores superdimensionados para sua necessidade de trabalho;
- c) Transformadores trabalhando a vazio ou com pouca carga;
- d) Reatores de baixo fator de potência no sistema de iluminação;
- e) Fornos de indução ou a arco;
- f) Máquinas de tratamento térmico;
- g) Máquinas de solda;
- h) Nível de tensão acima do valor nominal provocando um aumento do consumo de energia reativa.

3.3 VANTAGENS DA CORREÇÃO DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Uma forma econômica e racional de se obter a energia reativa necessária para a operação adequada dos equipamentos é a instalação de capacitores próximos desses equipamentos. A instalação de capacitores deve ser precedida de medidas operacionais que levem à diminuição da necessidade de energia reativa, como o desligamento de cargas indutivas ociosas ou superdimensionadas (WEG, 2001).

Em função das cargas na grande maioria serem indutivas, a instalação de bancos de capacitores servirá como gerador de energia reativa para as cargas, sendo que a rede não irá precisar fornecer mais esta parcela de energia reativa, liberando assim uma parcela ocupada no sistema elétrico.

A devida correção do baixo fator de potência, traz uma série de vantagens tanto para a empresa consumidora como para a concessionária de energia elétrica (WEG, 2001).

3.3.1 VANTAGENS DA EMPRESA

- a) Redução significativa do custo de energia elétrica;
- b) Aumento da eficiência energética da empresa;
- c) Melhoria da tensão;
- d) Aumento da capacidade dos equipamentos de manobra;
- e) Aumento da vida útil das instalações e equipamentos;
- f) Redução do efeito Joule;
- g) Redução da corrente reativa na rede elétrica (WEG, 2001).

3.3.2 VANTAGENS DA CONCESSIONÁRIA

- a) O bloco de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição;

- b) Evita as perdas pelo efeito Joule;
- c) Aumenta a capacidade do sistema de transmissão e distribuição para conduzir o bloco de potência ativa;
- d) Aumenta a capacidade de geração com intuito de atender mais consumidores;
- e) Diminui os custos de geração (WEG, 2001);

3.4 CORREÇÃO EM REDES ELÉTRICAS COM HARMÔNICAS

Segundo WEG (2001), harmônicas são frequências múltiplas da frequência fundamental. Sua principal origem é na instalação de cargas não lineares cuja forma de onda da corrente não acompanha a forma de onda senoidal da tensão de alimentação.

A tarefa de corrigir o fator de potência em uma rede com harmônica é mais complexa, pois as harmônicas vão interagir com os capacitores causando fenômenos de ressonância.

Altos níveis de distorção harmônica numa instalação elétrica podem causar problemas para as redes de distribuição das concessionárias e para a própria instalação, assim como para os equipamentos ali instalados (WEG, 2001).

Segundo WEG (2001), o aumento de tensão na rede causado pela distorção harmônica, acelera a fadiga dos motores elétricos e as isolações de fios e cabos, o que pode ocasionar queimas, falhas e desligamentos. Adicionalmente, as correntes aumentam a corrente eficaz (RMS), causando elevações nas temperaturas de operação de diversos equipamentos e diminuição de sua vida útil.

3.4.1 FATOR DE POTÊNCIA REAL

Quando há distorção harmônica, o triângulo de potência recebe uma terceira dimensão provocada pela potência aparente necessária para sustentar a distorção da frequência fundamental (50/60 Hz).

O fator de potência real, leva em consideração a defasagem entre a corrente e a tensão, os ângulos de defasagem de cada harmônica e a potência reativa para produzi-las. Sendo que a correção sempre deve ser feita pelo fator de potência real (WEG, 2001).

3.5 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA EM BAIXA TENSÃO

A correção do fator de potência, normalmente é realizada com a instalação de bancos de capacitores, sendo que estes passarão a funcionar como geradores de potência reativa para carga. Teremos assim, dois triângulos de potência. O primeiro com um fator de potência maior, que será o triângulo de potência da energia fornecida pela concessionária, e o segundo que será na própria carga, após o banco de capacitores, que terá um fator de potência menor em função de a carga necessitar energia reativa para seu funcionamento, energia esta que será fornecida pelos capacitores e não mais pela concessionária.

A correção pode ser feita instalando os capacitores de cinco maneiras diferentes, tendo como objetivos a conservação de energia e a relação custo/benefício. A correção pode ser feita na entrada de energia de alta tensão, na entrada de energia de baixa tensão, por grupos de carga, correção localizada e correção mista (WEG, 2001).

A correção na entrada de energia de alta tensão corrige o fator de potência visto pela concessionária, permanecendo internamente todos os inconvenientes citados pelo baixo fator de potência.

A correção na entrada da energia de baixa tensão permite uma correção bastante significativa, normalmente com bancos automáticos de capacitores. Utiliza-se este tipo de correção em instalações elétricas com elevado número de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes. A principal desvantagem consiste em não haver alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.

Na correção por grupos de cargas, o capacitor é instalado de forma a corrigir um setor ou um conjunto de pequenas máquinas. É instalado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos. Tem como desvantagem não diminuir a corrente nas alimentadoras de cada equipamento.

A correção localizada é obtida instalando-se os capacitores junto ao equipamento que se pretende corrigir o fator de potência. Representa, do ponto de vista técnico, a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:

- a) reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
- b) diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos;
- c) pode-se utilizar em sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se um equipamento de manobra;
- d) gera potência reativa somente onde é necessário.

Na correção mista, no ponto de vista “Conservação de energia”, considerando aspectos técnicos, práticos e financeiros, torna-se a melhor solução.

Segundo WEG (2001), quando se corrige um fator de potência de uma instalação, consegue-se um aumento de potência aparente disponível e também uma queda significativa da corrente. Por exemplo, uma carga de 930kW, 380V e f.p.= 0,65 deseja-se corrigir o fator de potência para 0,92:

- a) Sem correção do fator de potência:

Potência aparente inicial= 1431kVA

Corrente inicial= 2174A

- b) Com correção de fator de potência:

Potência aparente final= 1010kVA

Corrente final= 1536A

Neste caso poderá aumentar 41% de cargas elétricas na instalação.

3.6 LEGISLAÇÃO ATUAL SOBRE FATOR DE POTÊNCIA

Em conformidade com o estabelecido pelo Decreto nº62.724 de 17 de maio de 1968 e com a nova redação dada pelo decreto nº75.887 de 20 de junho de 1975, as concessionárias

de energia elétrica adotaram, desde então, o fator de potência 0,85 como referência para limitar o fornecimento de energia reativa (ANEEL, 2003).

O Decreto nº479, de 20 de março de 1992, reiterou a obrigatoriedade de se manter o fator de potência o mais próximo possível da unidade (1,00), tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores, recomendando, ainda, ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) o estabelecimento de um novo limite de referência para o fator de potência indutivo e capacitivo, bem como a forma de avaliação e de critério de faturamento da energia reativa excedente a esse novo limite (ANEEL, 2003).

A nova legislação pertinente, estabelecida pelo DNAEE, introduz uma nova forma de abordagem do ajuste pelo baixo fator de potência, com os seguintes aspectos relevantes:

- a) Aumento do limite mínimo do fator de potência de 0,85 para 0,92;
- b) Faturamento de energia reativa capacitiva excedente;
- c) Redução do período de avaliação do fator de potência de mensal para horário, a partir de 1996.

Com isso muda-se o objetivo do faturamento: em vez de ser cobrado um ajuste por baixo fator de potência, como faziam até então, as concessionárias de energia elétrica passam a faturar a quantidade de energia ativa que poderia ser transportada no espaço ocupado por esse consumo de reativo. Este é o motivo porque as tarifas aplicadas serem as de demanda e consumo de ativos, inclusive ponta e fora de ponta para os consumidores enquadrados na tarifação horosazonal.

Além do novo limite e da nova forma de medição, outro ponto importante ficou definido: das 6h da manhã às 24h o fator de potência deve ser no mínimo 0,92 para a energia e demanda de potência reativa indutiva fornecida, e das 24h até às 6h no mínimo 0,92 para energia e demanda de potência reativa capacitiva recebida.

4 PROTOCOLO MODBUS

O protocolo de comunicação abordado neste trabalho é o *Modbus* que foi desenvolvido pela companhia *Modicon Industrial Automation Systems*, hoje do grupo Schneider. Este protocolo define uma estrutura de mensagem, onde os equipamentos instalados nesta rede reconhecerão e usarão, além de definir o processo que um equipamento usa para pedir acesso a outros dispositivos, como responderá a pedidos desses outros dispositivos, e como serão descobertos erros da comunicação e serão informadas as suas origens.

Sendo o *Modbus* uma linguagem informática independente do material, esta permite o diálogo entre equipamentos de natureza e construtores diferentes. Também é importante ressaltar que existem várias implementações do protocolo *Modbus*. Como sua especificação é bastante ampla, às vezes é necessário implementar todas as suas especificações para se ter uma rede industrial padrão *Modbus* em funcionamento, ou seja, tem-se como padrão de mercado o formato simples de mensagens que o *Modbus* utiliza (CUNHA, 2000).

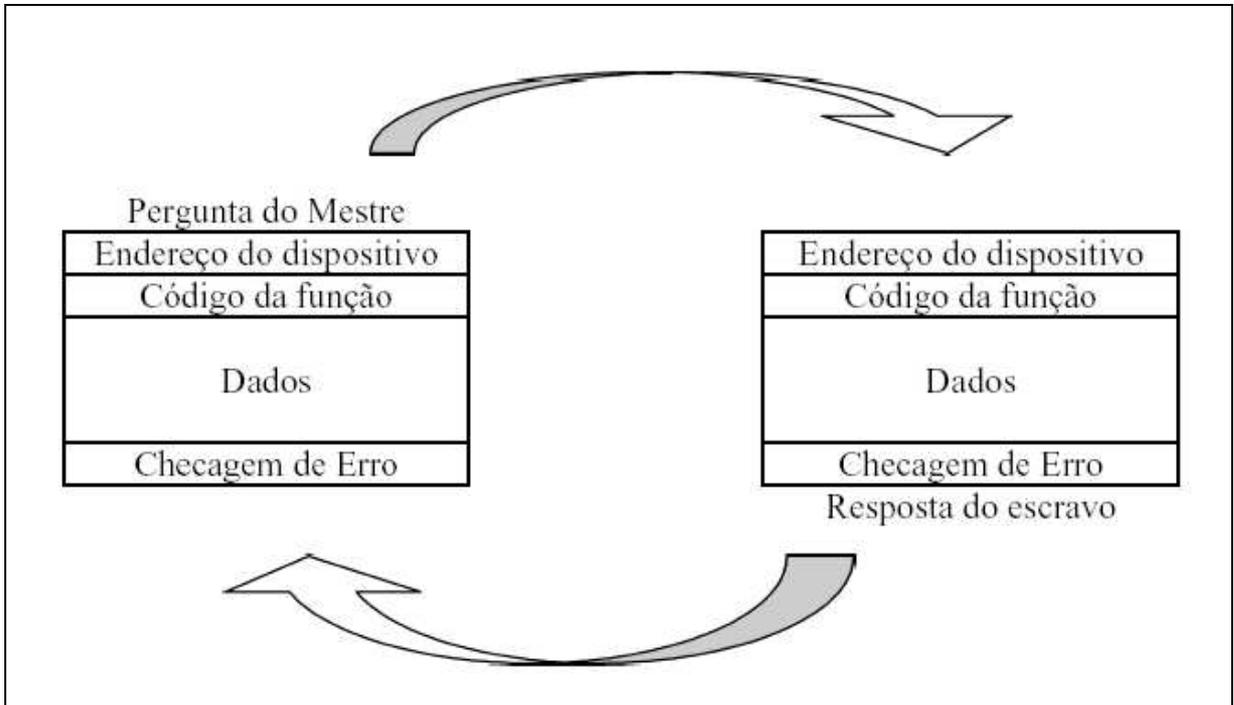
Embora seja utilizado normalmente sobre conexões seriais padrão RS232, ele também pode ser usado como um protocolo da camada de aplicação de redes industriais tais como TCP/IP sobre *Ethernet* e *MAP*. Este é talvez o protocolo de mais larga utilização em automação industrial, pela sua simplicidade e facilidade de implementação (SEIXAS, 2003).

4.1 MODELO DE COMUNICAÇÃO

O protocolo *Modbus* é baseado em um modelo de comunicação mestre-escravo, onde um único dispositivo, o mestre, pode iniciar transações denominadas *queries*. Os demais dispositivos da rede (escravos) respondem, suprimindo os dados requisitados pelo mestre ou executando uma ação por ele comandada. Geralmente o mestre é um sistema supervisor e os escravos são controladores lógico programáveis (SEIXAS, 2003).

Os papéis de mestre e escravo são fixos, quando se utiliza comunicação serial, mas em outros tipos de rede, um dispositivo pode assumir ambos os papéis, embora não simultaneamente (SEIXAS, 2003).

Na rede, o mestre pode questionar um escravo em particular e esperar pela sua resposta, o que é chamado de modo questão/resposta. Outra forma é o modo Difusão, onde o mestre manda uma questão para todos os escravos da rede.



Fonte: Seixas (2003)

FIGURA 3 – Pergunta e resposta pelo protocolo *Modbus*

4.2 MODO DE TRANSMISSÃO

Para o *Modbus* existem dois modos de transmissão serial: ASCII (*American Code for Information Interchange*) e RTU (*Remote Terminal Unit*), que são selecionados durante a configuração dos parâmetros de comunicação e dependendo do controlador pode ou não permitir a utilização dos dois modos de transmissão.

A seleção de ASCII ou RTU definem o número de bits em um campo de mensagem transmitido serialmente na rede. Define também como serão empacotadas e decodificadas as informações (CUNHA, 2000).

4.2.1 MODO ASCII

Nos controladores de uma rede que utilizam o protocolo *Modbus* e o modo de transmissão ASCII, cada byte de mensagem é enviado como dois caracteres ASCII. Durante a

transmissão, intervalos de até um segundo entre caracteres são permitidos, sem que a mensagem seja truncada. Algumas implementações fazem uso de tais intervalos de silêncio como delimitadores de fim de mensagem, em substituição à seqüência *cr+lf*.

Sistema de transmissão de 10 bits por byte, sendo:

1 start bit

7 bits de dados LSb enviado primeiro

1 bit de paridade (par/ímpar) + 1 stop bit

ou 0 bit de paridade + 2 stop bits

Campo de Checagem de Erros: *Longitudinal Redundancy Check* (LCR).

4.2.1.1 FORMATO DA MENSAGEM NO MODO ASCII

No modo ASCII, toda mensagem começa com o caracter dois pontos (:), e é finalizada com um caracter de *Carriage Return* (CRLF). Sendo assim todos os escravos ligados na rede, ficam aguardando o caracter de início de mensagem e logo após o endereço do destinatário.

O formato da mensagem no modo ASCII é mostrado na tabela 3.

Tabela 3 – Formato da mensagem *Modbus* modo ASCII (SEIXAS, 2003)

Start	Endereço	Função	Dados	LRC	END
: (0x3A)	2 Chars	2 Chars	N Chars	2 Chars	CRLF

4.2.2 MODO RTU

Nos controladores de uma rede que utilizam o protocolo *Modbus* e o modo de transmissão RTU, cada byte de mensagem é enviado como um byte de dados, ou ainda, cada oito bits representa dois números. O primeiro número é representado pelos quatro bits mais representativos, sendo que o segundo é representado pelos quatro bits menos representativos.

A principal vantagem desse modo, é que sua maior densidade de caracteres, permite um melhor processamento dos dados que o modo ASCII em uma mesma taxa de transmissão (CUNHA, 2000).

A mensagem deve ser transmitida de maneira contínua, já que pausas maiores que 1,5 caractere provocam truncamento da mesma (SEIXAS, 2003).

Sistema de transmissão de 11 bits por byte, sendo:

1 start bit

8 bits de dados LSb enviado primeiro

1 bit de paridade (par/ímpar) + 1 stop bit

ou 0 bit de paridade + 2 stop bits

Campo de Checagem de Erros: *Ciclical Redundancy Check* (CRC).

4.2.2.1 FORMATO DA MENSAGEM NO MODO RTU

No modo RTU, toda mensagem começa e termina com um intervalo de tempo que varia de 3 a 5 bytes de silêncio. Sendo assim todos os escravos ligados na rede, ficam aguardando este intervalo de silêncio e logo após o endereço do destinatário.

O formato da mensagem no modo ASCII é mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Formato da mensagem *Modbus* modo RTU (SEIXAS, 2003)

Start	Endereço	Função	Dados	CRC	END
Silêncio 3..5 chars	← 8 bits→	← 8 bits→	←N x 8 bits→	←16 bits→	Silêncio 3..5 chars

4.2.3 CAMPO DE ENDEREÇO

A faixa de endereços válidos vai de 0 a 247 (0x00 a 0xf7 hexadecimal), sendo que os dispositivos recebem endereços de 1 a 247. O endereço zero é reservado para o modo difusão

(*broadcast*), ou seja, mensagens com esse valor de endereço são reconhecidas por todos os elementos da rede.

Quando há outros protocolos de rede abaixo do *Modbus*, o endereço é normalmente convertido para o formato utilizado pelos mesmos. Nesse caso, pode ser que o mecanismo de difusão não seja suportado. Quando o mestre envia uma mensagem para os escravos, este campo contém o endereço do escravo. Quando o escravo responde para o mestre, coloca seu próprio endereço neste campo para o mestre saber qual escravo está respondendo.

4.2.4 CAMPO DE CÓDIGO DE FUNÇÃO

O campo de código de função varia de 1 a 255 (0x01 a 0xff), mas apenas a faixa de 1 a 127 (0x01 a 0x7f) é utilizada, já que o *bit* mais significativo é reservado para indicar respostas de exceção.

Normalmente, uma resposta inclui o código de função da requisição que lhe deu origem. No entanto, em caso de falha, o *bit* mais significativo do código é ativado para indicar que o conteúdo do campo de dados não é a resposta esperada, mas sim um código de diagnóstico.

4.2.5 CAMPO DE DADOS

No modo RTU, este campo é constituído de dois dígitos binários, já no modo ASCII é constituído por um par de caracteres. O tamanho e conteúdo deste campo variam com a função e o papel da mensagem, requisição ou resposta, podendo mesmo ser um campo vazio.

Em certos comandos, o campo de dados pode ser inexistente, como por exemplo, quando um mestre pede a um escravo os dados de produção. A função, por si só já faz com que o comando seja entendido pelo escravo, sem haver necessidade de dados adicionais (CUNHA, 2000).

4.2.6 CAMPO DE CHECAGEM DE ERRO

O ultimo campo antes da finalização da mensagem, é conhecido como campo de checagem de erros, que faz a conferencia da integridade dos dados enviados ou recebidos. Este campo possui formas distintas no modelo ASCII e RTU.

No modo de transmissão ASCII, o campo de checagem de erro é preenchido pelo resultado de um Cálculo de Redundância Longitudinal (LRC), que é realizado com o conteúdo da mensagem excluindo o campo de início e de final da mensagem. Este campo pode conter um ou dois caracteres.

No modelo de transmissão RTU, o campo de checagem de erro é preenchido com o resultado de um Cálculo de Redundância Cíclica (CRC). Este campo contem 16 bits.

No desenvolvimento do protótipo, utilizou-se o protocolo de comunicação *Modbus* com o formato de transmissão RTU.

5 MICROCONTROLADORES

Em poucas palavras, poderíamos definir o microcontrolador como um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos (SILVA, 2001).

O controle de processos deve ser entendido como o controle de periféricos, tais como: LED's, botões, display's de segmentos, display's de cristal líquido (LCD), resistências, relês, sensores diversos (pressão, temperatura, etc.) e muitos outros. São chamados de controles lógicos, pois a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e/ou saída (SOUZA, 2001).

O microcontrolador é programável, pois toda lógica de operação de que acabo de falar é estruturada na forma de programa e gravada dentro do componente. Depois disso, toda vez que o microcontrolador for alimentado, o programa será executado. Quanto á inteligência do componente, podemos associá-la à Unidade Lógica Aritmética (ULA), pois é nessa unidade que todas as operações matemáticas e lógicas são executadas. Quanto mais poderosa a ULA do componente, maior sua capacidade de processar informações (SOUZA, 2001).

O microcontrolador possui em uma única patilha de silício encapsulada, todos os componentes necessários ao controle de um processo, ou seja, memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, *timer's*, contadores, comunicação serial, PWM's, conversores A/D, etc.

5.1 ARQUITETURA DE HARWARE X VON NEUMANN

A maioria dos microcontroladores comuns e vários microcontroladores existentes no mercado tem sua estrutura interna de memória de dados e programa baseados na conhecida arquitetura de Von Neumann, que prevê um único barramento de comunicação entre memórias e a unidade central de processamento (CPU) (SILVA, 2000).

Na estrutura de Von Neumann, todos os dados tratados pela CPU passam por uma via única, então enquanto a CPU esta lendo um dado ou instrução de memória, as vias internas não podem ser usadas para outra finalidade (SILVA, 2000).

Uma outra arquitetura diferente é conhecida como Harvard. Esta arquitetura prevê várias vias de comunicação entre CPU e periféricos, permitindo a realização de várias operações simultaneamente, o que implica em aumento considerável na velocidade de execução e permite ainda que memória de dados e programas tenham tamanhos diferentes (SILVA, 2000).

5.2 ARQUITETURA RISC VERSUS CISC

RISC é a abreviação em inglês de Computador com Conjunto de Instruções Reduzido (*Reduced Instruction Set Computer*) nome dado em contraste com a arquitetura tradicional de computadores CISC (*Complex Instruction Set Computer*), ou Computador com Complexo Conjunto de Instruções. Como exemplo desta arquitetura temos os antigos *mainframes*, IBM 360, DEC VAX, Intel 80386, Motorola 68030 e outros (SILVA, 2001).

No começo da década de 80, a tendência era construir *chips* com conjuntos de instruções cada vez mais complexos. Porém alguns fabricantes resolveram seguir o caminho oposto, criando o padrão RISC, capazes de executar apenas algumas poucas instruções simples. Justamente por isso, os *chips* baseados nesta arquitetura são mais simples e muito mais baratos. Outra vantagem dos processadores RISC, por terem um menor número de circuitos internos, podem trabalhar a frequências mais altas (SILVA, 2001).

Um processador RISC é capaz de executar tais instruções muito mais rapidamente. A idéia principal, é que apesar de um processador CISC ser capaz de executar centenas de instruções diferentes, apenas algumas são usadas frequentemente. Posso então criar um processador otimizado para executar apenas estas instruções simples que são usadas mais frequentemente. Em conjunto com um software adequado, este processador seria capaz de desempenhar quase todas as funções de um processador CISC, acabando por compensar suas limitações com uma maior velocidade de processamento. É indiscutível, porém, que em instruções complexas os processadores CISC saem-se melhor. Por isso, ao invés da vitória de uma das duas tecnologias, atualmente existem processadores híbridos, que são essencialmente processadores CISC, mas incorporam muitos recursos encontrados nos processadores RISC ou vice-versa (SILVA, 2001).

Examinando de um ponto de vista um pouco mais prático, a vantagem de uma arquitetura CISC é que já tem muitas das instruções guardadas no próprio processador, o que

facilita o trabalho dos programadores, que já dispõe de praticamente todas as instruções que serão usadas em seus programas (SILVA, 2001).

No caso de um *chip* estritamente RISC, o programador já teria um pouco mais de trabalho, pois como disporia apenas de instruções simples, teria sempre que combinar várias instruções sempre que precisasse executar alguma tarefa mais complexa (SILVA, 2001).

Máquinas RISC diferem das máquinas CISC basicamente em 8 pontos críticos, conforme tabela 5 (SILVA, 2001).

Tabela 5 – Características de máquinas RISC e CISC

RISC	CISC
Instruções simples em apenas um ciclo	Instruções complexas de múltiplos ciclos
Apenas LOADS/STORES referenciam a memória	Qualquer instrução referencia a memória
Presença forte de <i>pipeline</i>	Pouco ou nenhum <i>pipeline</i>
Instruções executadas pelo hardware	Instruções interpretadas por microprograma
Instruções de formato fixo	Instruções de formato variado
Poucas instruções e modos	Muitas instruções e modos
Complexidade no compilador	Complexidade no microprograma
Vários conjuntos de registradores	Único conjunto de registradores

Apesar das máquinas RISC terem alcançado a admiração de um bom número de usuários e estudiosos em arquitetura de computadores, existem ainda muitas controvérsias a respeito da superioridade das máquinas RISC em relação às antigas máquinas CISC. Além disso, máquinas CISC dominaram o mercado de computadores por décadas e existem também algumas limitações para máquinas RISC nas quais uma CISC apresenta rendimento bem melhor (SILVA, 2001).

5.3 MICROCONTROLADOR PIC

O PIC é um circuito integrado produzido pela Microchip Technology Inc, que pertence à categoria dos microcontroladores, ou seja, um componente que contém todos os recursos necessários para realizar um completo sistema digital programável, dentro de um único encapsulamento.

O PIC dispõe de todos os dispositivos típicos de um sistema microprocessado, como:

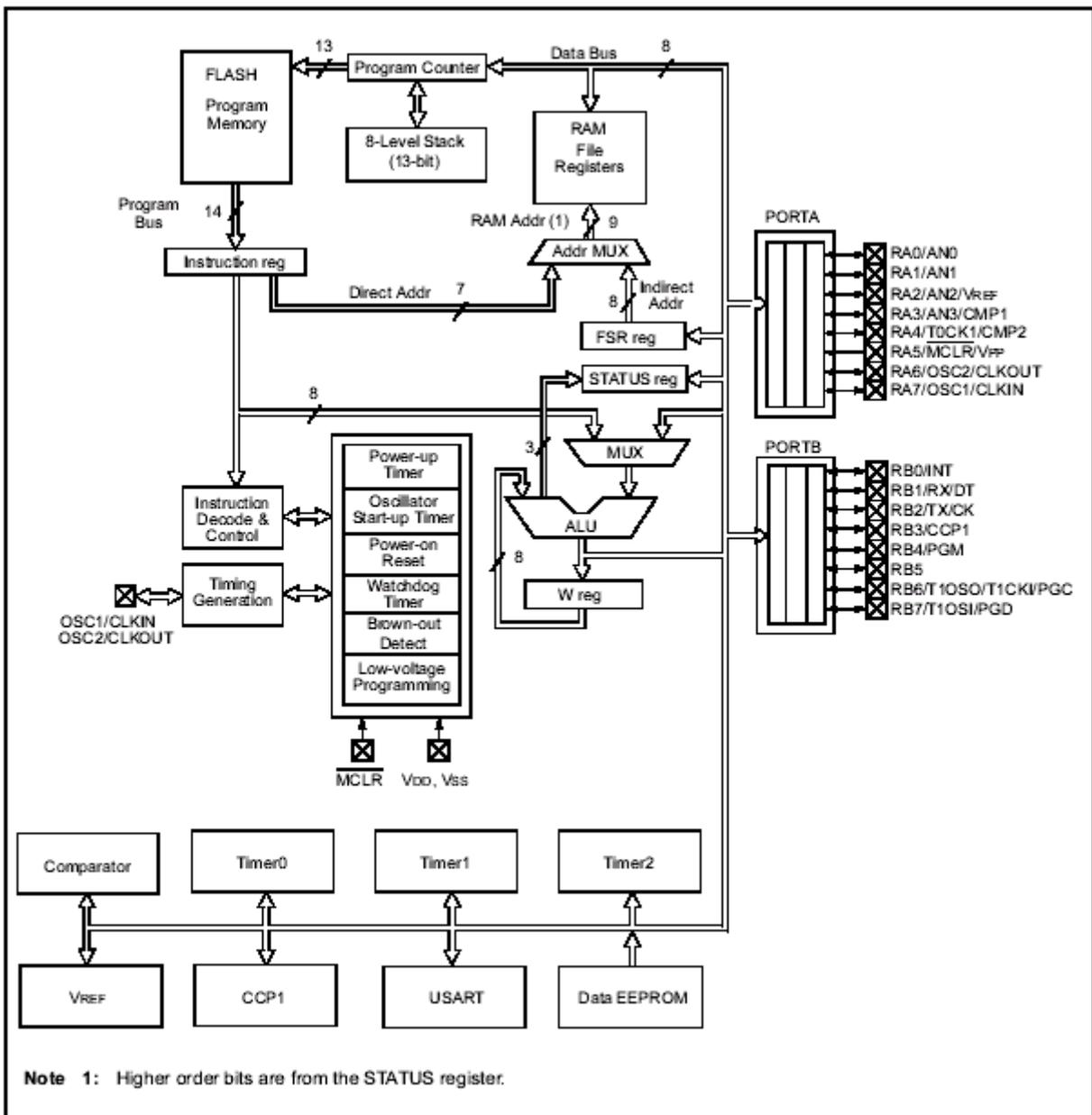
- a) CPU;
- b) memória EEPROM;
- c) memória RAM;
- d) linhas de I/O;
- e) sofisticados periféricos, como PWM, A/D e D/A, USART;
- f) dispositivos auxiliares ao funcionamento, como gerador de *clock*, contadores, *timers*, acessíveis por meio de registradores.

A presença de todos estes dispositivos em um espaço extremamente pequeno, oferece ao desenvolvedor menos trabalho na montagem de um sistema básico, bem como redução de custos de componentes que seriam necessários caso fosse um microcontrolador (SILVA, 2001).

Os PICs utilizam a arquitetura RISC, apresentando assim cerca de 35 instruções (variado de acordo com o microcontrolador). Permite também a estrutura *pipelining* onde enquanto uma instrução está sendo processada outra esta sendo carregada pela via de memória de programa (SOUZA, 2001).

Os microcontroladores PIC apresentam uma estrutura de máquina do tipo Harvard, onde o barramento de dados é de 8 bits e o barramento de instruções pode ser de 12, 14 ou 16 bits (SOUZA, 2001).

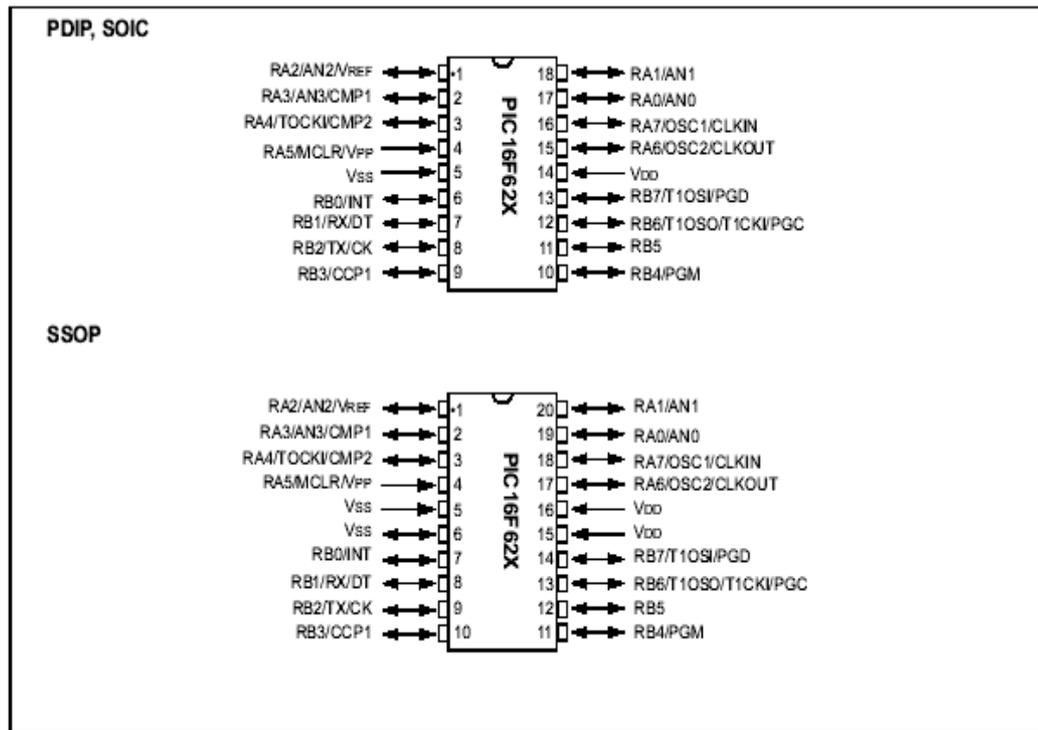
No desenvolvimento do protótipo foi utilizado o PIC16F628, sua organização interna pode ser observada na figura 4.



Fonte: Microchip (2003)

FIGURA 4 – Diagrama de blocos do PIC16F62x

Na figura 5, pode ser observado o diagrama de pinos do PIC16F628, com suas respectivas funções.



Fonte: Microchip (2003)

FIGURA 5 – Diagrama de pinos do PIC16F62x

6 MEIO DE TRANSMISSÃO RS485 – RS232

Os padrões RS232 e RS485, foram desenvolvidos pela *Electronic Industry Association* (EIA) para permitir a comunicação entre os periféricos e o computador independentemente do fabricante. Estes dois padrões estão destinados para a comunicação serial assíncrona. Isto significa que cada bit é transmitido em um tempo usando um bit de *start*, sete ou oito bits de dados, um bit de *stop*, e opcionalmente, um bit de paridade. O dado é “*self clocking*”, isto quer dizer que uma vez que o transmissor (*sender*) e o receptor (*receiver*) concordam com o *baud rate*, o tempo dos bits individuais é baseado somente nos bit de *start* e *stop* (DEMIC, 2003).

Existem outros padrões alternativos como são a comunicação síncrona e a comunicação paralela. A comunicação síncrona requer uma linha de *clock* entre o *sender* e o *receiver*. A comunicação paralela requer uma linha de *clock*, usualmente de algumas sinais de controle e muitas linhas de dados. Com a comunicação síncrona e com a paralela podem ser alcançadas maiores velocidades de transferências de dados que com a assíncrona, mas são requeridos mais fios de comunicação (DEMIC, 2003).

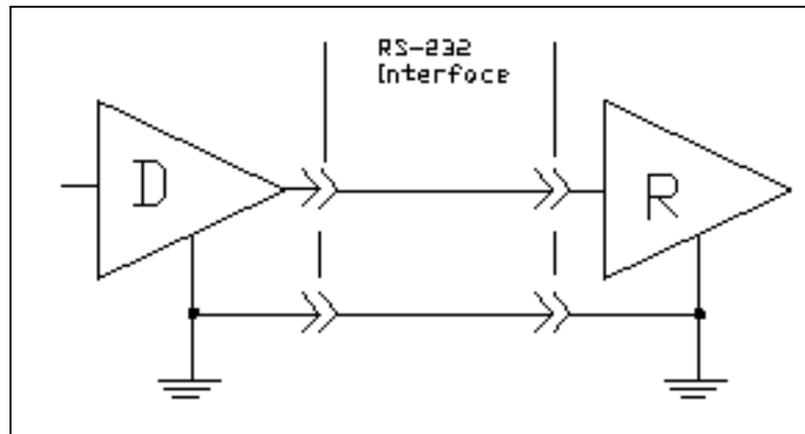
Os padrões RS232 e RS485 especificam as características do hardware do sistema de comunicação tais como níveis de tensão elétrica, resistências terminais, comprimento do fio, entre outros (DEMIC, 2003).

A comunicação serial pode ser *half-duplex* ou *full-duplex*. Na *half-duplex* a transmissão ou a recepção é feita em um tempo. No *full-duplex* a transmissão e a recepção são feitas no mesmo tempo (DEMIC, 2003).

6.1 DESCRIÇÃO DO BARRAMENTO RS232

Este é um dos tipos mais populares de interface serial *standard*. Seu verdadeiro nome é EIA-TIA-232-E. Foi desenvolvida pela *Electronic Industry Association* e a *Telecommunication Industry Association* (EIA-TIA) em 1962 e, popularmente é conhecido como RS232 (o termo RS vem de “*recommended standard*”). Além disso, este tem sido atualizado umas 5 vezes com o objetivo de elevar sua performance (DEMIC, 2003).

O nome oficial da interface RS232 é *Interface Between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-Termination Equipment (DCE) Employing Serial Binary Data Interchange*. A figura 6.1 apresenta o símbolo deste tipo de interface (DEMIC, 2003).



Fonte: Demic (2003)

FIGURA 6 – Interface RS232

Este tipo de interface é considerado como “completo” isto significa que o mesmo garante compatibilidade entre host e os sistemas periféricos quanto a:

- a) Tensão elétrica comum e níveis de sinais.
- b) Configuração comum de pinos.
- c) Mínima quantidade de informação de controle entre o host e os sistemas periféricos.

As especificações elétricas incluem especificações de nível de tensão, taxa de troca de sinais e impedância da linha de comunicação. Como a interface RS232 foi definida em 1962 dias antes da lógica TTL, ninguém deve ficar surpreso que este padrão não use +5 Volt e terra (gnd) como níveis lógicos (DEMIC, 2003).

Os 8 bits de dados transmitidos através da interface RS232 são acompanhados por mais dois bits: *star* e *stop*. Cada caracter começa com um bit de *star* (neste caso o driver puxa a linha para lógica “1” exatamente num período de um bit. O bit menos significativo (bit “0”) é enviado em seguida. Para evitar a mistura entre caracteres transmitidos é utilizado o bit de parada (lógica “0”) logo após o último bit do caracter que esta sendo enviado. Também

opcionalmente a transmissão pode ser feita considerando a paridade (uma das formas para verificação de erro, relaciona com a probabilidade de troca de dois bits durante a transmissão), neste caso o bit de paridade é inserido na continuação do último bit do carácter transmitido e portanto na frente do bit de parada (DEMIC, 2003).

A interface RS232 também limita o máximo “*slew rate*” no driver de saída. Esta limitação foi incluída para ajudar a reduzir a possibilidade de *cross-talk* (acoplamento capacitivo) entre sinais adjacentes. Para tempos de subida e descida lentos menor é a possibilidade de ter *cross-talk*, mas isto implica num compromisso com a velocidade de transmissão que pode ser alcançada. O máximo “*slew rate*” permitido é 30 V/ μ s, o que limita a taxa de transmissão de dados (velocidade de transmissão) em cerca de 20 Kbits/seg (DEMIC, 2003).

A impedância da interface entre o *driver* e o *receiver* esta muito bem definida. A carga vista pelo driver deve estar entre 3 e 7 K Ω . Também esta muito bem definido o comprimento do fio de comunicação, parâmetros estreitamente relacionado com a máxima carga capacitiva que é da ordem de 2500 pF (DEMIC, 2003).

6.1.1 DESCRIÇÃO DOS SINAIS DO BARRAMENTO RS232

Segundo DEMIC (2003), para ser possível a transmissão dos dados na RS232, devem ser observados os seguintes dados:

- a) *Transmitted Data* (TD): É um dos dois sinais de dados separados. Este sinal é gerado pelo DTE e recebido pelo DCE.
- b) *Received Data* (RD): É o segundo sinal de dados. Este sinal é gerado pelo DCE e recebido pelo DTE.
- c) *Request to Send* (RTS): Quando o host (DTE) esta pronto para transmitir o dado para o dispositivo periférico (DCE) o sinal RTS é levado para o nível lógico um. Nos sistemas simplex e dúplex esta condição mantém o DCE em modo de recepção

e inabilita o modo de transmissão. A condição de zero lógico do RTS mantém o DCE em modo de transmissão. Após RTS é acertada, o DCE deve acertar CTS antes do começo da comunicação.

- d) *Clear to Send (CTS)*: CTS é usado conjuntamente com RTS para oferecer o *handshake* entre o DTE e DCE. Após o DCE ter acertado o RTS, ele puxa o CTS para ON quando está pronto para a comunicação.
- e) *Data Set Ready (DSR)*: Este sinal é puxado para ON pelo DCE para indicar que está conectado à linha de telecomunicações.
- f) *Data Carrier Detec (DCD)*: Este sinal é puxado para ON quando o DCE esta recebendo o sinal desde um DCE remoto o qual encontra seu apropriado nível de sinal. Este sinal permanece ON durante o tempo que demora a detecção do apropriado carrier da sinal.
- g) *Data Terminal Ready (DTR)*: DTR indica o estado do DTE. Este sinal é puxado para ON quando o DTE está pronto para transmitir ou receber dados desde o DCE. DTR deve ser ON antes que DCE possa acertar DSR.
- h) *Ring Indicator (RI)*: Quando o sinal RI é acertado indica que uma sinal de ring está sendo recebida pelo canal de comunicação.

6.1.2 LIMITAÇÕES DO RS232

Segundo DEMIC (2003), o barramento RS232 apresenta algumas limitações, tais como:

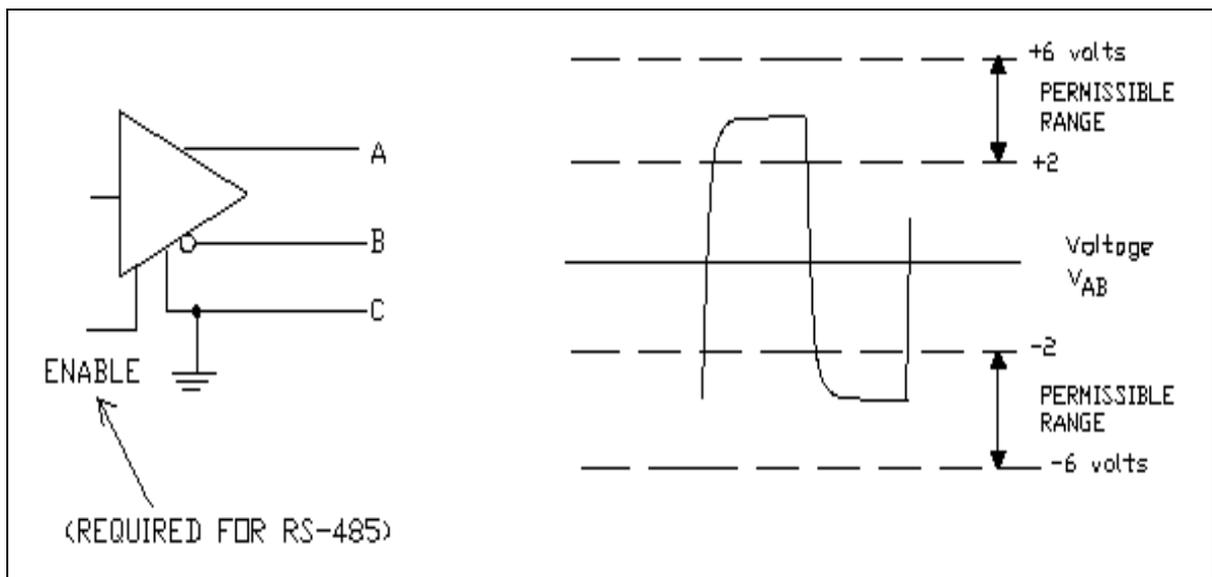
- a) Geração de níveis de tensão elétrica da interface RS232: A interface RS232 não usa nível convencional de tensão elétrica (TTL/CMOS). Isto implica do uso de fontes de alimentação adicionais para atingir os níveis de tensão da interface (DEMIC, 2003).

- b) A máxima taxa de dados (velocidade de transmissão): O padrão da interface define uma taxa de dados máxima de 20 Kbits/seg, a qual é muito baixa para as aplicações atuais (DEMIC, 2003).
- c) Máximo comprimento do fio de comunicação: Este parâmetro está ligado à máxima especificação da capacitância de carga (DEMIC, 2003).

6.2 DESCRIÇÃO DO BARRAMENTO RS485

Na interface RS232 a transmissão desbalanceada de dados aparece no conector com uma tensão referenciada a *gnd*. Por exemplo, o sinal TD (pino 2 no conector de 25 pinos) que vem do DTE aparece no conector referenciado a *gnd* (pino 7). Esta tensão será negativa se a linha estiver livre e alterna entre os níveis positivos e negativos quando o dado está sendo enviado. Diferentemente da interface RS232 a RS485 é um tipo de interface serial que utiliza sinais diferenciais balanceados (DEMIC, 2003).

Em um sistema balanceado, a tensão produzida pelo driver aparece através de um par de linhas de sinais que transmitem somente um sinal. A figura 6.2 apresenta o símbolo esquemático para um driver com linha balanceada, assim como os níveis de tensão desta interface (DEMIC, 2003).



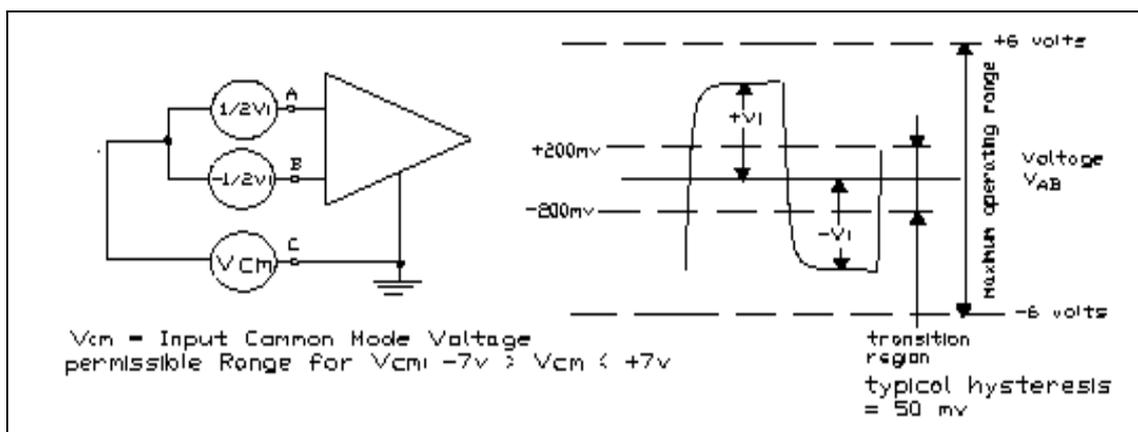
Fonte: Demic (2003)

FIGURA 7 – Driver diferencial balanceado da interface RS485

Como pode ser observado na figura 6.2, um driver com linha balanceada produz uma tensão entre ± 2 e ± 6 volts através dos terminais A e B. O mesmo também apresenta um sinal

gnd (C) que apesar de ser importante sua conexão não é utilizado pelo receiver na determinação do estado lógico da linha de dados. O driver também apresenta um sinal de entrada chamada “*enable*” que tem como objetivo a conexão do driver a seus terminais A e B (DEMIC, 2003).

O *receiver* com linha balanceada sente o estado da tensão transmitido pelas duas linhas de entrada A e B. Também apresenta o sinal *gnd* que é necessário para fazer uma boa conexão da interface. A figura 8 apresenta a simbologia para um receiver com linha balanceada e os seus níveis de tensão. Se a tensão de entrada diferencial V_{AB} é maior que 200 mV o receiver fornecerá um estado lógico (1, por exemplo) específico no terminal de saída. Caso contrário à saída irá para o seu outro estado (0, por exemplo). O intervalo de 200 mV a 6 V é requerido para acomodar uma eventual atenuação na linha de transmissão (DEMIC, 2003).



Fonte: Demic (2003)

FIGURA 8 – Receiver diferencial balanceado da interface RS485

6.2.1 TRANSMISSÃO DE DADOS COM O STANDARD EIA RS485

O standard RS485 permite compartilhar no mesmo tempo a transmissão e recepção em uma linha balanceada. O intervalo da tensão de modo comum que o *driver* e o *receiver* podem suportar vai de -7 a +12 volts ainda quando ficam em estado de alta impedância (DEMIC, 2003).

A forma mais comum de terminar a linha da rede com RS485 é utilizando resistores terminais no final da linha multipontos. Estes resistores terminais são utilizados para acoplar

em impedância a linha de transmissão (já que linha por natureza é um indutor). Os valores dos mesmos se situam entre 100 e 120 Ω (DEMIC, 2003).

6.3 INTERFACES RS485 PARA RS232 E VICE-VERSA

Sendo a RS232 a implementação padrão para comunicação serial nos PC's, tem-se que fazer a conversão dos sinais do padrão RS232 para RS485 e vice-versa para que haja a comunicação correta entre os equipamentos que trabalham em uma rede industrial RS485 e o PC (CUNHA, 2000).

Existem hoje no mercado vários conversores de RS, que praticamente compatibilizam a comunicação serial entre os vários padrões (CUNHA, 2000).

O padrão serial RS232, sendo desenvolvido para rede ponto-a-ponto, é orientado a conexão, ou seja, deve haver um dispositivo no outro lado da linha, pronto para receber e enviar os dados segundo o seu padrão. É nesse ponto que o conversor de RS opera. Suas principais características são, em se tratando de um conversor de RS485 para RS232, a simulação de um dispositivo que responda aos questionamentos de RS232 para efetuar a conexão e a passagem dos dados para a RS485. Como a RS485 não é um padrão orientado a conexão, a qualquer hora, qualquer equipamento poderá transmitir seus dados na rede. Aí é que entra a figura do mestre da rede para coordenar esse tráfego (CUNHA, 2000).

7 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo, serão apresentadas as características do desenvolvimento do protótipo, bem como a metodologia empregada, as ferramentas utilizadas e os resultados alcançados.

O desenvolvimento do protótipo foi dividido em três partes, conforme abaixo:

- a) Desenvolvimento do protótipo de hardware, placa eletrônica para acionamento dos bancos de capacitores;
- b) Desenvolvimento do protótipo de software para o microcontrolador utilizado na placa eletrônica e protótipo de software para monitoração de todo o sistema via PC;
- c) Interligação dos itens anteriores, para os devidos testes.

7.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para ser ter um entendimento melhor sobre o funcionamento do protótipo, é necessário ter primeiramente, uma noção da instalação física dos componentes para então entender melhor a finalidade de cada componente no processo.

Para realizar as leituras da rede elétrica e enviar os dados ao PC, será utilizado um transdutor digital multifunção fabricado pela empresa Kron Instrumentos Elétricos. Este equipamento mede até 33 grandezas elétricas de modo direto ou através de transformadores de corrente (TC) e transformadores de potências (TP), sendo que as leituras das grandezas elétricas devem ser disponibilizadas através de saída serial padrão RS485 e protocolo de comunicação *Modbus*.

O PC será responsável em configurar os dados necessários do transdutor e obter os valores das medidas elétricas vindas do transdutor, exibi-las na tela e realizar os cálculos necessários para acionar os bancos de capacitores para correção do fator de potência caso seja necessário. Para ligar ou desligar os bancos de capacitores, o PC enviará um pacote com as informações necessárias para o protótipo de hardware.

O protótipo de hardware, baseado em microcontrolador, receberá as informações vindas do PC e ligará ou desligará um banco de capacitor conforme necessidade. Após

processadas as informações vindas do PC, o microcontrolador envia uma cópia do pacote recebido para o PC.

Uma representação macro do funcionamento do sistema é demonstrada na figura 9.

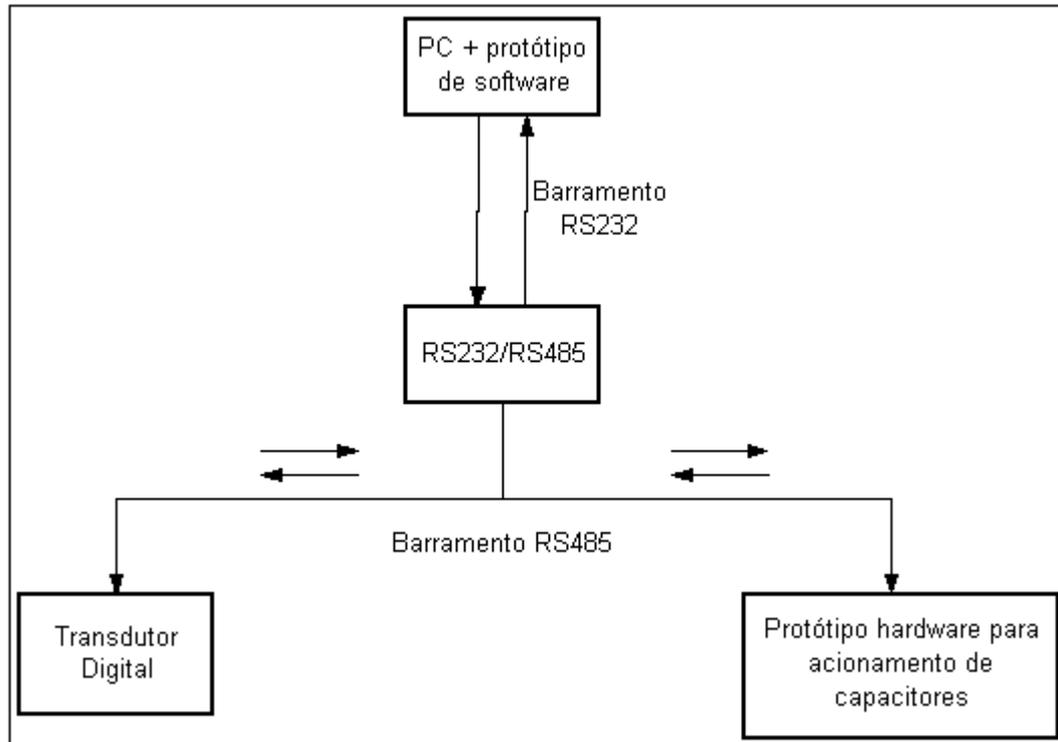


FIGURA 9 – Diagrama macro do ambiente

Para especificação do protótipo de hardware, foi utilizada a ferramenta PCAD, que se mostrou muito útil para a representação de circuitos eletrônicos.

Para a especificação dos protótipos de software, foi utilizada a técnica de fluxogramas, por ser um método de especificação bastante conhecido e de fácil entendimento. Para esta técnica de especificação, foi utilizado a ferramenta Flow Charting 4, em sua versão 2.0.

7.1.1.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE HARDWARE

O protótipo de hardware serve para acionar ou desligar os bancos de capacitores, sendo que para isso as informações recebidas pelo protótipo, via barramento RS485, são processadas e executadas através de um microcontrolador (PIC) do tipo PIC16F628 instalado sobre uma placa eletrônica.

Sobre esta placa, foi montado um circuito de uma fonte de alimentação com um regulador de tensão para 12Volts (7812), sendo que esta tensão serve para alimentar as bobinas de três reles, instalados na mesma placa que servirão para acionar os bancos de capacitores, e um outro regulador para 5 Volts (7805), para alimentação do circuito principal do microcontrolador.

Para o clock do microcontrolador, foi utilizado um cristal de 3,57MHz em função de se ter que trabalhar com uma taxa de transmissão de dados de 9600 bps. Esta taxa deve ser de 9600 bps, em função do transdutor trabalhar somente com esta velocidade.

Para colocar o hardware em modo de recepção ou transmissão de dados, foi utilizado o circuito integrado 75176 que é um excitador do barramento RS485.

A figura 10 mostra uma foto do protótipo de hardware, sendo que o circuito eletrônico completo do hardware, pode ser observado no apêndice A.

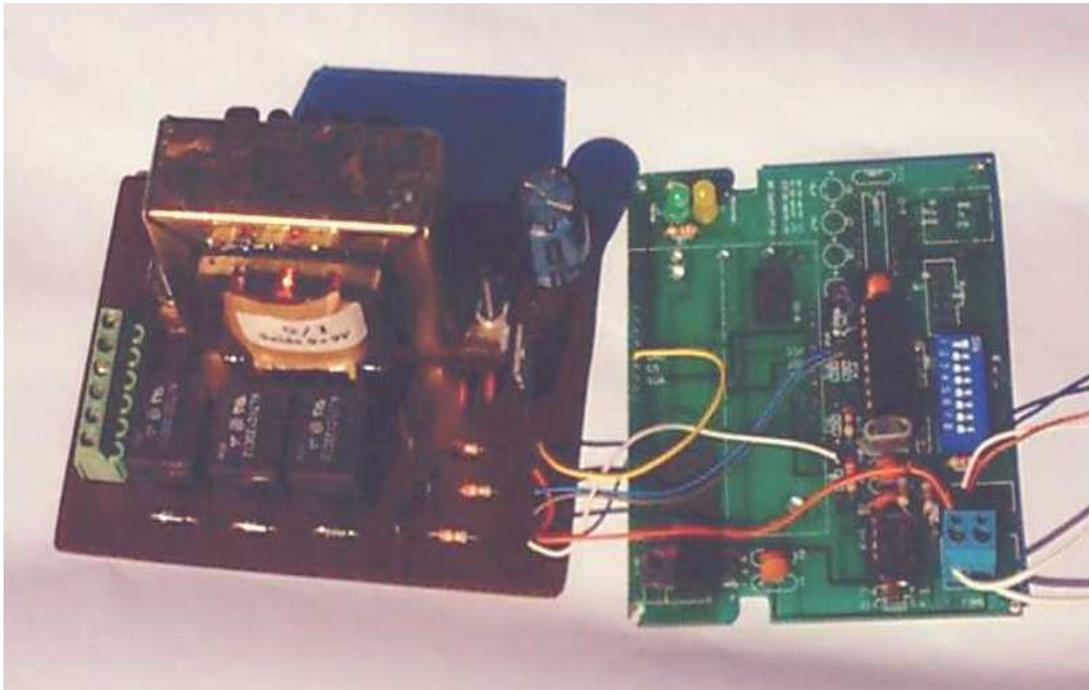


FIGURA 10 – Protótipo de hardware

7.1.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SOFTWARE PARA O PIC16F628

Para que o protótipo de hardware possa ligar ou desligar um banco de capacitores, ele deverá ficar monitorando a rede, ficar em modo de recepção(RX), aguardando que o mestre

envie um pacote para o seu endereço. Este pacote será composto de 3 bytes, sendo que o primeiro é o endereço do protótipo de hardware (escravo), o segundo a função que o escravo deve executar e a terceira o dado (capacitor que deverá ser ligado ou desligado). A comunicação com o microcontrolador não segue o padrão do *Modbus*.

Quando um pacote é enviado pelo mestre, todos os escravos irão verificar se o endereço do pacote é para ele ou não, caso não seja o pacote é descartado e o escravo fica aguardando um novo pacote ser enviado pelo mestre, caso contrário o escravo irá processar as informações contidas no pacote e depois responder ao mestre enviando uma cópia do pacote recebido.

Na implementação do software do protótipo de hardware, não foi implementado o campo de checagem de erro (CRC), utilizado no padrão do protocolo *Modbus*.

A figura 11 mostra o processo de funcionamento do software que monitora o funcionamento do hardware.

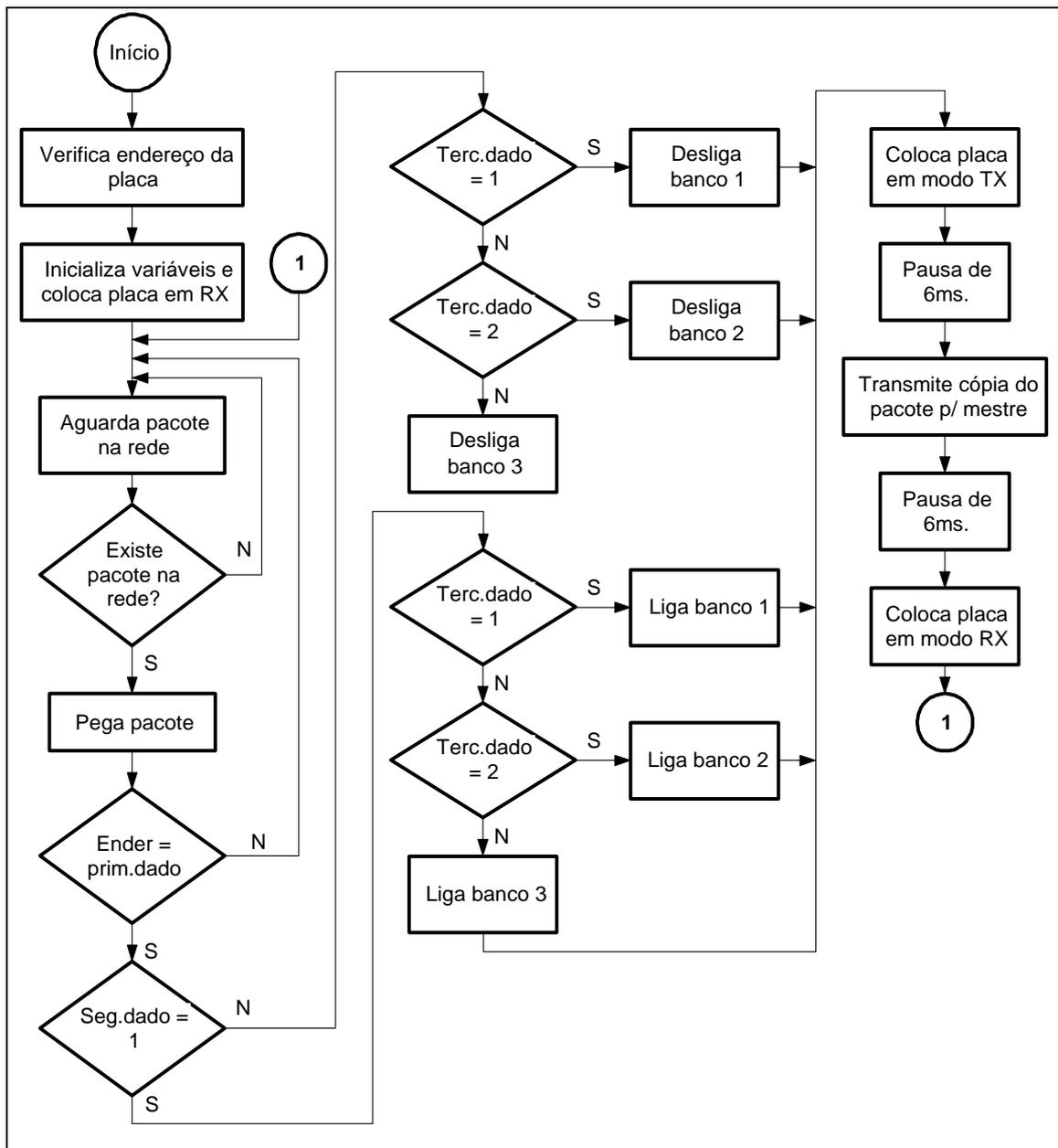


FIGURA 11 – Especificação do software do para microcontrolador.

7.1.3 ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SOFTWARE DO PC

O protótipo de software desenvolvido para rodar no PC é quem vai fazer todas as solicitações para leituras de grandezas elétricas no transdutor digital e também fazer as solicitações para ligar ou desligar bancos de capacitores acionados pelo protótipo de hardware. Ou seja, o software que rodará no PC será considerado o mestre, enquanto o transdutor digital e o protótipo de hardware serão considerados escravos desta rede, sendo que eles apenas poderão responder as solicitações do mestre (PC).

Um diagrama com todas as funções do protótipo, pode ser observado na figura 12.

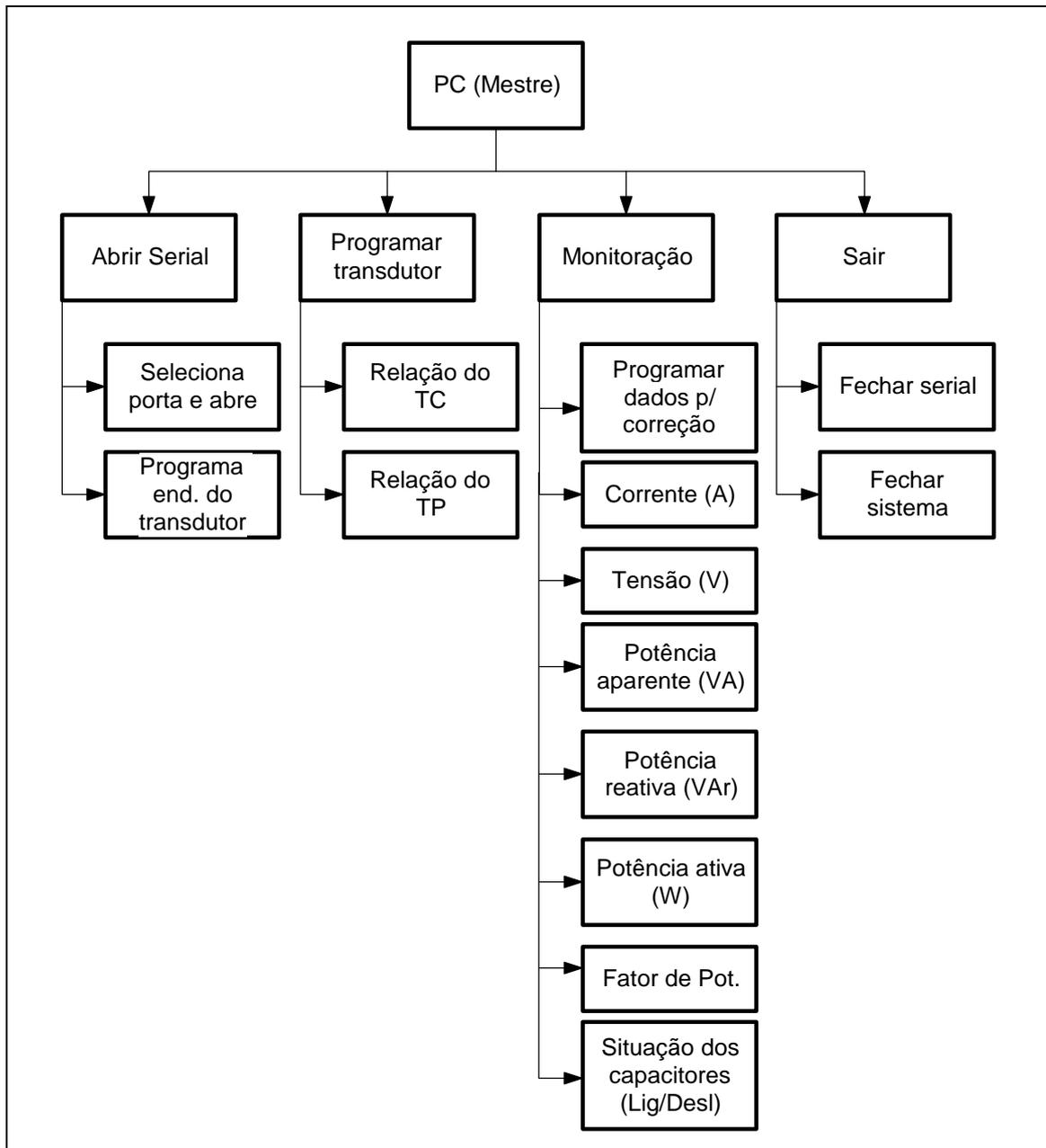


FIGURA 12 – Funções do protótipo

Para o funcionamento do protótipo, primeiro deve ser aberta a porta serial onde os demais componentes da rede estarão ligados, depois de aberta a porta é configurado o endereço do transdutor na rede. O transdutor estando devidamente endereçado podem ser programados os seus valores de TC e TP, e aí então programar os valores dos bancos de capacitores que poderão ser acionados, assim como, o valor mínimo de fator de potência desejado. Depois de feito isso, podem-se monitorar os dados da rede elétrica.

No processo de configuração da serial, o protótipo irá fechar a porta serial atual e abrir uma nova porta. Este processo é demonstrado na figura 13.

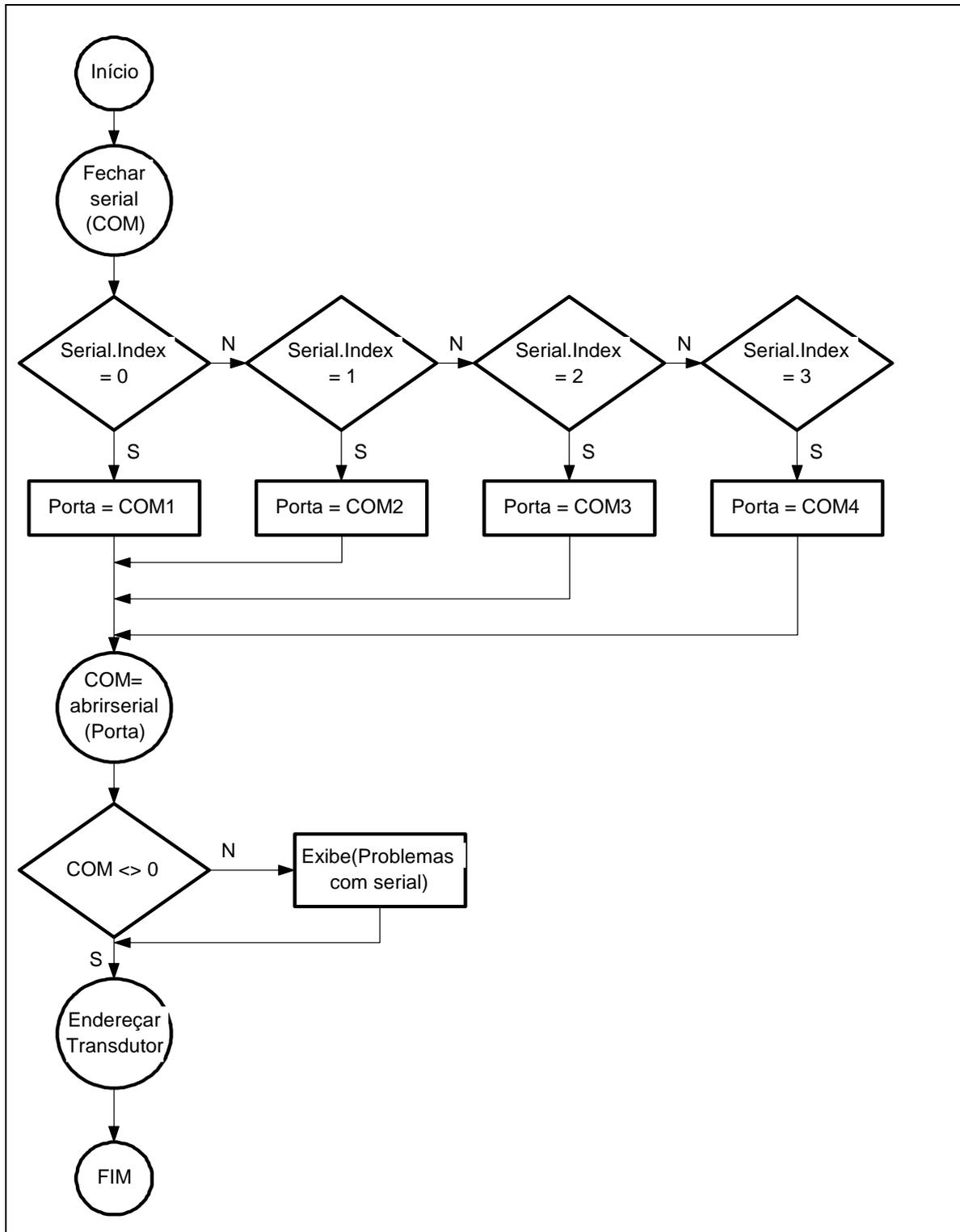


FIGURA 13 – Programação Serial

Na figura 13, é mostrado o processo de fechamento da serial. Esta função é utilizada sempre que se sai do sistema ou se vai configurar uma nova porta, para fechar a porta que estava configurada e aí então poder abrir uma nova.

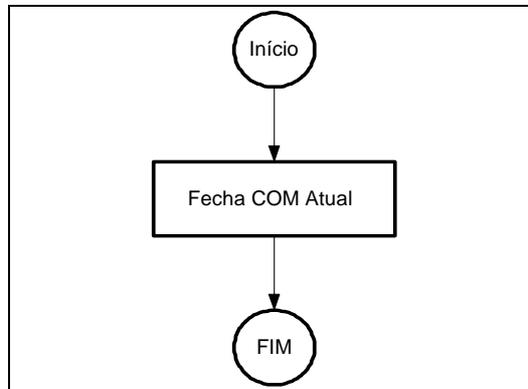


FIGURA 14 – Fechar serial

A função para abrir a porta serial, é demonstrada na figura 15.

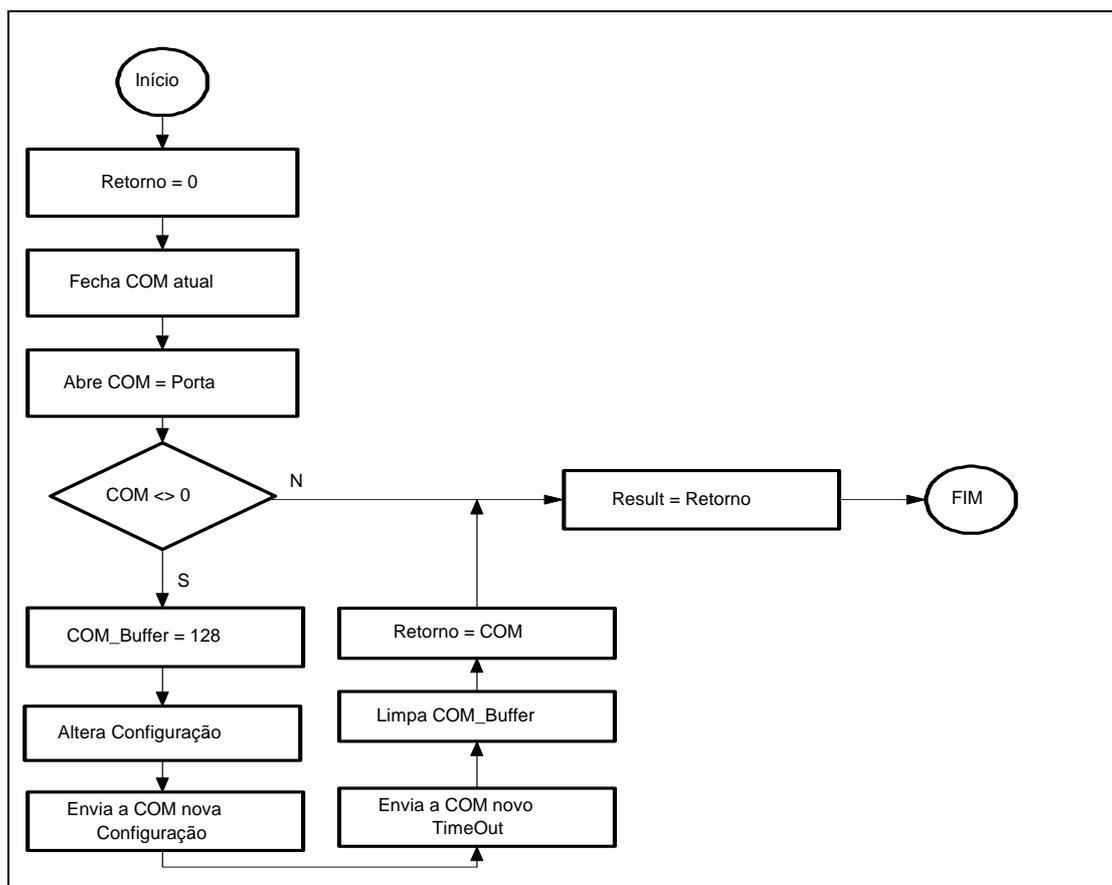


FIGURA 15 – Abrir serial

As funções de comunicação do mestre com o transdutor e vice versa, utilizam o modelo do protocolo de comunicação Modbus RTU. O pacote utilizado no protótipo segue o

seguinte formato (figura 16): endereço do equipamento (8 bits)+ código da função (8 bits) + dado (n bits) + CRC (16 bits), sendo que os campos são preenchidos com valores em hexadecimal e antes e após o envio da mensagem é colocado um intervalo de silêncio de 5 milisegundos.

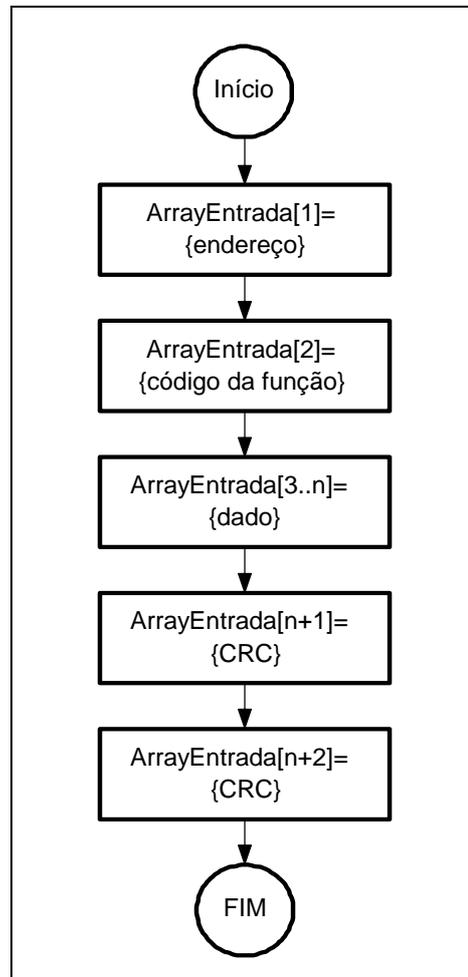


FIGURA 16 – Especificação Modbus no protótipo

Sempre que for configurada uma nova serial, será ativada uma função para programar o endereço do transdutor. Para isto, no campo de endereço é colocado 00 (modo *broadcast*), o código da função utilizada é 42, no campo de dado é colocado o número de série do equipamento (32 bits) e após o endereço (8 bits), que no protótipo foi utilizado o endereço 16.

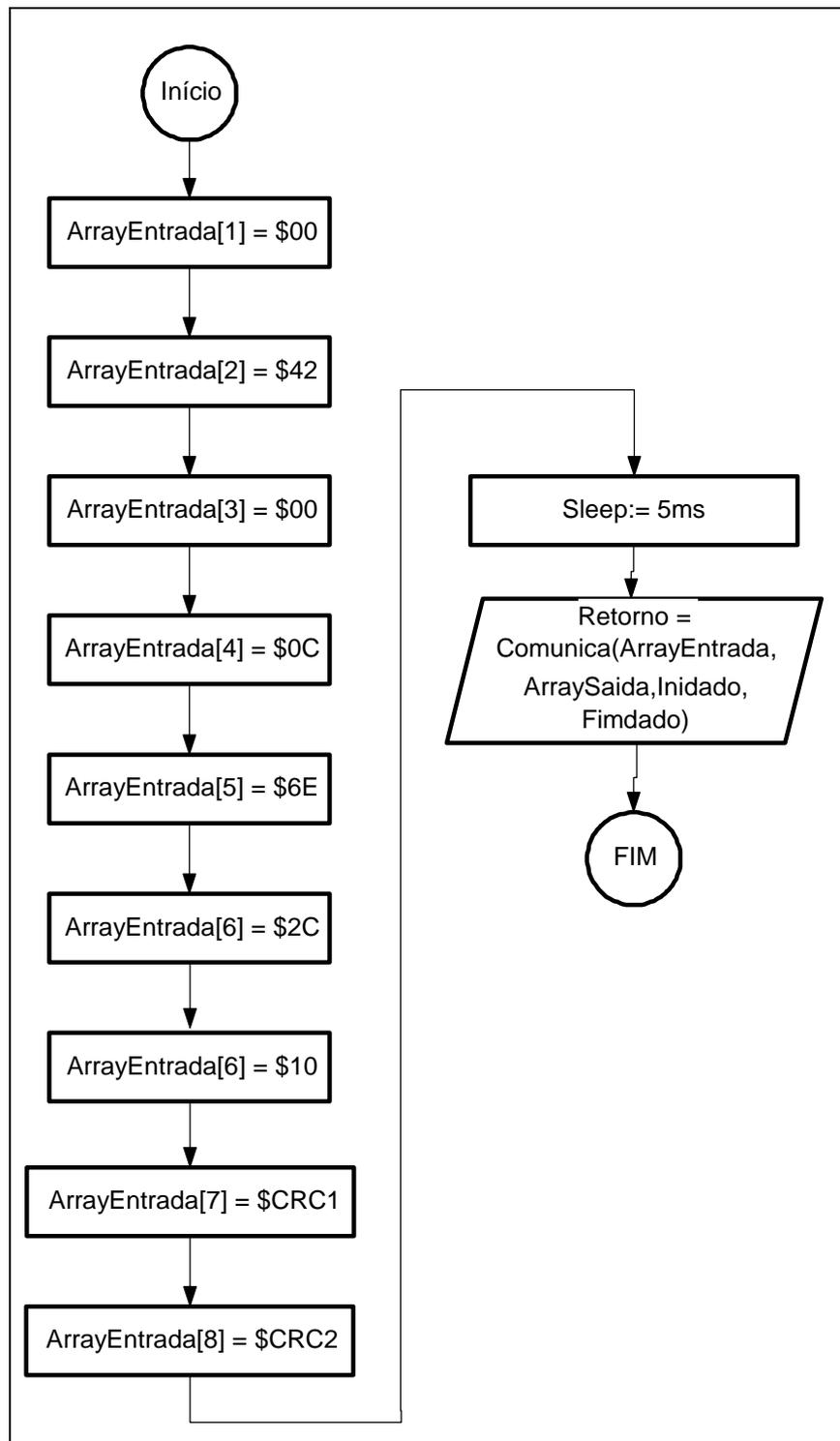


FIGURA 17 – Função para definir endereço do transdutor

Depois de definido o endereço do transdutor, deve-se agora definir os valores de TC e TP (figuras 18 e 19) que estão sendo utilizados na rede elétrica e enviar estes valores para o transdutor para que ele possa efetuar as leituras da rede elétrica de modo correto. Para programar estes registros de configuração do transdutor, é utilizada a função 16.

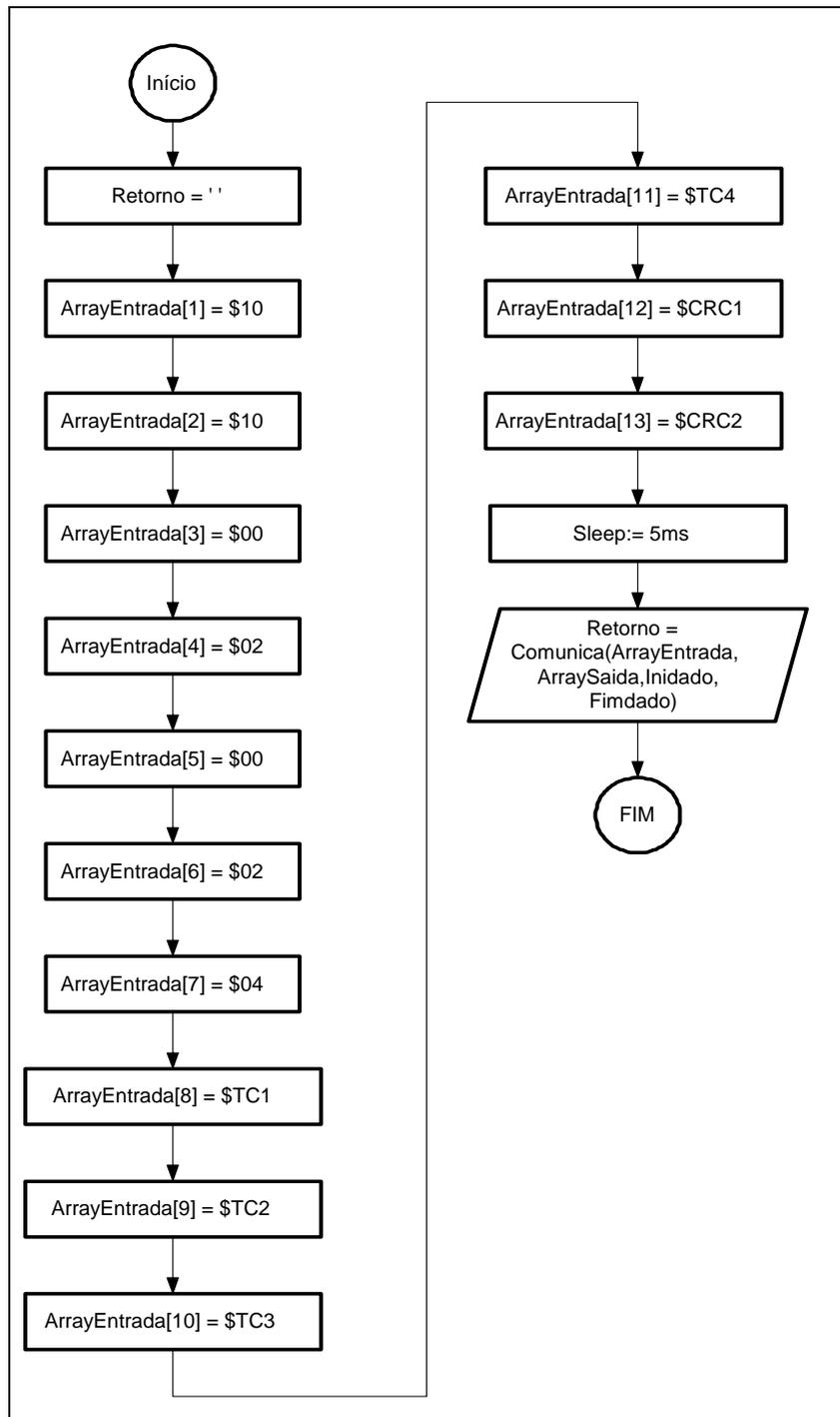


FIGURA 18 – Função para configurar valor do TC no transdutor

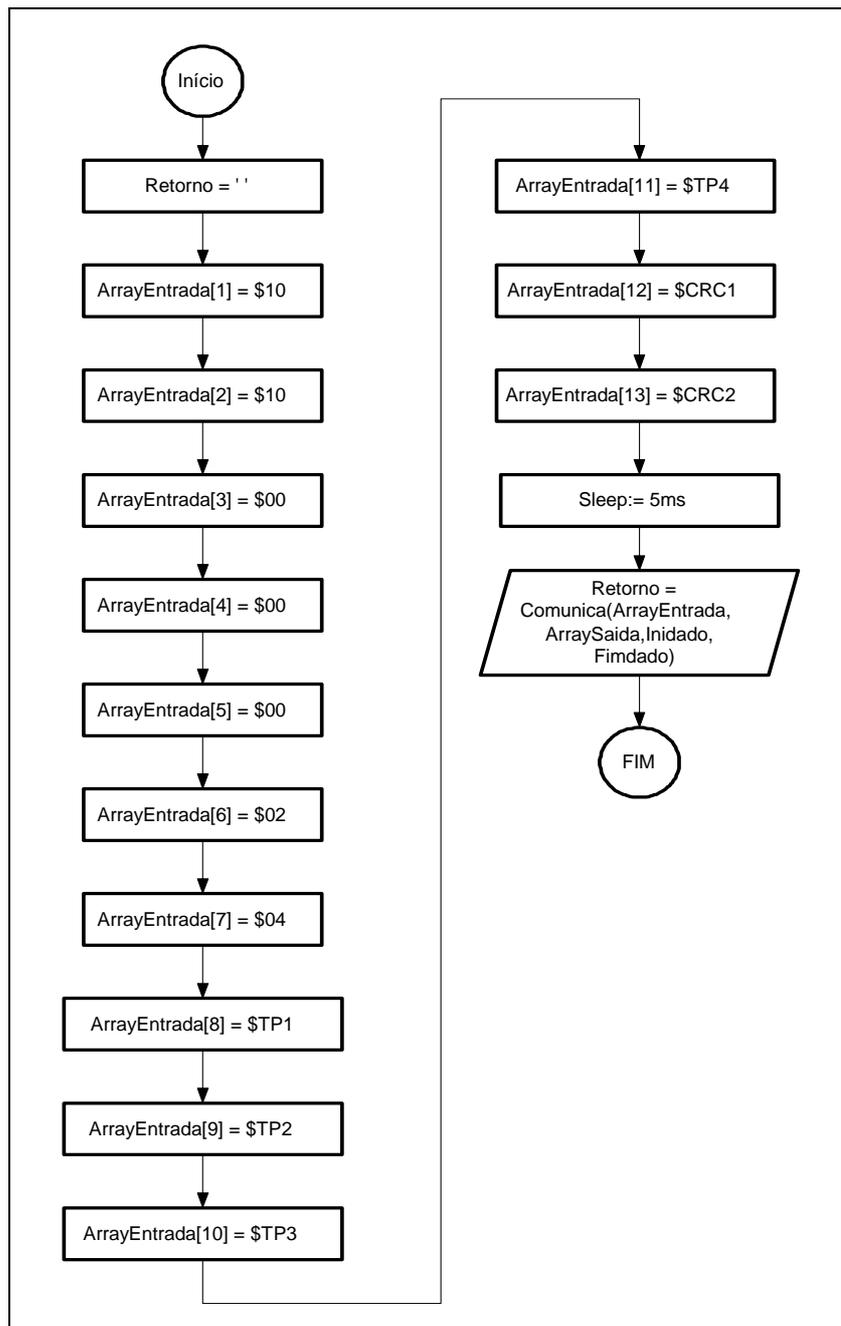


FIGURA 19 – Função para configurar valor do TP no transdutor

Antes de começar a monitorar a rede elétrica deve ser informado ao protótipo quais os valores dos três bancos de capacitores que podem ser acionados e o valor mínimo do fator de potência que se pretende ter.

A tela de monitoração buscará os valores das grandezas elétricas que se pretende monitorar através de funções específicas para cada grandeza, também será feito o cálculo para determinar se deve ser ligado algum banco de capacitor para realizar a correção. Caso seja

necessário, será enviado um pacote ao protótipo de hardware que acionará ou desligará o devido banco de capacitores.

As figuras a seguir, mostrarão os processos realizados pelo PC para busca das grandezas elétricas no transdutor.

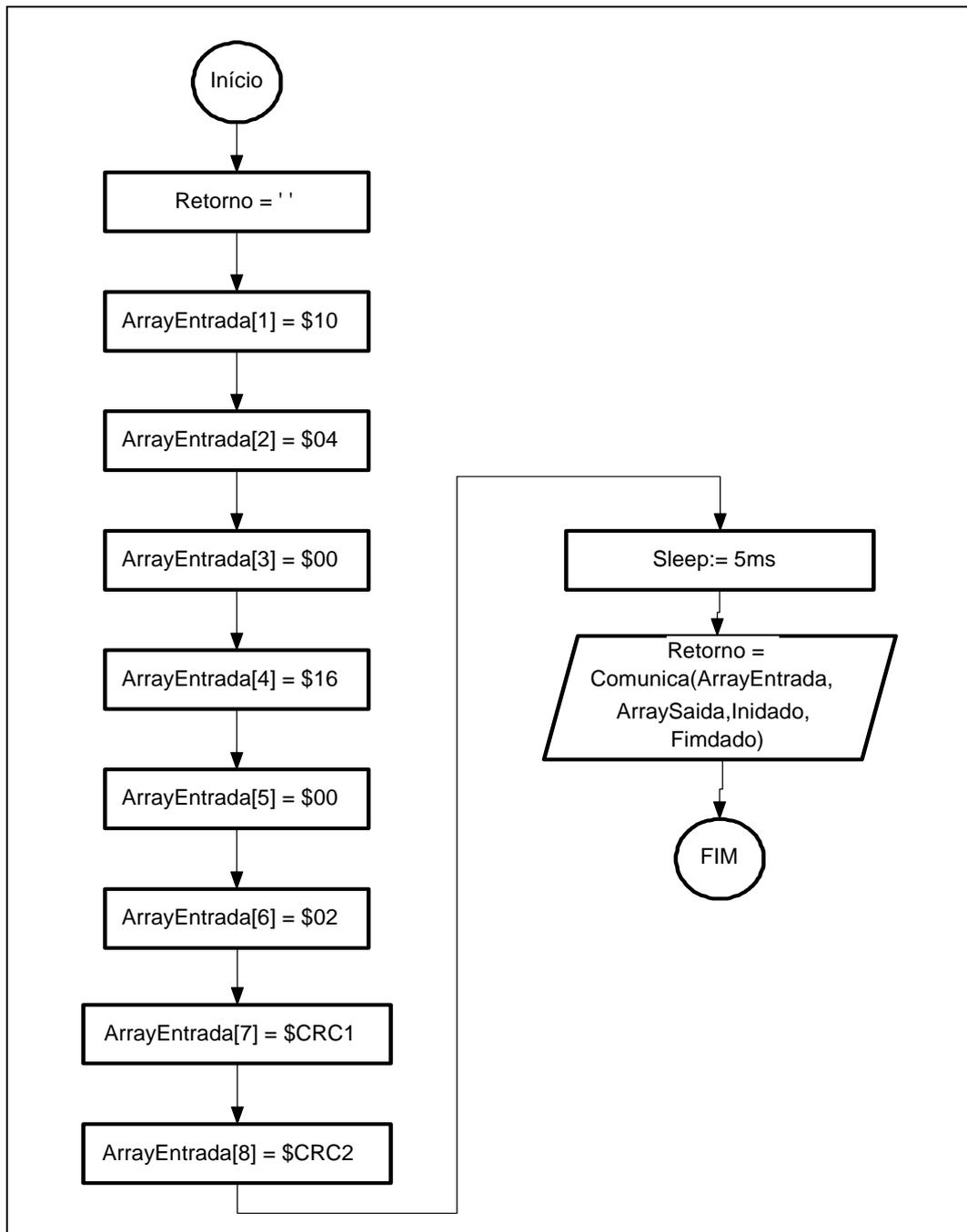


FIGURA 20 – Função para buscar o valor de corrente no transdutor

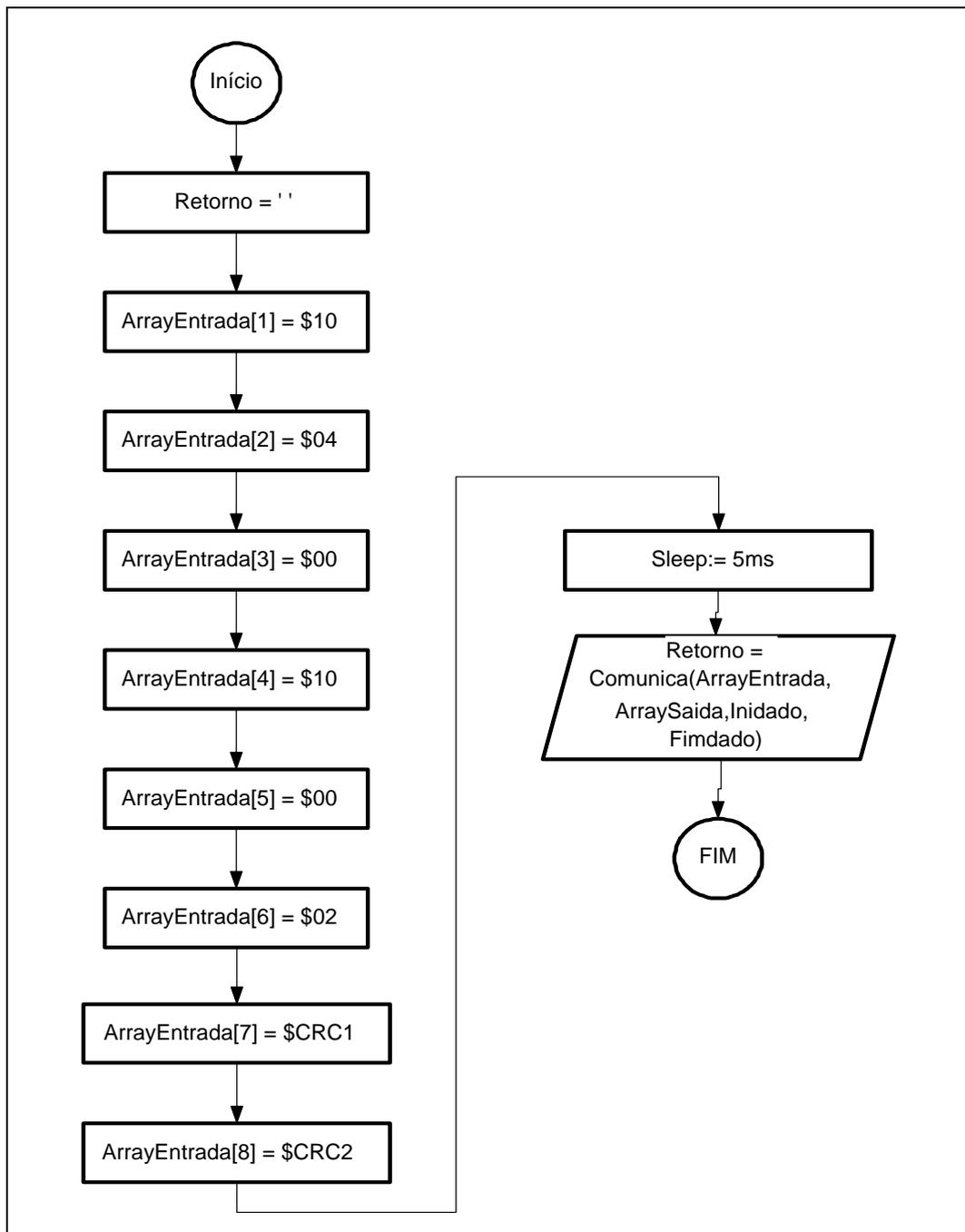


FIGURA 21 – Função para buscar o valor de tensão no transdutor

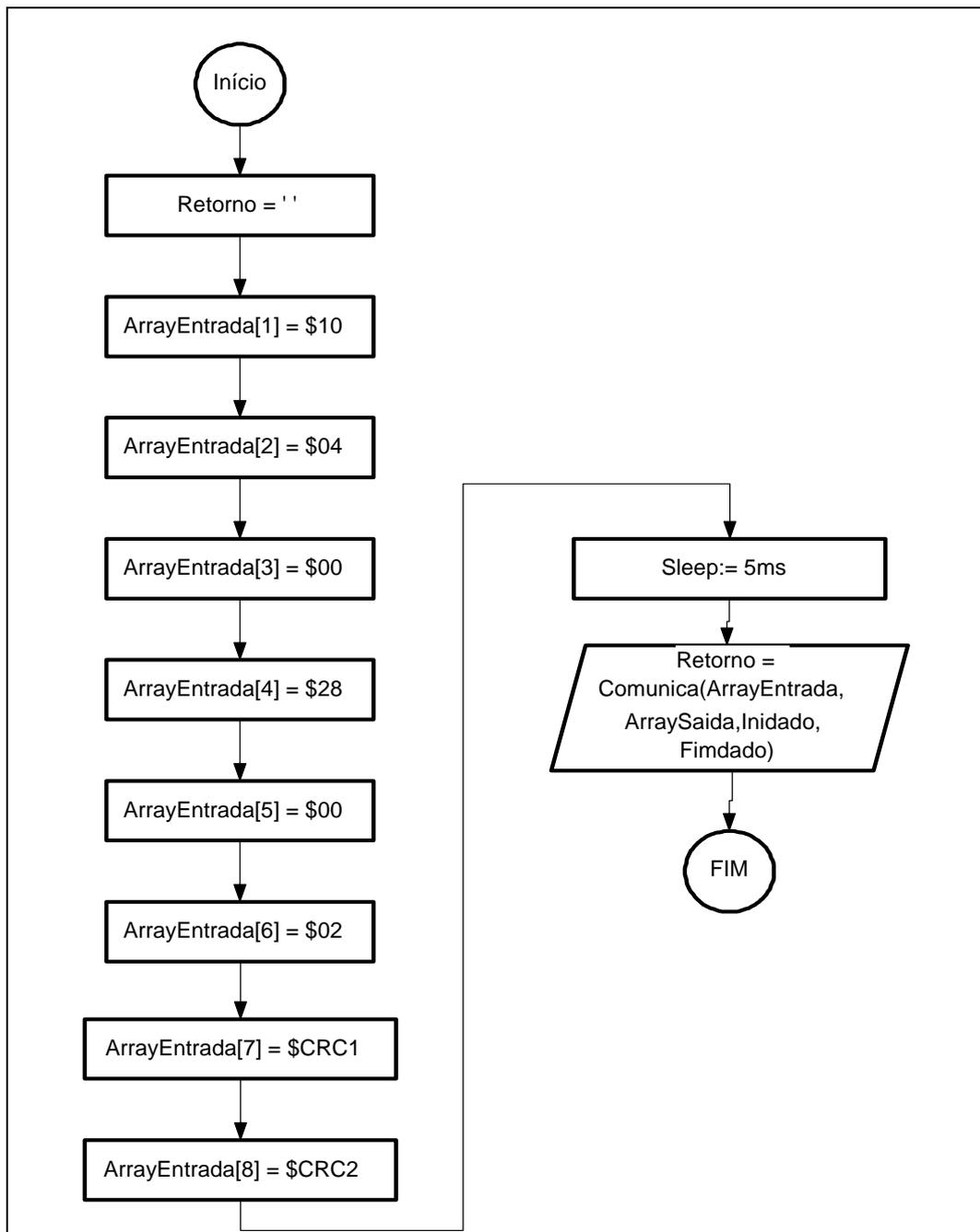


FIGURA 22 – Função para buscar o valor da potência aparente no transdutor

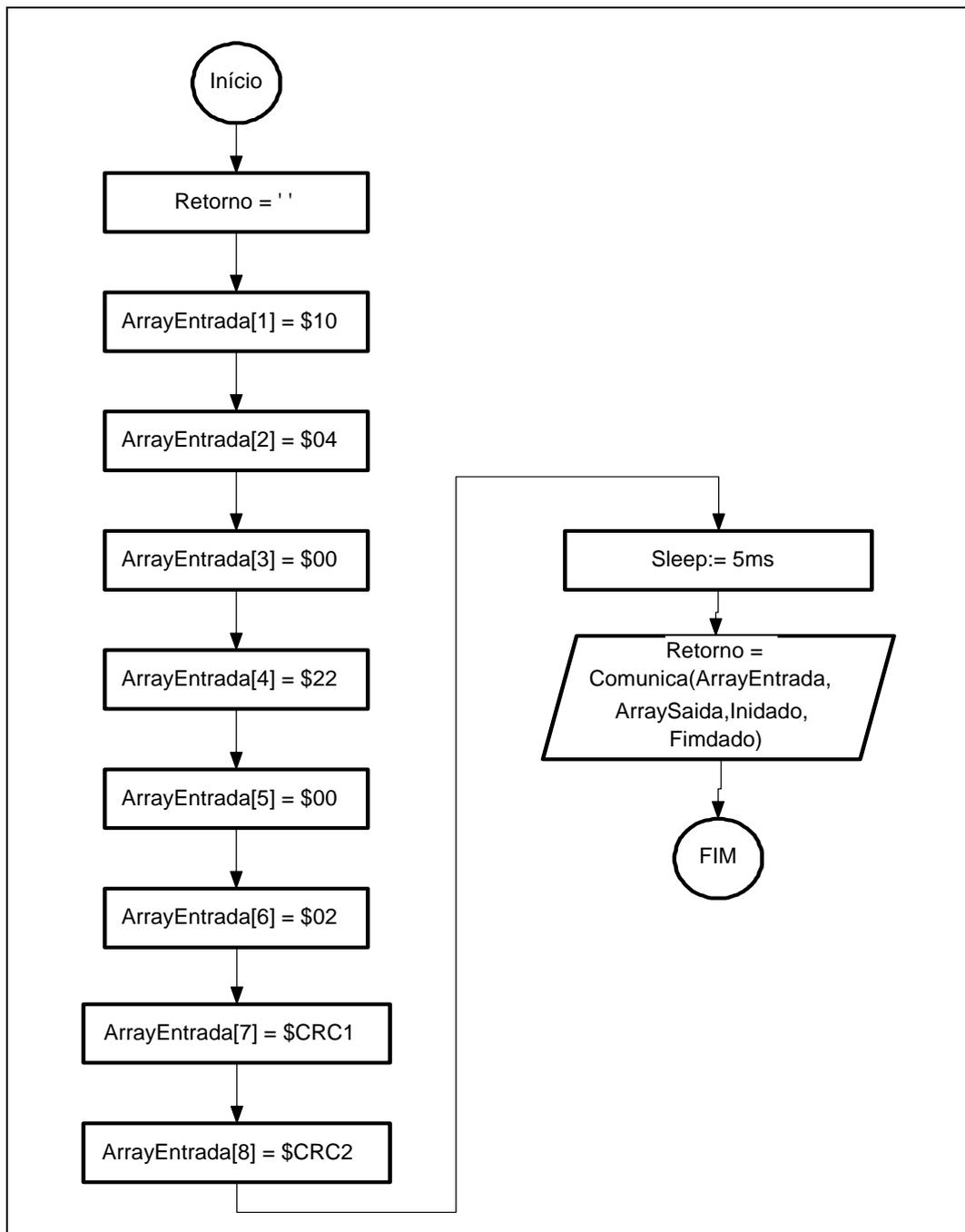


FIGURA 23 – Função para buscar o valor da potência reativa no transdutor

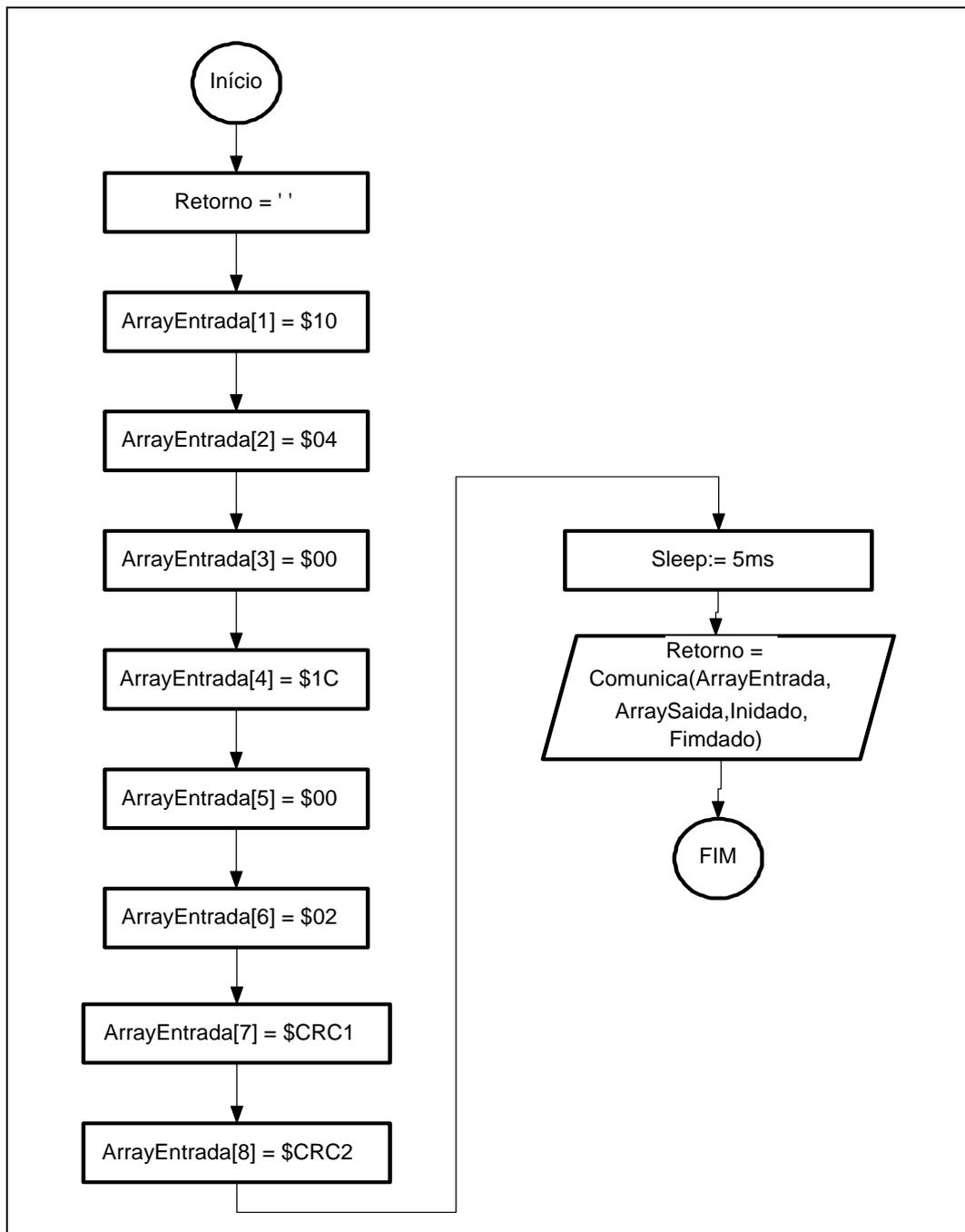


FIGURA 24 – Função para buscar o valor da potência ativa no transdutor

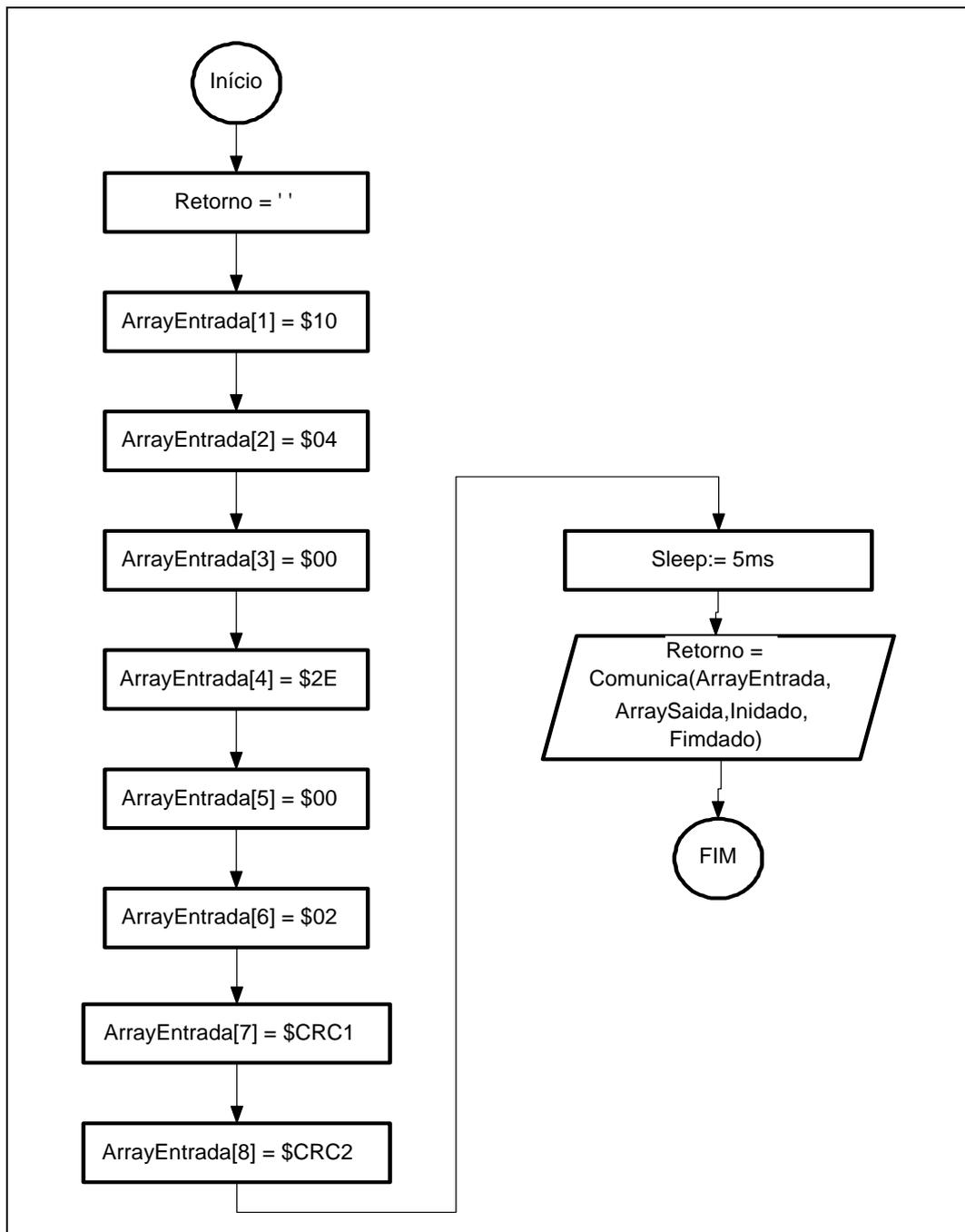


FIGURA 25 – Função para buscar o valor do fator de potência no transdutor

Após ter sido feita as leituras das grandezas, deverá ser verificado se o valor de fator de potência está de acordo com o valor mínimo selecionado, caso o valor esteja abaixo e for maior do que zero (carga indutiva), será calculado o valor do capacitor que deve ser acionado. Caso o valor seja menor do que zero (carga capacitiva), deverão ser desligados capacitores, ai então o sistema desligará o primeiro banco que estiver ligado. A especificação desta função pode ser vista na figura 26.

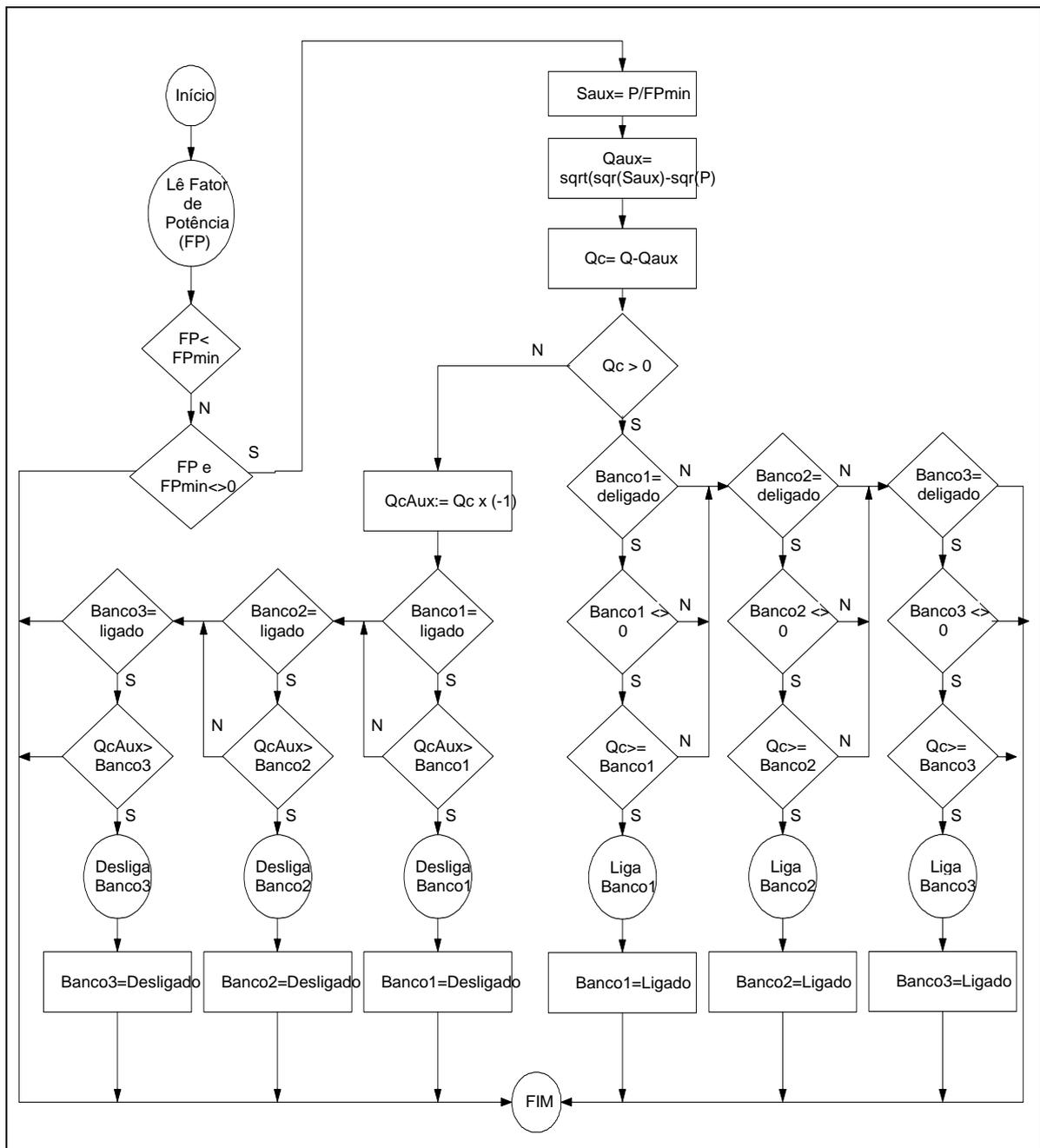


FIGURA 26 – Função para determinar capacitor que deverá ser ligado ou desligado

O núcleo de comunicação, apresentado na figura 26, é chamado por todas as funções de leitura e programação do transdutor, bem como com as funções de comunicação entre o PC e o protótipo de hardware, ou seja, toda e qualquer comunicação entre PC, transdutor e o protótipo de hardware, passa pelo núcleo de comunicação. Deve-se observar apenas que na comunicação com o protótipo de hardware, não é feito o cálculo de CRC.

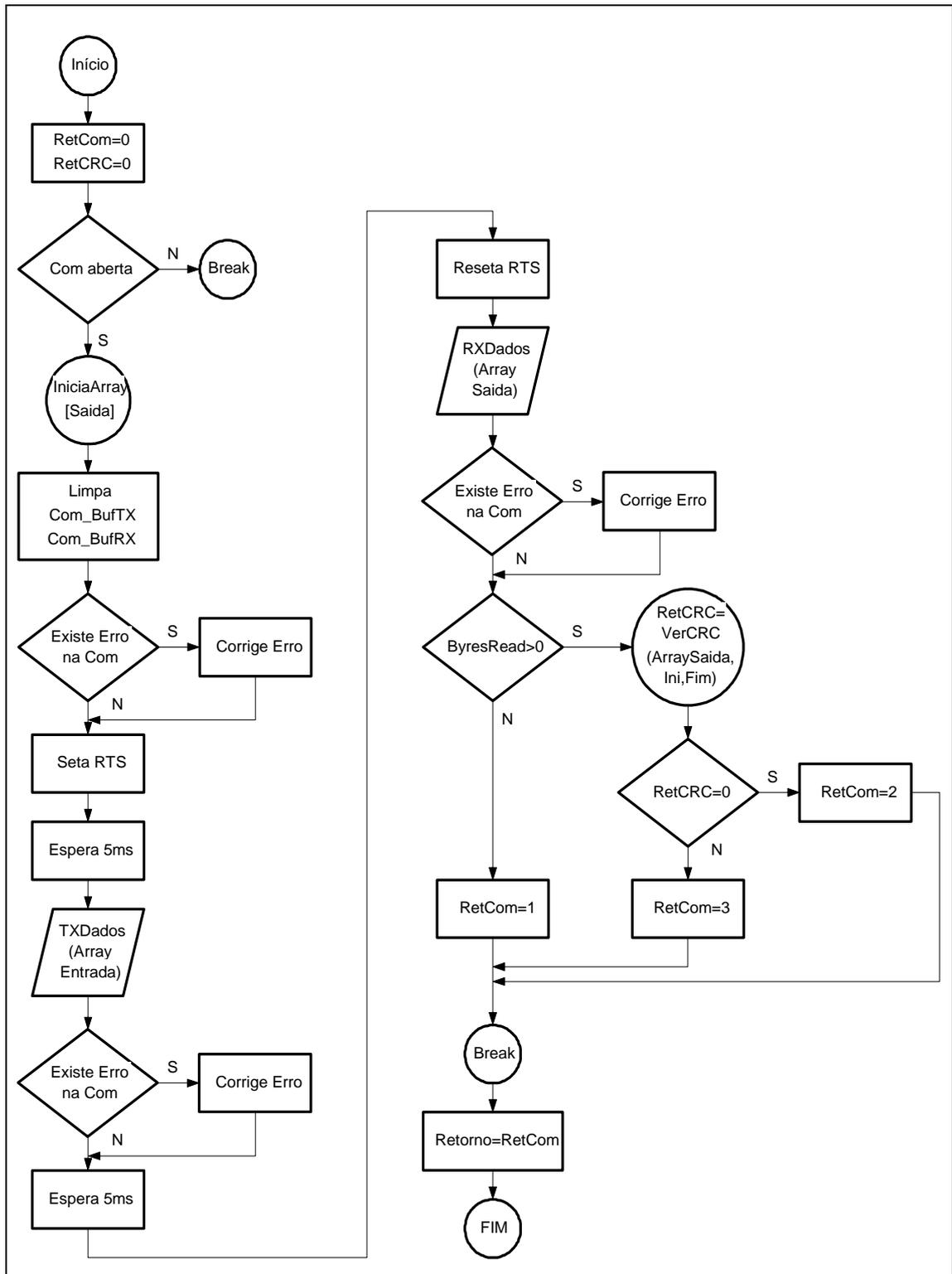


FIGURA 27 – Função para comunicação entre PC, transdutor e protótipo de hardware

7.2 IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo mostra o funcionamento do protótipo, bem como algumas técnicas e ferramentas utilizadas para a elaboração do protótipo.

7.2.1 AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO

Para a implementação do software do protótipo da placa eletrônica, programação do microcontrolador, foi utilizada a ferramenta PicBasic.

A implementação do protótipo que controla o sistema foi no ambiente Delphi. O acesso à porta serial do PC, que comunicará com o transdutor e a placa eletrônica, será via API do Windows.

7.2.2 RECURSOS DE HARDWARE NECESSÁRIOS

Para o funcionamento do protótipo, são necessários alguns equipamentos aqui descritos, ou seja, um PC rodando o protótipo de software com RS232, um conversor de sinais RS232/RS485 e vice-versa, um transdutor para medição das grandezas elétricas com saída RS485, um transformador de corrente para enviar o sinal de corrente para o transdutor, o protótipo de hardware que acionará os bancos de capacitores para a devida correção do fator de potência, três capacitores ou banco de capacitores para serem acionados na rede elétrica, quatro metros de cabo 1,5mm² para conexões elétricas entre os componentes do protótipo e a rede elétrica e quatro metros de cabo tipo par trançado para comunicação da rede RS232/RS485 entre o PC, o transdutor e o protótipo de hardware.

7.2.3 PROTÓTIPO DE SOFTWARE

O protótipo de software no PC tem como função enviar os dados necessários para programação do transdutor, solicitar os valores das leituras da rede elétrica para o transdutor, receber estes dados e exibi-los na tela do PC.

Outra função é verificar se o valor do fator de potência, enviado pelo transdutor, está dentro do valor especificado no protótipo, caso não esteja, deverá executar os cálculos para

determinar quais o banco de capacitor que deverá ser ligado ou desligado. Uma vez feito isto, ele enviará uma mensagem para o protótipo de hardware (placa eletrônica) pedindo para ligar ou desligar determinado capacitor.

No quadro 1, pode ser observado parte do programa do microcontrolador para acionamento dos bancos de capacitores.

```

DEFINE HSER_SPBRG 5 ' Configuração do cristal(3,57MHz) e taxa de transmissão
(9600bps)

INCLUDE "modedefs.bas" 'Include na bibliotecas de SERIN2 e SEROUT2

Symbol B1 = PORTA.1 'Saida para acionar banco 1
Symbol B2 = PORTA.2 'Saida para acionar banco 2
Symbol B3 = PORTA.3 'Saida para acionar banco 3
Symbol SEL = PORTA.4 'Pino para colocar Pic em modo RX ou TX
Symbol LED = PORTB.3 'Saida para ascender Led quando estiver comunicando

AUXILIAR_1 VAR BYTE 'Variavel Auxiliar para leitura
AUXILIAR_2 VAR BYTE 'Variavel Auxiliar para leitura
AUXILIAR_3 VAR BYTE 'Variavel Auxiliar para leitura

TRISA = 1 'Define RA0 como entrada e os demais pinos da PORTA como saída
TRISB = %00000010 'Define RB0e RB3 como saída e os demais pinos de PORTB
como entrada

Low SEL 'Coloca Pic em modo de RX
Pause 1000

Loop: 'Loop principal:

TESTANDO:

    HSerin 500,TESTANDO,[AUXILIAR_1] 'Recebe pacote da rede

    HSerin 500,TESTANDO,[AUXILIAR_2]

        HSerin 500,TESTANDO,[AUXILIAR_3]

        IF AUXILIAR_1 = 65 Then 'verifica se o primeiro dado é igual ao
endereço

        IF AUXILIAR_2 = 1 Then 'se for,verifica se é para ligar banco,

        Select Case AUXILIAR_3 'se for, verifica qual banco deve ser ligado
        Case 1 'Se for 1, liga banco 1

```

```

        High B1

        Case 2      'Se for 2, liga banco 2
        High B2

        Case 3      'Se for 3, liga banco 3
        High B3

    End Select
EndIF
IF AUXILIAR_2 = 2 Then 'Se nao for para ligar,
    Select Case AUXILIAR_3 'Verifica qual banco deve ser desligado
        Case 1      'Se for 1, desliga banco 1
        Low B1
        Case 2      'Se for 2, desliga banco 2
        Low B2
        Case 3      'Se for 3, desliga banco 3
        Low B3
        Case Else
        End Select
    End Select
EndIF

EndIF

```

QUADRO 1 – Programa do microprocessador (PIC)

Na seqüência, serão apresentadas as telas do protótipo, bem como sua operacionalidade.

7.2.3.1 TELAS DO PROTÓTIPO

Na figura 24 é apresentada a tela de entrada do protótipo. Nesta tela pode-se observar o menu com as opções de Transdutor, Programação do FP, Porta Serial, Monitoração e Sair.

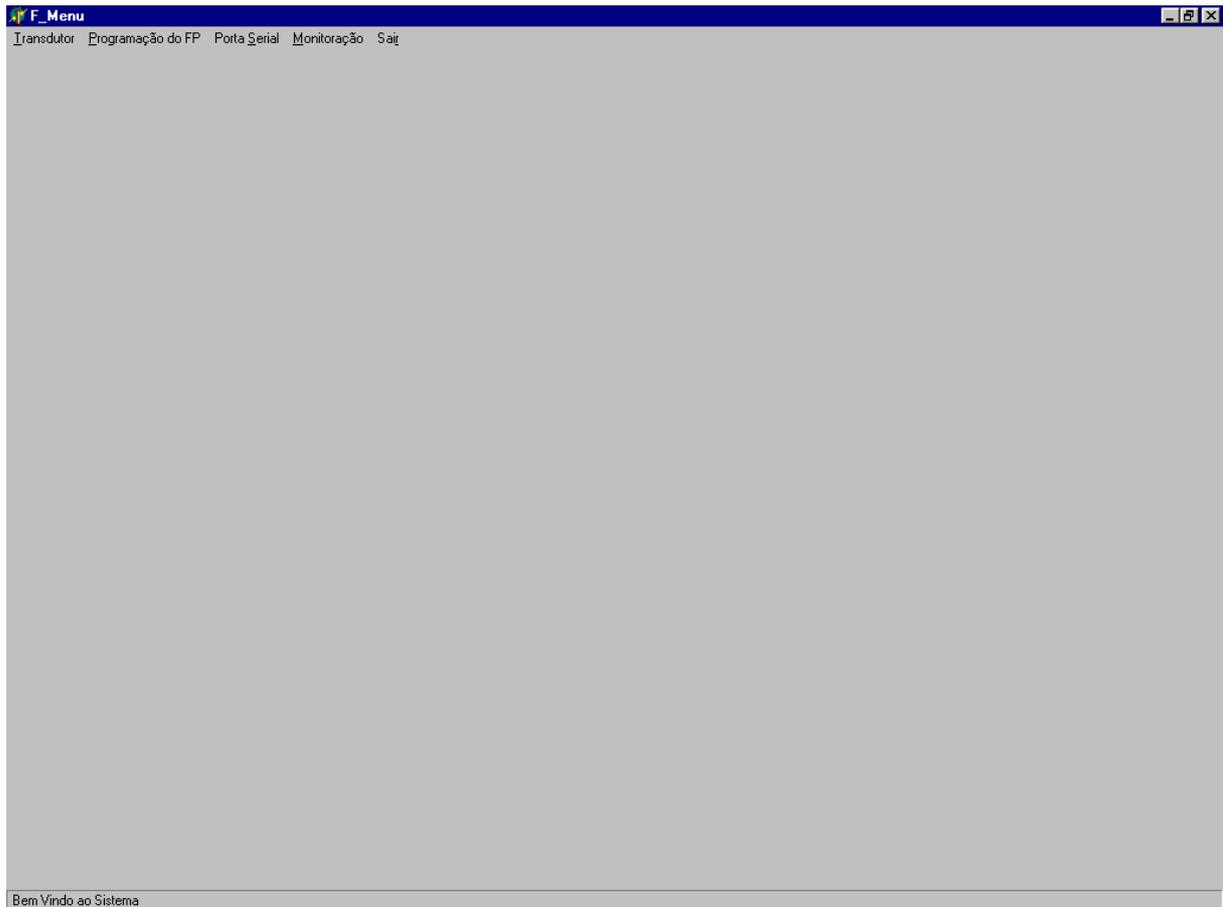


FIGURA 28 – Tela de entrada do protótipo

Para programar o sistema de modo correto, deve-se acessar primeiro a opção para configuração da porta serial, para isto basta dar um “clíc” com o mouse sobre a opção “Porta Serial”, na barra de opções do menu da tela principal. Feito isto, abrirá uma nova janela, conforme figura 29, onde deve ser escolhida a porta serial que está sendo utilizada para o protótipo, depois de escolhida de um “clíc” no botão “OK” para o sistema configurar a porta. Se houver algum problema para configuração da porta, será exibida uma mensagem informando que houve falha. Caso não exista falha na configuração da serial, o sistema enviará um pacote para o transdutor configurando seu endereço na rede. O endereço do transdutor na rede foi definido no protótipo como sendo o valor 16. Esta função, para definir o endereço do transdutor na rede, não gera resposta do transdutor (escravo).

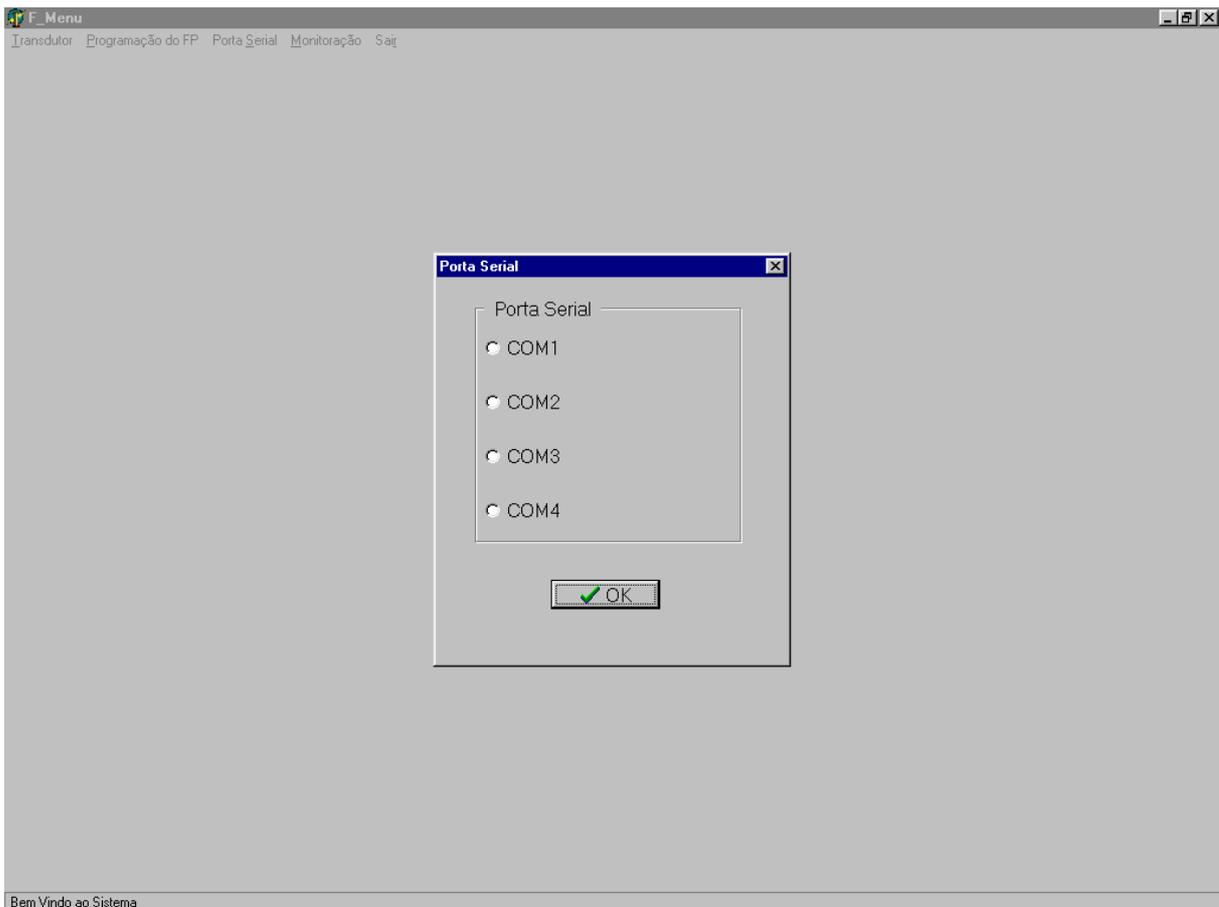


FIGURA 29 – Tela para configuração da porta serial

No quadro 2, pode ser observado parte da implementação para abertura da porta serial.

```

Function AbrirSerial (Serial: String): Thandle;
{0 - porta serial com problemas
N- porta serial OK}
Var
Retorno: Integer; {Retorno da Função}
DCB: TDCB;        {Configuração da COM, variável do tipo TDCB (da API)}
hComm: Thandle;  {Variável que dará acesso a porta serial}
CommTimeOuts: TCommTimeOuts;
Begin
Retorno:= 0;
{Fecha a porta se estiver aberta}
CloseHandle(hComm);
{Abre a porta para leitura e gravação}
hComm:= createfile (Pchar(Serial),generic_WRITE or generic_READ,1,nil,
                    open_existing,file_flag_overlapped,0);
If hComm > 0 then
Begin
{Seta as configurações da porta}

```

```

setupComm (hcomm,20,20);
  DCB.BaudRate := 9600;
  DCB.Parity := NOPARITY;
  DCB.ByteSize := 8;
  DCB.StopBits := 2;

  {Envia as configurações para a porta}
  SetCommState (hComm,DCB);

  {seta os timeouts da porta}
  CommTimeouts.ReadTotalTimeoutConstant:= 1000;
  CommTimeouts.ReadIntervalTimeout := 2;
  CommTimeouts.ReadTotalTimeoutMultiplier:= 2;
  CommTimeouts.WriteTotalTimeoutConstant:= 15;
  CommTimeouts.WriteTotalTimeoutMultiplier:= 2;
  setCommTimeouts (hComm,CommTimeouts);

  {Limpa o buffer de saída e entrada da porta}
  PurgeComm (hComm,PURGE_TXCLEAR);
  PurgeComm (hComm,PURGE_RXCLEAR);

  {Retorna a porta}
  Retorno:= hComm;
End;
{Retorna porta selecionada}
Result:= Retorno;

End;

```

QUADRO 2 – Função para abertura da porta serial

Após ter sido configurada a serial, deve ser configurado os valores de TC e TP do transdutor. Para isto, deve-se acessar a opção “Transdutor” no menu principal, de um “clic” com o mouse sobre esta opção, feito isto, abrirá uma nova tela onde pode ser escolhido a relação do TC e do TP em função dos equipamentos e da rede elétrica que se está trabalhando.

Após definido os valores deve-se clicar na opção “Gravar Dados”, o sistema enviará para o transdutor os valores informados e o transdutor responderá ao sistema confirmando a recepção dos dados. Caso exista alguma falha de comunicação será exibida uma mensagem informando que não foi possível cadastrar os dados, caso contrario o sistema após receber a resposta positiva do transdutor fechará a janela de configuração do transdutor.

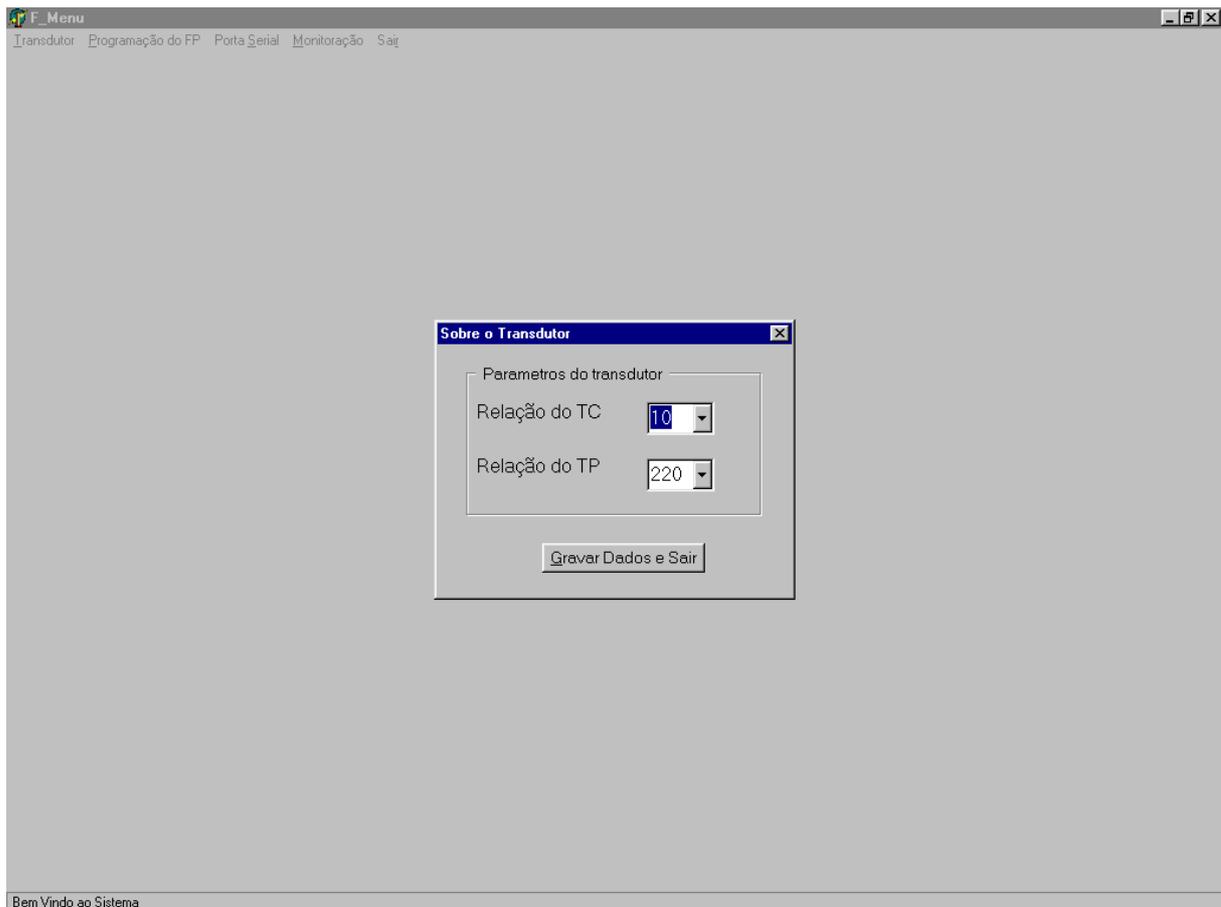


FIGURA 30 – Tela para configuração do transdutor

No quadro 3, pode ser observado parte do programa para configuração do transdutor.

```
Function gravartransdutor(TC,TP:integer): string; Export;
Var
  EntradaTC,EntradaTP,SaidaTC,SaidaTP: TArrayByte;
  RetornoTC,RetornoTP: String;
  IniDadosTC,FimDadosTC,IniDadosTP,FimDadosTP,Descriptor,NbyteS,NbyteR:
  Integer;
Begin
  NbyteS:=13;
  NbyteR:=8;
  {Montagem da mensagem MODBUS para programar transformador de corrente}
  EntradaTC[1]:=$10; //Endereço do transdutor
  EntradaTC[2]:=$10; //Função para programar um dos registros de configuração do
transdutor
  EntradaTC[3]:=$00; // Endereço do registro para
  EntradaTC[4]:=$02; // programar o valor do TC
  EntradaTC[5]:=$00; // Quantidade de registros
  EntradaTC[6]:=$02; // a serem programados
  EntradaTC[7]:=$04; //Byte Count
  if TC = 1 then
  begin
    EntradaTC[8]:=$00; // Registro 40003
```

```

EntradaTC[9]:=$00; // Programa TC para 10A
EntradaTC[10]:=$20; // Registro 40004
EntradaTC[11]:=$41; //
EntradaTC[12]:=$FD; // CRC
EntradaTC[13]:=$5E; // CRC
end
else
begin
EntradaTC[8]:=$00; // Registro 40003
EntradaTC[9]:=$00; // Programa TC para 50A
EntradaTC[10]:=$48; // Registro 40004
EntradaTC[11]:=$42; //
EntradaTC[12]:=$92; // CRC
EntradaTC[13]:=$9F; // CRC
end;
{Envia comando para o transdutor}
RetornoTC:= Comunica
(EntradaTC,NbyteS,NbyteR,SaidaTC,IniDadosTC,FimDadosTC);

{Montagem da mensagem MODBUS para programar transformador de potencial}
EntradaTP[1]:=$10; //Endereço do transdutor
EntradaTP[2]:=$10; //Função para programar um dos registros de configuração do
transdutor
EntradaTP[3]:=$00; // Endereço do registro para
EntradaTP[4]:=$00; // programar o valor do TP
EntradaTP[5]:=$00; // Quantidade de registros
EntradaTP[6]:=$02; // a serem programados
EntradaTP[7]:=$04; //Byte Count
if TP = 1 then
begin
EntradaTP[8]:=$00; // Registro 40001
EntradaTP[9]:=$00; // Programa TP para 110V
EntradaTP[10]:=$DC; // Registro 40002
EntradaTP[11]:=$42; //
EntradaTP[12]:=$7D; // CRC
EntradaTP[13]:=$86; // CRC
end
else
begin
EntradaTP[8]:=$00; // Registro 40001
EntradaTP[9]:=$00; // Programa TP para 220V
EntradaTP[10]:=$5C; // Registro 40002
EntradaTP[11]:=$43; //
EntradaTP[12]:=$DD; // CRC
EntradaTP[13]:=$86; // CRC
end;
{Envia comando para o transdutor}
RetornoTP:= Comunica
(EntradaTP,NbyteS,NbyteR,SaidaTP,IniDadosTP,FimDadosTP);
If (RetornoTC = '2') and (RetornoTP = '2') then

```

```
Result:= '2';  
if (RetornoTC = '3') and (RetornoTP = '3') then  
    Result:= '3'  
else  
    Result:= '1';  
End;
```

QUADRO 3 – Função para configuração do transdutor

FIGURA 31 – Tela para configuração dos bancos de capacitores e fator de potência

Realizada todas as configurações necessárias pode-se começar a monitoração, deve-se clicar na opção “Monitoração” do menu principal. Será aberta uma tela onde poderá ser programado o valor dos bancos de capacitores que serão utilizados e o valor mínimo de fator de potência que se pretende ter na rede elétrica.

Para iniciar a monitoração, basta clicar no botão “Monitorar”. O sistema buscará os valores de cada uma das grandezas no transdutor e colocará na tela, em função do valor de fator de potência medido e do valor mínimo informado na tela de configuração do fator de potência, será calculado, se necessário, o banco de capacitor que deve ser acionado. Definido o banco, o sistema enviará uma mensagem ao protótipo de hardware informando o banco que deverá ser ligado ou desligado, conforme a necessidade. Para sair da tela de monitoração, basta clicar no botão “OK”.

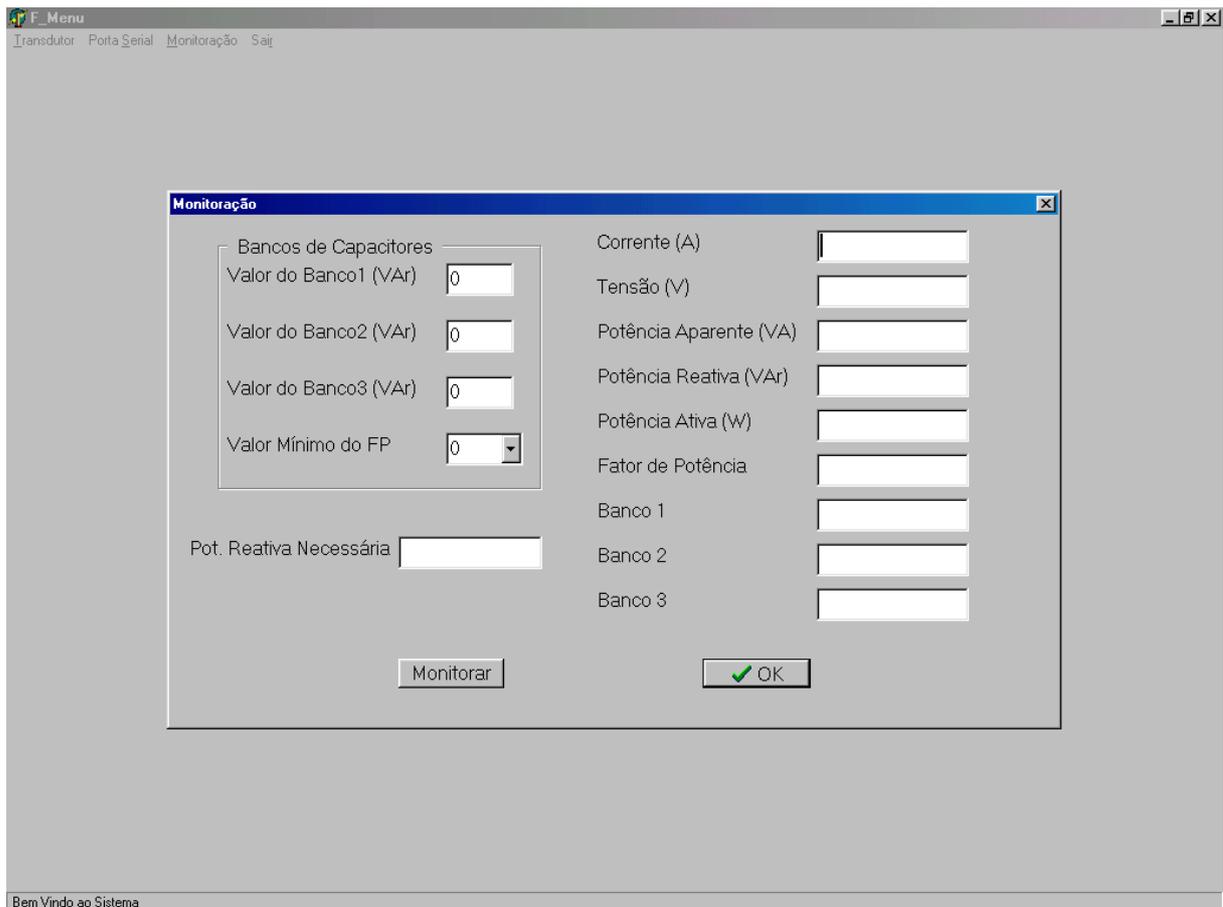


FIGURA 31 – Tela para monitoração

No quadro 3 pode ser observado função para leitura da corrente, sendo que para as outras grandezas segue-se o mesmo padrão, mudando apenas os valores dos registros.

```
Function LerCorrente: string; Export;
Var
  Entrada, Saida: TArrayByte;
  Retorno, Rascunho: String;
  IniDados, FimDados, Descritor, NbyteS, NbyteR: Integer;
Begin
  {Montagem da mensagem MODBUS}
  Entrada[1]:= $10; //Endereço do transdutor
  Entrada[2]:= $04; //Função para ler as grandezas elétricas no transdutor
  Entrada[3]:= $00; // Grandeza que
  Entrada[4]:= $16; // de vera ser lida
  Entrada[5]:= $00; // Total de registros do transdutor que devem
  Entrada[6]:= $02; // ser lidos para obter valor da grandeza desejada
  Entrada[7]:= $93; // CRC
  Entrada[8]:= $55; // CRC
  {Envia comando para o transdutor}
  Retorno:= Comunica (Entrada, NbyteS, NbyteR, Saida, IniDados, FimDados);
```

```
if Retorno = '2' then
begin
  Rascunho:= "";
  for Descrit:= IniDados+3 to IniDados+7 do
    Rascunho:= FloatToStr(Saida[descritor]);
    Result:= Rascunho;
  end
else
  Result:= 'Sem dados';
End;
```

QUADRO 4 – Função para ler valor de corrente

Para sair do sistema de um “click” na opção “Sair” do menu principal, o sistema fechará a porta serial que está sendo utilizada e fechará o protótipo.

7.3 TESTES

O objetivo de desenvolver um protótipo de hardware para acionar os bancos de capacitores em função da necessidade e interligar com o PC e o medidor de grandezas elétricas, foram alcançados. Porém as medições das grandezas elétricas para monitoração e a correta correção, apresentou alguns problemas de comunicação entre o transdutor e o PC, que não foram possíveis de ser solucionados até a escrita deste parágrafo.

A comunicação entre o protótipo de software desenvolvido no PC e o protótipo de hardware, não utiliza o padrão de comunicação do protocolo *Modbus*. Sendo que para a comunicação entre o PC e o transdutor, foi utilizado o padrão proposto do protocolo *Modbus RTU*.

8 CONCLUSÃO

O estudo sobre fator de potência mostrou a necessidade em conservação de energia e como isto pode ser feito em empresas que não podem parar de funcionar e ao mesmo tempo precisão minimizar os custos de produção, e entre eles o gasto com a energia elétrica.

Verificou-se que já existe no mercado uma série de equipamentos destinados a monitorar e realizar a devida correção do fator de potência. Porém não foi identificado nenhum software e equipamento que monitore diversos controladores de fator de potência em rede. Para este tipo de aplicação, onde se pode monitorar através de um terminal todas as características da rede elétrica em diversos pontos de uma grande indústria, o protótipo se prestaria, bastando fazer algumas alterações, tais como fazer com que ele pudesse pegar os valores de mais de um equipamento e não apenas um.

O estudo e a implementação do protocolo *Modbus*, mostrou-se simples e objetivo com o propósito de formação de mensagem que trafegam na rede. Verificou-se ainda a grande utilização deste protocolo em equipamentos industriais.

Nos estudos realizados sobre o meio de transmissão RS485, verificou-se que é muito utilizado em equipamentos industriais, devido a sua capacidade de transmissão e sua simplificação de cabeamento. Porém, verificou-se o cuidado que se deve ter com a passagem de seus dois cabos de comunicação, principalmente em ambientes industriais, onde se deve deixar separado, isolado de cabos de energia elétrica que geram grandes campos magnéticos podendo com isso gerar interferências e erros de comunicação.

No desenvolvimento do protótipo de hardware, foram encontradas algumas dificuldades, principalmente com a utilização do microcontrolador, uma vez que o mesmo não era de conhecimento e era necessário a familiarização com o mesmo e implementação do programa para acionamento dos capacitores. Inicialmente se optou pelo PIC16F84 e por um compilador C para a sua programação. Após verificou-se a existência de um compilador basic para microcontroladores que oferecia melhores recursos para implementação da transmissão serial, e então se mudou para este compilador. Após a familiarização com o novo compilador e o término da montagem do circuito eletrônico começou-se os testes, onde após inúmeras tentativas verificou-se que era necessário a utilização de outro microcontrolador, devido a problemas de comunicação que se tinha com o atual na rede RS485, ou seja, o PIC16F84 não

conseguia ler o pacote de maneira correta que era enviado pelo PC via RS485. Foi então utilizado o microcontrolador PIC16F628, onde após os ajustes necessários funcionou de modo satisfatório.

Após o final dos testes realizados com o protótipo, verificou-se que os objetivos propostos no início do trabalho foram todos atendidos.

8.1 EXTENSÕES

As sugestões para futuros trabalhos são:

- a) Verificar a utilização e implementar outros protocolos para a comunicação com equipamentos industriais, visto que o equipamento utilizado no protótipo utiliza apenas o Modbus;
- b) Desenvolver um protótipo que faça as leituras das grandezas elétricas de uma rede elétrica e que possa comunicar com o PC;
- c) Estudar outros meios de acesso como radio frequência e fibra ótica;
- d) Desenvolver um protótipo que monitore o consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistemas elétricos**, Brasília, ([2003]). Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2003.

CTAI – CENTRO DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO E INFORMÁTICA. **Divulgações**, Florianópolis, ([2003]). Disponível em: < <http://www.ctai.senai.br>>. Acesso em: 09 ago. 2003.

CUNHA, Judson Michel. **Protótipo de rede industrial utilizando o padrão serial RS485 e protocolo modbus**. 2000. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

DEMIC – DEPARTAMENTO DE ELETÔNICA E MICROELETRÔNICA. **Download**, São Paulo, ([2003]). Disponível em: <http://www.demic.fee.unicamp.br/~elnatan/ie321/ie321.html>. Acesso em: 05 out. 2003.

EDMINISTER, Joseph A. **Circuitos elétricos**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

LUMIERE, Revista. **Glossário Lumière de Instalações Elétricas**. São Paulo: Lumière, 2001.

MICROCHIP. Microcontroladores, [S.1.], ([2003]). Disponível em: <<http://www.microchip.com/download>>. Acesso em 10 nov. 2003.

SEIXAS FILHO, Constantino. **Sistemas distribuídos para automação**. Universidade Federal de Minas Gerais, ([2003]). Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas>>. Acesso em 10 ago. 2003.

SILVA, Alexandre José da. **Construção de um protótipo de relê multifunção para proteção de motores elétricos**. 2001. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

SILVA JUNIOR, Vidal Pereira da. **Microcontroladores PIC: teoria e prática**. São Paulo: Do Autor, 2000.

SOUZA, David José de. **Desbravando o PIC**. São Paulo: Erica, 2001.

WEG INDÚSTRIAS S.A. **Módulo 1 comando e proteção**. Jaraguá do Sul: Centro de treinamento de clientes, 2001.

APÊNDICE A – Circuito eletrônico do protótipo

