

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**OBTENÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA SOMENTE POR
VALORES EFICAZES**

ANDRÉ LUIZ GONTIJO

FEVEREIRO

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**OBTENÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA SOMENTE POR
VALORES EFICAZES**

Dissertação apresentada por **André Luiz Gontijo** à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Professor Luciano Martins Neto, Dr. (UFU) – Orientador

Professor José Wilson Lima Nerys, PHD. (UFG)

Professor Luciano Vieira Lima, Dr. (UFU)

Uberlândia, 21 fevereiro de 2005.

OBTENÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA SOMENTE POR VALORES EFICAZES

AUTOR:

ANDRÉ LUIZ GONTIJO

Dissertação apresentada por **André Luiz Gontijo** à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Prof. Luciano Martins Neto, Dr.

Orientador

Prof. Gilberto Arantes Carrijo, Dr.

Coordenador do Curso de Pós-Graduação

“Aos meus pais Lélío e Sônia, aos meus irmãos Cristiano e Isabel, pelo apoio e companheirismo que me ajudaram a finalizar o curso de mestrado”

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luciano Martins Neto por partilhar sua sabedoria, seu conhecimento e sua atenção que ajudaram a desenvolver este trabalho.

Aos amigos Alexandre, Márcio, Antônio Carlos, Geraldo, Élcio e Edgar do curso de pós-graduação pela colaboração, amizade e companheirismo.

RESUMO

GONTIJO, ANDRÉ L.; Obtenção da Potência Ativa Somente por Valores Eficazes.
Uberlândia-MG, UFU, 2005.

Esta dissertação apresenta nova abordagem no cálculo da potência ativa consumida por uma carga, através de sinais de tensão proporcionais aos valores eficazes da tensão e da corrente juntamente com o valor eficaz da soma ou da diferença entre tensão e corrente. Esta abordagem é interessante quando a obtenção de valores eficazes é simples e econômica comparada com a obtenção dos valores instantâneos. A análise matemática é apresentada em detalhe, bem como o funcionamento de um protótipo, e os testes permitem a confrontação teórica experimental.

Palavras-chave:

Fator de Potência, Potência Ativa e Valor Eficaz.

ABSTRACT

GONTIJO, ANDRÉ L.; Active Power Obtained Only By RMS Values. Uberlândia-MG, UFU, 2005.

This work shows a new approach in the calculus of the active power consumed by a load through signals of voltage, that are proportional to the RMS values of the voltage and of the current, together with RMS value of the sum or difference of these signs. This approach is interesting when the acquisition of the RMS values is simple and economic compared with the acquisition of instantaneous values. The mathematical analysis is presented in details, as the operating principle of the prototype and the tests carried out allow the confrontation of the theory and the practice.

Key words:

Active Power, Power Factor and RMS Value.

SUMÁRIO

➤ **CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO**

1.1 - Considerações Iniciais.....	01
1.2 - Objetivo.....	02

➤ **CAPÍTULO II – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO**

2.1 - Método da Soma.....	04
2.1.1 – Desenvolvimento na forma geral.....	04
2.1.2 – Desenvolvimento na forma fasorial.....	07
2.2 - Método da Diferença.....	08
2.2.1 – Desenvolvimento na forma geral.....	08
2.2.2 – Desenvolvimento na forma fasorial.....	09
2.3 - Análise da Sensibilidade dos Métodos quanto à variação do fator de potência da carga.....	10
2.4 - Conversão analógico-digital.....	12
2.5 - Efeito do Erro de Quantização.....	14
2.6 - Mapas de Erro.....	17

➤ **CAPÍTULO III – CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO**

3.1 - Introdução.....	20
3.2 - Construção dos Medidores.....	22
3.2.1 – Entrada de Sinais.....	22
3.2.2 – Filtro.....	25
3.2.3 – Circuito Subtrator.....	27
3.2.4 – Retificação.....	29
3.2.5 – Alisamento.....	30
3.2.6 – Limitador.....	31
3.3 - Multiplexação.....	32

3.4 -	Circuito de Controle.....	34
	3.4.1 – <i>Funcionamento</i>	34
	3.4.2 – <i>Algoritmo</i>	36
3.5 -	Software de Tratamento de Dados.....	38
➤	CAPÍTULO IV – SIMULAÇÕES	
	Considerações Iniciais.....	41
4.1 -	Carga monofásica Fase – Neutro.....	43
4.2 -	Carga monofásica Fase – Fase.....	44
4.3 -	Carga trifásica em Estrela.....	45
4.4 -	Carga trifásica em Delta.....	47
4.5 -	Carga Mista.....	48
➤	CAPÍTULO V – ENSAIOS REALIZADOS	
	Considerações Iniciais.....	50
5.1 -	Aferição.....	51
	5.1.1. <i>Para aferir as Tensões</i>	52
	5.1.2. <i>Para aferir as Correntes</i>	52
5.2 -	Primeiro Ensaio.....	53
5.3 -	Segundo Ensaio.....	60
➤	CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO E SUGESTÕES	
	Conclusões Finais.....	67
➤	REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

➤ **ANEXOS**

ANEXO A – Esquema do Circuito Simulado no ORCAD

ANEXO B – Esquema do Circuito do Protótipo

ANEXO C – Software do Microcontrolador- PIC

ANEXO D – Software para calculo da potência ativa e da função demanda a partir dos resultados armazenados pelo PIC em memória específica

ANEXO E – Lista de materiais e Datasheets

OBTENÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA SOMENTE POR

VALORES EFICAZES

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. – Considerações Iniciais

Atualmente existem vários medidores de potência ativa disponíveis no mercado e quase todos eles se utilizam do método mais genérico de cálculo da potência ativa em que, obtido os valores instantâneos de tensão e corrente em um determinado circuito, basta integrar o produto desses dois valores ao longo de um período que se obtém o valor da potência ativa consumida por este circuito.

Muitos desses medidores, principalmente os digitais, são caros, pois necessitam de amostrar os valores instantâneos de tensão e corrente em tempo real, ou seja, o número de amostras por período deve ser grande o suficiente para que o sinal seja adquirido corretamente, e ao mesmo tempo armazenar estes valores em uma memória para posterior análise. Para realizar todas essas funções são necessários processadores muito rápidos e em processamentos mais complexos, em tempo real, pode requerer mais de um processador funcionando em paralelo, o que encareceria tais medidores.

Alguns desses medidores se utilizam desta forma de cálculo porque são construídos não só para analisar a potência ativa, mas também para realizar outras medidas para análises mais apuradas em qualidade de energia. Mas existem aplicações em que estas medições são desnecessárias, como é o caso de análise de demanda ou quando é necessário

apenas a medição da potência ativa em determinada carga, e estes medidores ficam, muitas vezes, sobredimensionados.

Este trabalho visa fornecer uma forma alternativa para o cálculo da potência ativa nos casos em que somente ela é necessária, o que acarretaria em um medidor mais econômico e dimensionado corretamente para a tarefa em questão.

O método apresentado nesta dissertação é aplicável quando é possível se obter facilmente o valor eficaz de um sinal qualquer, ou um valor proporcional a ele, caso contrário, se fosse preciso calcular os valores eficazes da tensão e da corrente da forma tradicional o método já não se torna atrativo.

Uma vez que se supõe fácil a obtenção do valor eficaz de um sinal qualquer, o método apresentado aqui facilita a obtenção da potência ativa, conseqüentemente barateando o valor do medidor, tornando-se possível, por exemplo, a construção de analisadores de demanda de potência e também de wattímetros digitais mais baratos.

1.2. – Objetivo

O principal objetivo desta dissertação é construir um protótipo barato que comprove a teoria do método de cálculo da potência ativa a ser apresentado nesta dissertação.

Este protótipo será desenvolvido para a forma de onda senoidal fundamental, devido a facilidade de obtenção do valor eficaz da mesma, visto que este valor eficaz é proporcional ao valor de pico da forma de onda senoidal.

Isto não irá comprometer de forma demasiada no erro presente na medição, pois, embora na maioria das aplicações a corrente possa apresentar uma distorção mensurável com relação à frequência fundamental, a tensão no barramento, em geral, apresenta pouca distorção, e como no calculo da potência ativa somente os sinais cujas harmônicas estão

presentes tanto na tensão quanto na corrente são utilizadas, a probabilidade de erro no cálculo da potência ativa diminui, pois como já foi dito a tensão é composta basicamente da harmônica fundamental, sendo que embora a terceira e quinta harmônicas estejam presentes, elas tem valores baixos se comparados à fundamental e, portanto, se ignorados não incluirão um grande erro na medição.

Embora o protótipo construído seja projetado para medir somente a potência ativa correspondente aos valores fundamentais, isto não significa que o método não possa ser utilizado para qualquer forma de onda, basta que se obtenha o valor eficaz da forma de onda em questão de forma fácil e precisa.

CAPÍTULO II

DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

Neste capítulo será mostrado todo o desenvolvimento matemático do método de cálculo de potência ativa que se deseja mostrar nesta dissertação.

Primeiramente será mostrado o chamado método da soma, que foi o primeiro a ser desenvolvido e em seguida será desenvolvido o intitulado método da diferença.

Após ser mostrada a análise matemática dos dois métodos, será efetuado um estudo de caso de ambos, definindo o melhor.

2.1 – Método da Soma

Este item foi dividido em dois sub-itens onde, no primeiro sub-item será desenvolvido o método na forma geral e, no segundo será desenvolvido o método na forma particularizada para o regime permanente senoidal.

2.1.1 – *Desenvolvimento na forma geral*

Supondo que se queira obter a potência ativa em jogo no bipolo da figura 2.1, pode-se inicialmente dispor de dois sinais de tensão, $V_v(t)$ e $V_i(t)$, respectivamente, proporcionais à tensão $V(t)$ e à corrente $I(t)$ nos terminais do mesmo. Estes sinais de tensão são obtidos através de sensores de tensão e corrente, como por exemplo, um divisor de tensão e um “shunt” de corrente, ou sensores de efeito “Hall”.

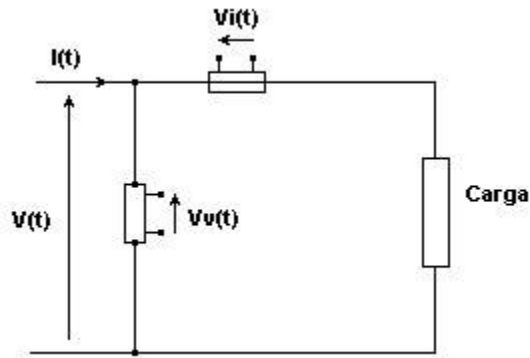


Figura 2.1 – Tensão e corrente e seus respectivos sinais sensoriados

Somando os valores instantâneos dos sinais $Vv(t)$, proporcional à tensão, e $Vi(t)$, proporcional à corrente, tem-se o valor instantâneo de um terceiro sinal $Sm(t)$, proporcional à soma de $Vv(t)$ e $Vi(t)$, como mostrado na expressão (1)

$$Sm(t) = Vv(t) + Vi(t) \quad (1)$$

Elevando ao quadrado a expressão (1), tem-se (2) e (3).

$$Sm^2(t) = (Vv(t) + Vi(t))^2 \quad (2)$$

$$Sm^2(t) = Vv^2(t) + Vi^2(t) + 2 \cdot Vv(t) \cdot Vi(t) \quad (3)$$

Supondo que $Vv(t)$ e $Vi(t)$ sejam funções periódicas, pode-se integrar todas as parcelas de (3) no intervalo de tempo relativo ao período T obtendo-se a expressão (4).

$$\int_0^T Sm^2(t) \cdot dt = \int_0^T Vv^2(t) \cdot dt + \int_0^T Vi^2(t) \cdot dt + \int_0^T 2 \cdot Vv(t) \cdot Vi(t) \cdot dt \quad (4)$$

Multiplicando-se cada parcela da expressão (4) pelo inverso do período obtém-se (5).

$$\frac{1}{T} \int_0^T Sm^2(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T Vv^2(t) \cdot dt + \frac{1}{T} \int_0^T Vi^2(t) \cdot dt + 2 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T Vv(t) \cdot Vi(t) \cdot dt \quad (5)$$

Pela definição do valor eficaz, o primeiro membro da expressão (5) refere-se ao valor eficaz de $Sm(t)$, e os dois primeiros termos do seu segundo membro referem-se aos valores eficazes de $Vv(t)$ e $Vi(t)$, respectivamente. Assim pode-se escrever a expressão (6).

$$Sm^2 = Vv^2 + Vi^2 + 2 \cdot \int_0^T \frac{Vv(t) \cdot Vi(t)}{T} \cdot dt \quad (6)$$

Onde :

$S_m \rightarrow$ Valor eficaz da soma, $S_m(t)$

$V_v \rightarrow$ Valor eficaz de $V_v(t)$

$V_i \rightarrow$ Valor eficaz de $V_i(t)$

O terceiro termo do segundo membro de (6) se relaciona com a potência ativa em jogo no bipolo da figura 1. Essa potência, chamada de P , é a média da potência instantânea no bipolo, como mostrado na expressão (7).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \cdot I(t) \cdot dt \quad (7)$$

Os sinais $V_v(t)$ e $V_i(t)$ são referentes à $V(t)$ e $I(t)$, respectivamente, portanto devem ser proporcionais, e assim pode-se escrever (8) e (9).

$$V(t) = K_v \cdot V_v(t) \quad (8)$$

$$I(t) = K_i \cdot V_i(t) \quad (9)$$

Substituindo-se (8) e (9) em (7) tem-se (10).

$$P = \frac{K_v \cdot K_i}{T} \int_0^T V_v(t) \cdot V_i(t) \cdot dt \quad (10)$$

Chamando de P_s a integral pertencente ao terceiro termo do segundo membro de (6), tem-se (11).

$$P_s = \frac{1}{T} \int_0^T V_v(t) \cdot V_i(t) \cdot dt \quad (11)$$

Comparando-se (10) e (11) tem-se (12).

$$P = K_v \cdot K_i \cdot P_s \quad (12)$$

Portanto obtendo-se P_s , pode-se obter P . A obtenção de P_s pode ser feita substituindo (11) em (6), resultando em (13).

$$P_s = \frac{S_m^2 - V_v^2 - V_i^2}{2} \quad (13)$$

Conhecendo-se os valores eficazes S_m , V_v e V_i é possível obter P_s e conseqüentemente P .

2.1.2 – Desenvolvimento na forma fasorial

Considerando $V(t)$ e $I(t)$ grandezas senoidais vale a teoria dos fasores, ou seja, a representação complexa das grandezas citadas. Assim pode-se montar um diagrama fasorial onde $V(t)$, $I(t)$, $V_v(t)$, $V_i(t)$ e $S_m(t)$ são representados pelos fasores \dot{V} , \dot{I} , \dot{V}_v , \dot{V}_i e \dot{S}_m , respectivamente, como mostrado na figura 2.2.

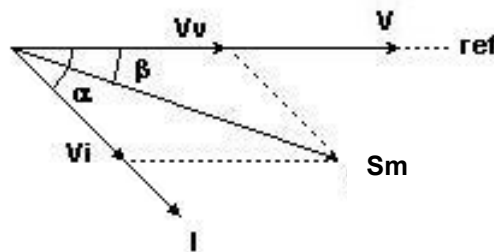


Figura 2.2 – Diagrama vetorial

Da figura 2.2 tem-se (14) e (15).

$$S_m \cdot \cos(\beta) = V_v + V_i \cdot \cos(\alpha) \quad (14)$$

$$S_m \cdot \sin(\beta) = V_i \cdot \sin(\alpha) \quad (15)$$

Elevando as expressões (14) e (15) ao quadrado tem-se as expressões (16) e

(17).

$$S_m^2 \cdot \cos^2(\beta) = V_v^2 + 2 \cdot V_v \cdot V_i \cdot \cos(\alpha) + V_i^2 \cdot \cos^2(\alpha) \quad (16)$$

$$S_m^2 \cdot \sin^2(\beta) = V_i^2 \cdot \sin^2(\alpha) \quad (17)$$

Somando as expressões (16) e (17) tem-se (18).

$$S_m^2 = V_v^2 + V_i^2 + 2 \cdot V_v \cdot V_i \cdot \cos(\alpha) \quad (18)$$

Por analogia com (11), pode-se escrever (19).

$$P_s = V_v \cdot V_i \cdot \cos(\alpha) \quad (19)$$

De (18) e (19) vem (20).

$$P_S = \frac{S_m^2 - V_v^2 - V_i^2}{2} \quad (20)$$

Conhecendo-se P_S obtém-se P através de (12), desde que S_m , V_v e V_i sejam valores eficazes.

2.2 – Método da diferença

No lugar da soma de $V_v(t)$ e $V_i(t)$ faz-se a diferença, tanto para a forma de onda genérica como para o caso específico de regime permanente senoidal.

2.2.1 – Desenvolvimento na forma geral

Ainda se reportando à figura 1, os sinais $V_v(t)$ e $V_i(t)$ podem ser subtraídos, originando o sinal $Df(t)$, mostrado na fórmula (21).

$$Df(t) = V_v(t) - V_i(t) \quad (21)$$

Como feito no caso da soma, eleva-se ao quadrado as parcelas de cada lado de (21), obtendo-se (22).

$$Df^2(t) = V_v^2(t) + V_i^2(t) - 2 \cdot V_v(t) \cdot V_i(t) \quad (22)$$

Supondo novamente que os sinais, tanto de tensão como de corrente, sejam periódicos e, conseqüentemente, que o sinal da diferença também o seja, pode-se integrar e dividir pelo período T cada parcela da expressão (22) resultando em (23).

$$\frac{1}{T} \int_0^T Df^2(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_v^2(t) \cdot dt + \frac{1}{T} \int_0^T V_i^2(t) \cdot dt - 2 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T V_v(t) \cdot V_i(t) \cdot dt \quad (23)$$

Fazendo analogia de (23) com (5), baseando-se nos resultados apresentados em (6), (11) e (13), pode-se escrever (24).

$$P_S = \frac{V_v + V_i^2 - Df^2}{2} \quad (24)$$

Onde Df é o valor eficaz de $Df(t)$.

Conhecido P_s obtém-se P através de (12).

2.2.2 – Desenvolvimento na forma fasorial

Da mesma forma que em 2.1.2, considera-se $V(t)$ e $I(t)$ variando senoidalmente. Neste caso o diagrama fasorial apresenta não a soma mas a diferença entre V_v e V_i , como na figura 2.3.

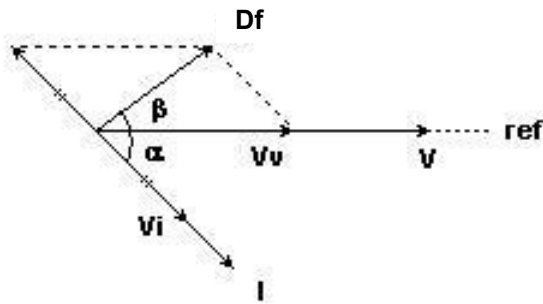


Figura 2.3 – Diagrama vetorial

Do diagrama fasorial da figura 3, obtém-se (25) e (26).

$$Df \cdot \cos(\beta) = V_v - V_i \cdot \cos(\alpha) \quad (25)$$

$$Df \cdot \sin(\beta) = V_i \cdot \sin(\alpha) \quad (26)$$

Elevando ao quadrado as parcelas à esquerda e à direita nas equações (25) e (26) chega-se às equações (27) e (28).

$$Df^2 \cdot \cos^2(\beta) = V_v^2 - 2 \cdot V_v \cdot V_i \cdot \cos(\alpha) + V_i^2 \cdot \cos^2(\alpha) \quad (27)$$

$$Df^2 \cdot \sin^2(\beta) = V_i^2 \cdot \sin^2(\alpha) \quad (28)$$

Somando (27) e (28) chega-se à equação (29).

$$Df^2 = V_v^2 + V_i^2 - 2 \cdot V_v \cdot V_i \cdot \cos(\alpha) \quad (29)$$

De (19) e (29) chega-se à expressão (30).

$$P_s = \frac{V_v^2 + V_i^2 - Df^2}{2} \quad (30)$$

Como no caso da soma, conhecendo-se P_s obtém-se P através de (12).

2.3 – Análise da sensibilidade dos métodos quanto à variação do fator de potência da carga

Observando os diagramas fasoriais apresentados nas figuras 2.2 e 2.3, nota-se que mantendo-se constantes os módulos de V_v e V_i , alteram-se os módulos de S_m e D_f conforme varia o ângulo α ou o fator de potência da carga, $\cos(\alpha)$. Para se obter a sensibilidade na variação dos módulos de S_m e D_f em relação à variação do fator de potência, as expressões (18) e (29) podem ser escritas como (31) e (32), respectivamente.

$$\cos(\alpha) = \frac{S_m^2 - V_v^2 - V_i^2}{2 \cdot V_v \cdot V_i} \quad (31)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{V_v^2 + V_i^2 - D_f^2}{2 \cdot V_v \cdot V_i} \quad (32)$$

Admitindo-se V_v e V_i constantes e iguais, no caso com valores iguais a 50, pode-se obter as características do fator de potência em função dos módulos de S_m e D_f , conforme figura 2.4.

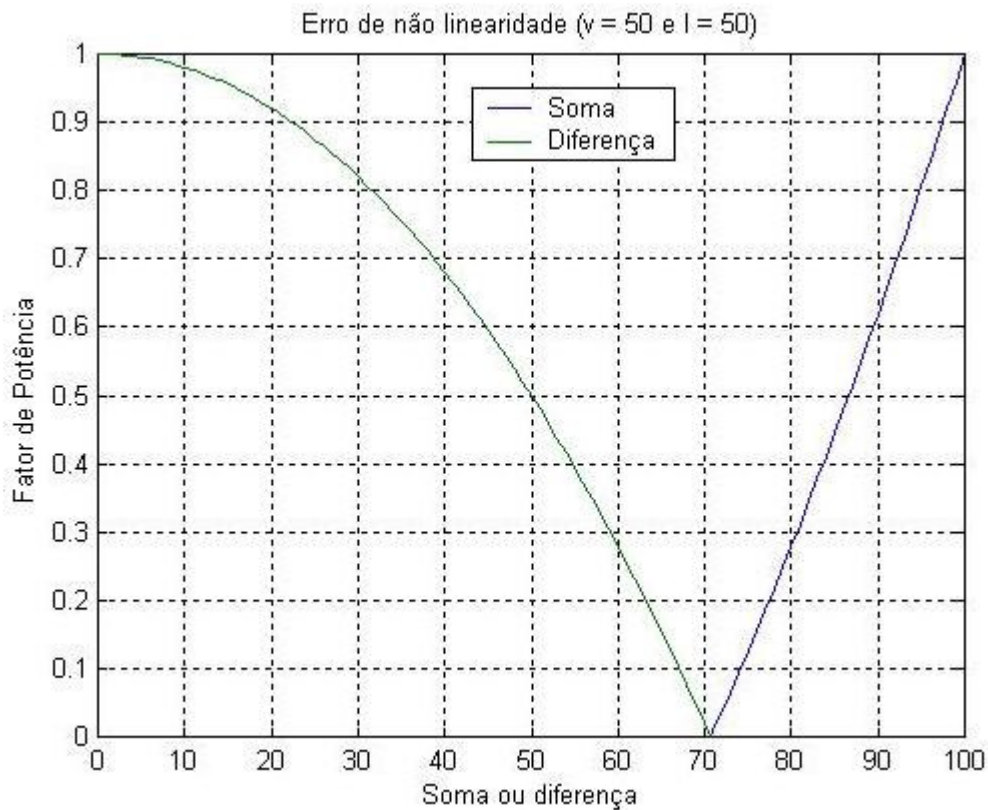


Figura 2.4 – Gráfico do fator de potência em função de S_m ou D_f

Observando-se a figura 2.4 nota-se que para uma mesma variação nos valores de S_m e D_f , próximo ao fator de potência unitário, implica em uma grande variação no fator de potência no caso da soma, e em uma pequena variação nesse mesmo valor no caso da diferença.

Como a maioria das cargas apresenta fator de potência mais próximo da unidade do que de zero, conclui-se que o método da diferença é melhor que o da soma para medir a potência ativa, devido a sua baixa sensibilidade a variações na faixa onde o fator de potência é próximo da unidade.

2.4 – Conversão analógico-digital

Ambos os métodos propostos necessitam de manipulação dos sinais V_v , V_i e S_m ou D_f . Para a implementação prática dos métodos essa manipulação será feita digitalmente e portanto será necessário verificar o comportamento da sensibilidade, apresentada no item anterior, com a utilização da digitalização. Apenas por uma questão didática será apresentado, a seguir, um caso de conversão de analógico para digital.

A conversão de um sinal analógico em um sinal digital pode ser dividida em três partes, a amostragem, a quantização e a codificação. Todas estas três fases podem ser vistas graficamente na figura 2.5, que foi retirada de [2].

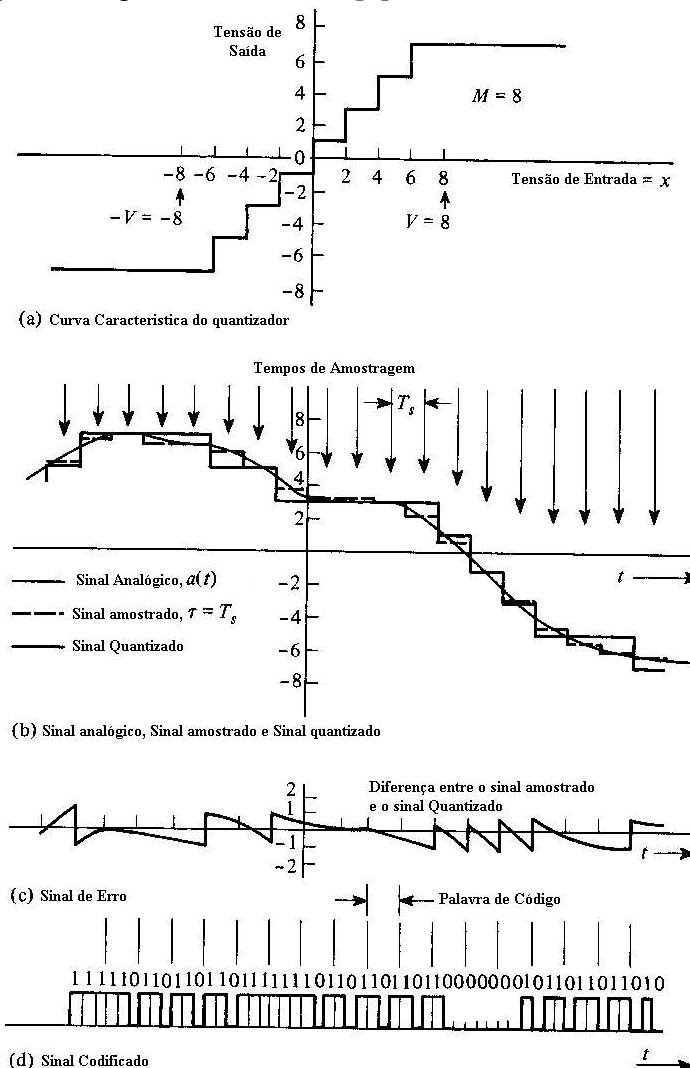


Figura 2.5 – Etapas da Digitalização

A amostragem é feita simplesmente armazenando analogicamente o valor do sinal no instante da amostragem durante o intervalo de tempo necessário para que as duas etapas seguintes (quantização e codificação) sejam realizadas. A frequência de amostragem não será importante aqui pois não será calculado o valor eficaz da forma tradicional, e sim serão obtidos valores proporcionais aos valores eficazes destes sinais, portanto a frequência de amostragem pode ser muito baixa.

Na etapa seguinte se dá a quantização. Esta etapa é necessária pois em um sinal codificado binariamente, como é o caso do protótipo a ser construído, existe apenas um número finito de palavras binárias e em um sinal analógico existem infinitos níveis de amplitude possíveis entre o valor máximo e mínimo do sinal amostrado, portanto devemos relacionar cada palavra binária a um certo intervalo de amplitude no sinal analógico. Quando fazemos isto há uma perda de informação que pode ser chamada de ruído de quantização ou erro de arredondamento, sendo ele proporcional ao número de níveis de quantização, ou seja, ao número de bits do conversor.

A última etapa é a codificação, onde o valor analógico amostrado encontra uma palavra digital correspondente para representá-la.

No protótipo a ser construído a conversão do valor analógico para digital é feita pelo próprio microcontrolador utilizado, que possui um conversor A/D interno, não sendo necessário nenhum outro componente externo, simplificando assim o projeto.

2.5 – Efeito do erro de quantização

Aplicando a conversão analógica-digital nas características encontradas no item 2.3 pode-se avaliar o erro de quantização na obtenção dos fatores de potência para os métodos da soma e da diferença.

As curvas da figura 2.6 contêm a curva do fator de potência em função do valor da soma, em azul, a mesma curva quantizada utilizando 4 bits na conversão, em verde, e a curva em vermelho que representa o erro entre a curva original e a quantizada em função do fator de potência.

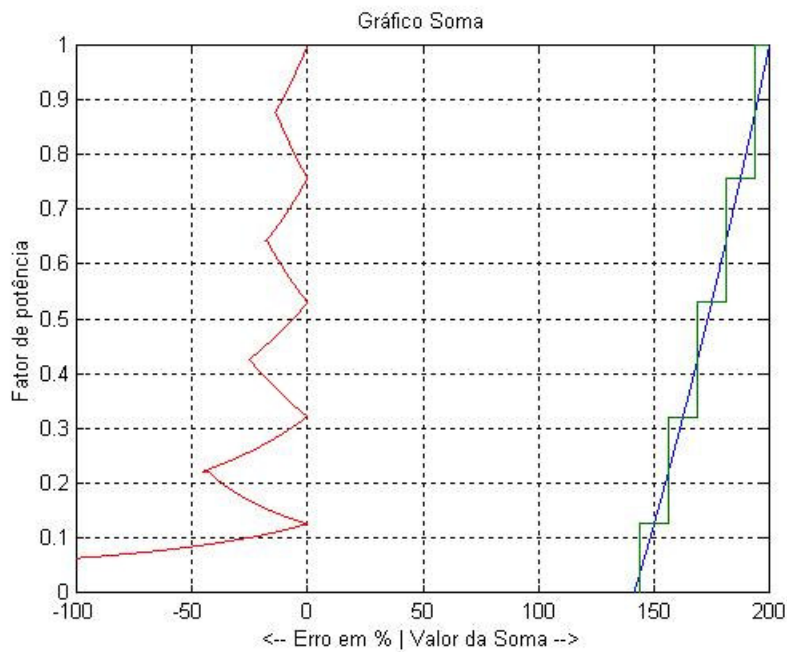


Figura 2.6 – Erro no método da soma (4 bits)

Pode se observar na figura 2.6 que os erros maiores se concentram nos fatores de potência próximos a zero, e os erros menores se encontram em fatores de potência próximos da unidade.

Da mesma forma que as curvas da figura 2.6 mostram resultados referentes ao método da soma, aqueles da figura 2.7 se referem ao método da diferença.

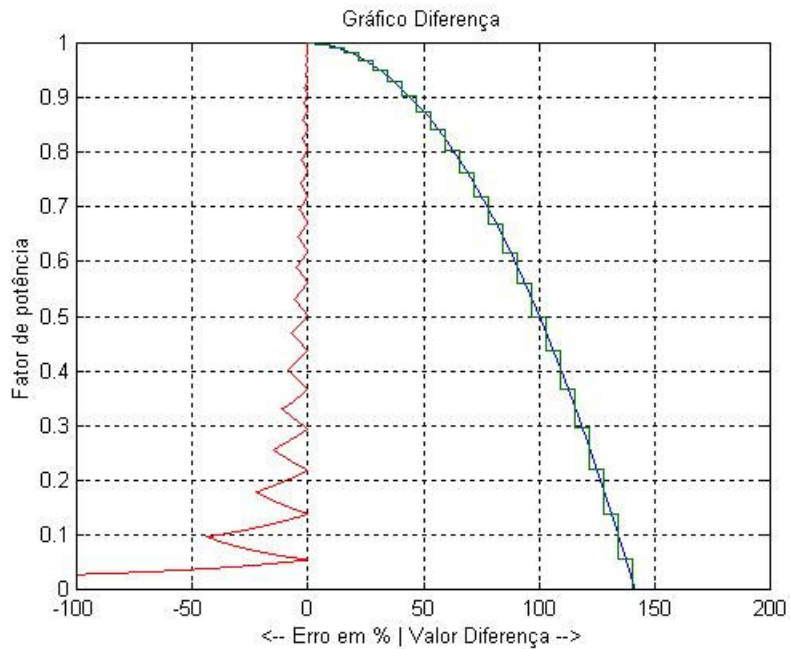


Figura 2.7 – Erro no método da diferença (4 bits)

Observando as figuras 2.6 e 2.7 chega-se a conclusão que o método da diferença é o melhor para o cálculo da potência ativa pois, embora nos dois casos, o erro mostrado através da curva em vermelho, é menor quando está próximo ao fator de potência unitário e é maior quando próximo ao fator de potência nulo, o erro presente na figura 2.7 é visivelmente menor que o da figura 2.6 quando o fator de potência está próximo da unidade.

Aumentando-se o número de níveis de quantização de 16 para 256 geram-se as curvas da figura 2.8, onde pode ser observado que a diferença entre a curva normal e a quantizada diminui em relação ao gráfico da figura 2.7, o que significa que aumentando o número de bits de conversão diminui-se o efeito do erro de quantização no cálculo da potência.

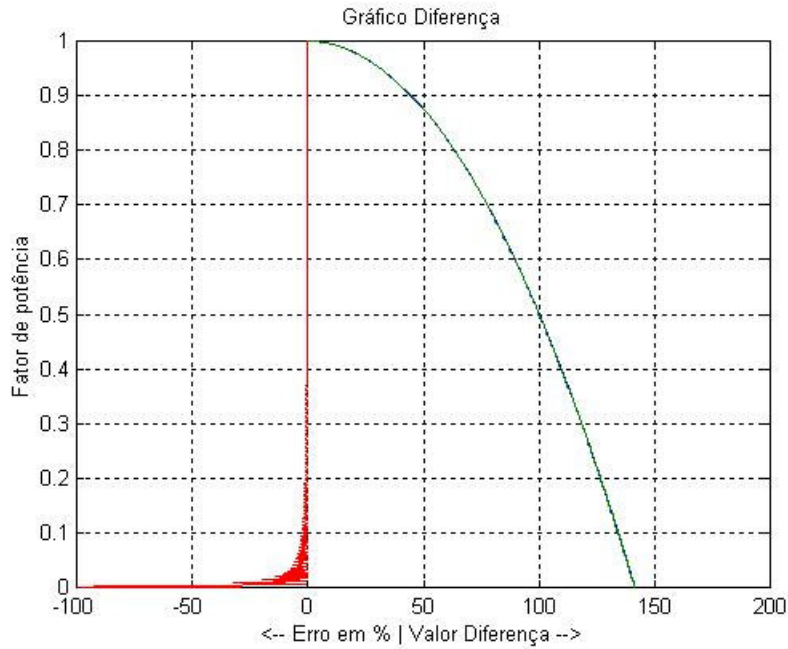


Figura 2.8 – Erro no método da diferença (8 bits)

Os gráficos das figuras 2.7 e 2.8 foram feitos considerando os valores máximos de V_v e V_i , mas isto não ocorre com frequência, principalmente no caso do sinal da corrente que varia muito com o tempo. Por esta razão o gráfico da figura 2.9 considera V_v igual a 50% do seu valor máximo e V_i igual a 20% do seu valor máximo.

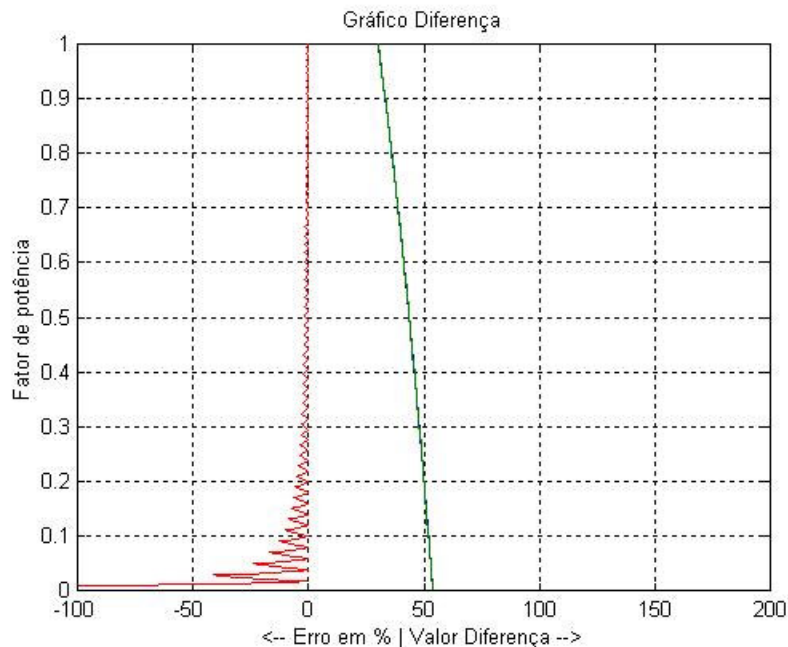


Figura 2.9 – Erro no método da diferença ($V = 50\% \mid I = 20\% \mid 8 \text{ bits}$)

Como pode ser observado no gráfico da figura 2.10, houve uma distorção na curva, o que fez com que o valor do erro aumentasse um pouco. Isto é normal pois em todo processo de medida, quando as grandezas fogem do fundo de escala, o erro aumenta.

Das conclusões obtidas neste item é possível construir os mapas de erro, que serão mostrados no próximo item. Estes mapas serão úteis para definir as faixas aceitáveis de funcionamento do medidor.

2.6 – Mapas de erro

No item anterior, através da análise das fórmulas da soma e da diferença ficou demonstrado que o valor do erro entre o valor real e o valor final do ângulo de carga, após a quantização, depende tanto do ângulo de carga quanto do valor da corrente e tensão em relação aos seus valores de fundo de escala e do número de bits da conversão digital.

Com base nestes fatos foi criado um programa em Matlab que mostra graficamente a faixa de melhor atuação do medidor. Este programa foi feito levando-se em conta que o valor padrão de tensão imutável é igual a 127 volts e que o fundo de escala da tensão é de 150 volts. Também foi considerado que o número de bits utilizados na conversão foi de 8 bits.

Apesar de ficar comprovado no item anterior que o método da diferença é o melhor no cálculo do ângulo de fase e, conseqüentemente no cálculo da potência ativa, o programa computacional calcula o mapa do erro utilizando ambos os métodos. As figuras 2.10 e 2.11 apresentam os mapas para os métodos da soma e da diferença, respectivamente.

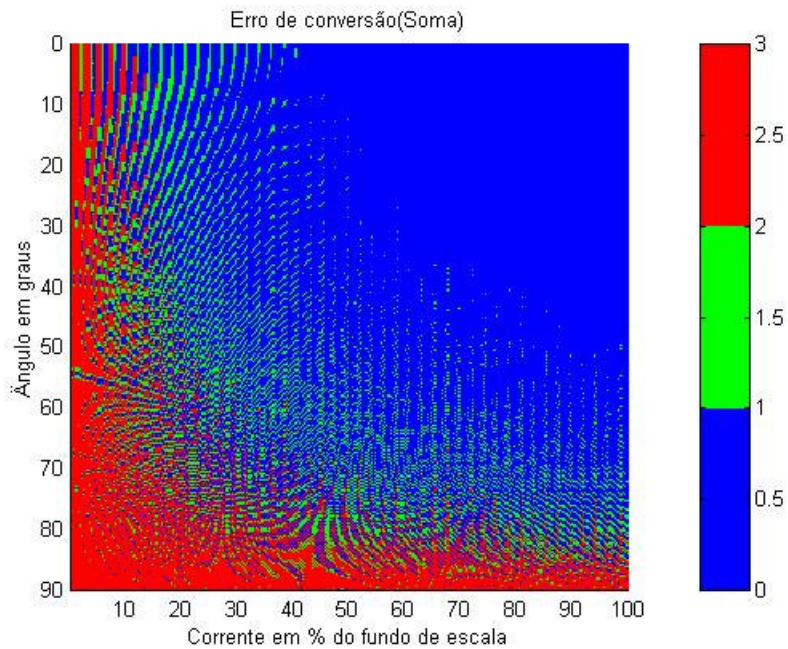


Figura 2.10 – Mapa de erro (método da soma | 8 bits)

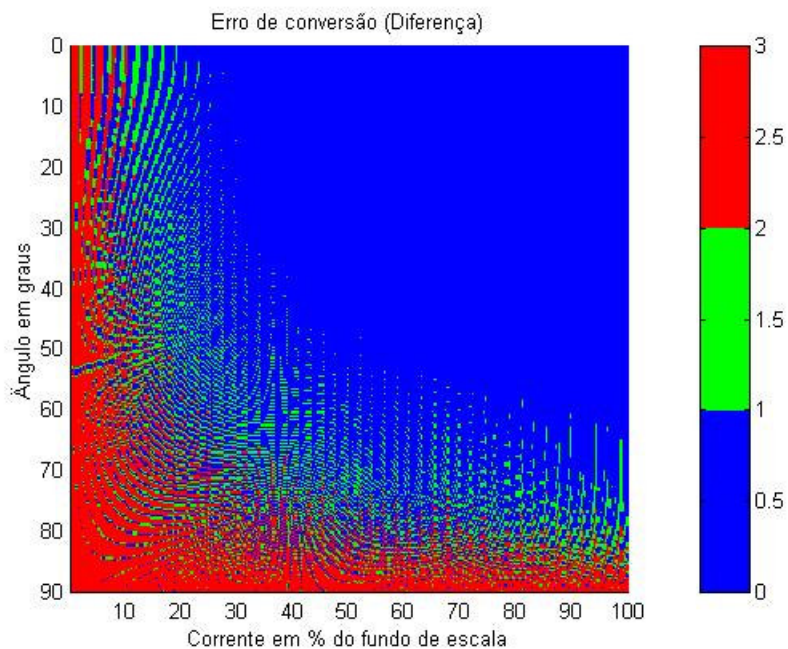


Figura 2.11 – Mapa de erro (Método da diferença | 8 bits)

Nota-se que a faixa onde o erro é menor que 1%, em azul, é maior na figura 2.11 que na figura 2.10, assim comprova-se graficamente e sem sombra de dúvidas que o método da diferença é melhor que o método da soma.

Como dito anteriormente, quando aumenta-se o número de bits de conversão, diminui-se o erro de quantização e conseqüentemente melhora o funcionamento do medidor. Com base nesta conclusão foi feito um último mapa de erro utilizando-se os mesmos parâmetros que os utilizados para a obtenção da figura 2.11, somente aumentando o número de bits de conversão de 8 para 10 bits, gerando o gráfico da figura 2.12.

Comparando-se o mapa da figura 2.11 com a da figura 2.12 nota-se que a área em azul, que representa erros menores que 1%, aumentou na figura 2.12, comprovando graficamente que aumentando o número de bits de conversão aumenta-se a precisão nas medições.

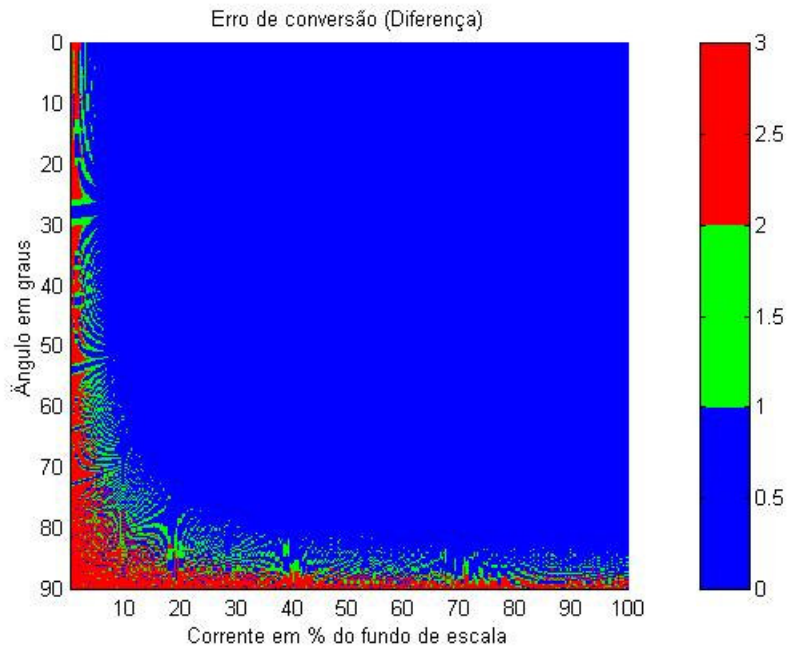


Figura 2.12 – Mapa de erro (Método da diferença | 10 bits)

CAPÍTULO III

CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo serão mostrados todos os passos para a construção do protótipo, incluindo a elaboração tanto do hardware quanto do software, onde poderão ser vistos os esquemas e o cálculo dos componentes utilizados, bem como os algoritmos utilizados nos softwares.

3.1. – Introdução

Esta introdução visa dar ao leitor uma visão geral de como será o protótipo e o que ele irá realizar, para então, nos itens seguintes, realizar um estudo minucioso de cada parte do projeto.

O protótipo pode ser dividido em duas partes, a placa de condicionamento de sinal, que será construída para o tratamento dos sinais a serem adquiridos, e o circuito de controle, contendo um microcontrolador PIC, que irá coletar os sinais e armazená-los em memórias para depois transferir os dados coletados para o computador.

Neste capítulo a construção da placa de condicionamento de sinais terá uma atenção especial pelo fato de que ela foi inteiramente construída durante o curso de mestrado, enquanto que o circuito de controle é um circuito já construído fornecido pelo professor Luciano Lima, sendo que somente seu software foi modificado. Porém foi reservado um item neste capítulo onde o funcionamento deste circuito será explicado.

O esquema mostrado na figura 3.1 nos mostra como será o esquema de construção do protótipo. Este esquema contém tanto a placa de condicionamento de sinais quanto o circuito de controle e mostra a ligação entre as duas partes.

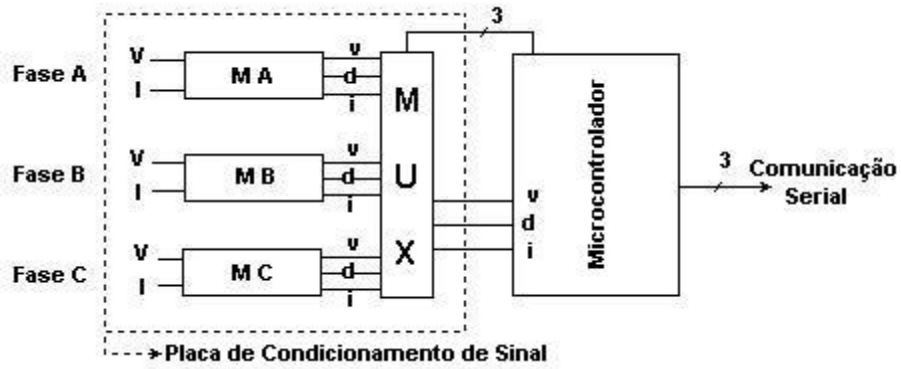


Figura 3.1 – Esquema geral do protótipo

Nota-se, na figura 3.1, que estamos construindo um medidor trifásico, e por isto será necessário repetir a construção do circuito de medição três vezes, uma vez para cada fase. Os três circuitos de medição, MA, MB e MC mostrados na figura 3.1 são iguais e podem ter seu esquema simplificado na forma da figura 3.2, abaixo.

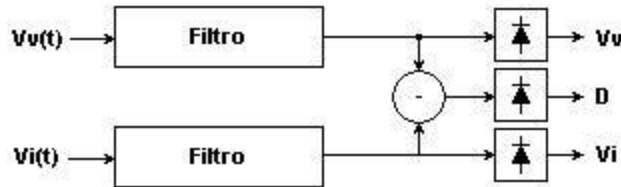


Figura 3.2 – Esquema dos medidores MA, MB e MC

Na figura 3.2 pode-se notar que os sinais senoidais de tensão e de corrente coletados pelos circuitos de entrada de sinal, são filtrados e tratados de modo a obter os valores proporcionais ao valor eficaz da tensão, da corrente e da diferença.

Assim a construção da placa de condicionamento de sinal pode ser dividida em medidores, sendo um para cada fase, e a multiplexação, que foi necessária devido ao fato de o circuito de controle ter sido projetado para armazenar somente seis sinais e o medidor trifásico gerar nove sinais, três para cada fase.

3.2. – Construção dos medidores

Neste item serão mostrados os dados referentes a construção de apenas um medidor, cujo esquema aparece na figura 3.2 do item anterior. Como já foi dito esta etapa se repetirá três vezes, mas será explicada aqui apenas uma vez através dos sub-itens que se seguem.

3.2.1. – *Entrada de Sinais*

O circuito de entrada de sinais pode ser dividido em entrada do sinal de tensão e entrada do sinal de corrente, sendo que em ambos os casos foram utilizados sensores de efeito hall para obter sinais de corrente proporcionais à tensão e à corrente da carga a ser medida.

Foi escolhido o sensor de efeito hall por ser um transdutor que oferece uma relação bastante linear na faixa de atuação utilizada além de possibilitar uma boa isolamento entre a carga a ser medida e o protótipo construído. Uma desvantagem desta escolha é o fato de aumentar o custo do protótipo, já que são necessários três sensores de tensão e três de corrente para cada protótipo, porém estes sensores podem ser substituídos por outros métodos mais baratos de obtenção dos sinais de tensão e de corrente, como o uso de um amplificador diferencial, no caso da tensão, ou um shunt de corrente, no caso da corrente.

A figura 3.3 mostra como foram conectados os sensores de tensão e de corrente em cada fase. Note que nos dois casos os sensores fornecem uma corrente proporcional aos valores medidos (I_i e I_v). Os sensores utilizados foram o sensor de corrente SECOHR 25 CI, que tem uma relação de correntes de 1:1000, e o sensor de tensão LEM LV25P, que tem uma relação de correntes de 2500:1000.

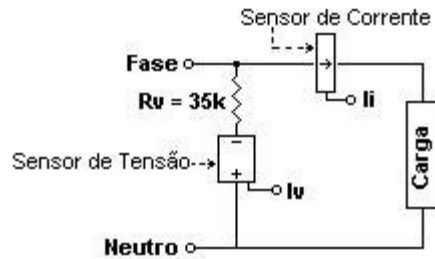


Figura 3.3 – Conexão dos sensores de tensão e de corrente

Note que os sinais dos terminais do sensor de tensão na figura 3.3 estão invertidos. Isto será explicado mais adiante no item 3.2.3. Na figura 3.4 é mostrado o circuito utilizado tanto no terminal de saída do sensor de corrente quanto no terminal de saída do sensor de tensão.

Este circuito foi colocado na entrada para calibrar a medição, através de um potenciômetro, e eliminar um eventual nível DC que pode estar presente na saída dos sensores. Ele é basicamente composto de uma malha RC em série com um conversor corrente - tensão, onde a tensão de saída depende da corrente de entrada e do resistor na realimentação, e serve para o usuário calibrar os sinais provenientes dos sensores na faixa que ele bem entender simplesmente variando o valor da resistência de realimentação (potenciômetro).

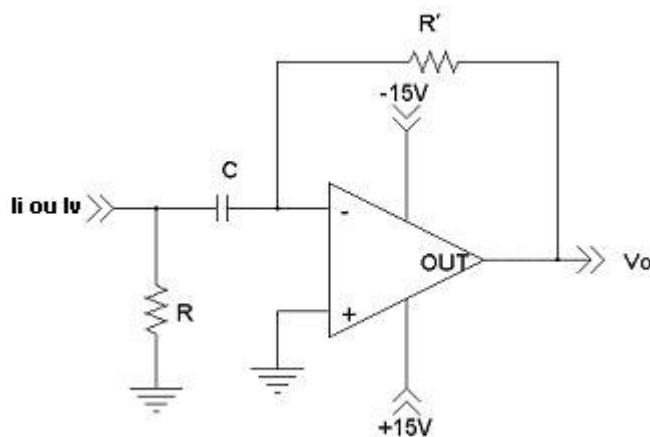


Figura 3.4 – Circuito de entrada de sinais

Os parâmetros utilizados foram os mesmos nos dois casos para que não fosse inserido um defasamento entre os sinais de tensão e corrente, pois caso houvesse um defasamento isto iria influir na medição do protótipo.

O valor da resistência R foi escolhido com base nos valores possíveis de R_M no datasheet do sensor de efeito hall de tensão, presente no anexo E desta dissertação, e seu valor é de 100Ω . O valor do capacitor foi determinado como sendo igual a $100nF$.

A função de transferência do circuito da figura 3.4, no caso do sensor de tensão, é mostrado na equação (33).

$$V_o = -\frac{2\pi f R R' C}{1 + 2\pi f R C} \cdot \frac{25 \cdot V_{RMS}}{R_v} \quad (33)$$

O valor do potenciômetro R' é calculado com base no menor fundo de escala possível de ser ajustado, que no caso foi de $10 V_{RMS}$. Assim utilizamos a equação (34) para achar o valor do potenciômetro R' .

$$V_{o(MAX)} = -\frac{2\pi f R R' C}{1 + 2\pi f R C} \cdot \frac{25 \cdot V_{RMS(MIN)}}{R_v} \Rightarrow 5 = -\frac{2\pi 60Hz 100\Omega R' 100nF}{1 + 2\pi 60Hz 100\Omega 100nF} \cdot \frac{25 \cdot 10}{35k\Omega} \Rightarrow R' \cong 186k\Omega \quad (34)$$

A função de transferência do circuito da figura 3.4 no caso do sensor de corrente é mostrado na equação (35), bem como o cálculo do valor do potenciômetro R' , que é feito também com base no menor fundo de escala possível, que no caso foi ajustado para $6A_{RMS}$.

$$V_{o(MAX)} = -\frac{2\pi f R R' C}{1 + 2\pi f R C} \cdot \frac{I_{RMS(MIN)}}{1000} \Rightarrow 5 = -\frac{2\pi 60Hz 100\Omega R' 100nF}{1 + 2\pi 60Hz 100\Omega 100nF} \cdot \frac{6A}{1000} \Rightarrow R' \cong 221k\Omega \quad (35)$$

No caso do protótipo construído o valor do potenciômetro R' escolhido foi de $200k\Omega$ tanto no caso da tensão como no caso da corrente.

3.2.2. – Filtro

Esta segunda etapa consiste de um filtro Butterworth passa baixa de 3ª ordem sintonizado em aproximadamente 65Hz para captar apenas a 1ª harmônica da rede e desprezar todas as outras harmônicas.

O filtro Butterworth de 3ª ordem foi escolhido por ter um alto grau de decaimento para frequências acima da frequência de corte (em torno de 60dB/déc.), eliminando completamente a possibilidade de interferência da 3ª harmônica na leitura do sinal.

Na figura 3.5, abaixo, está representado o esquema do filtro utilizado. Logo após a figura serão mostrados todos os passos realizados para o cálculo dos parâmetros do circuito.

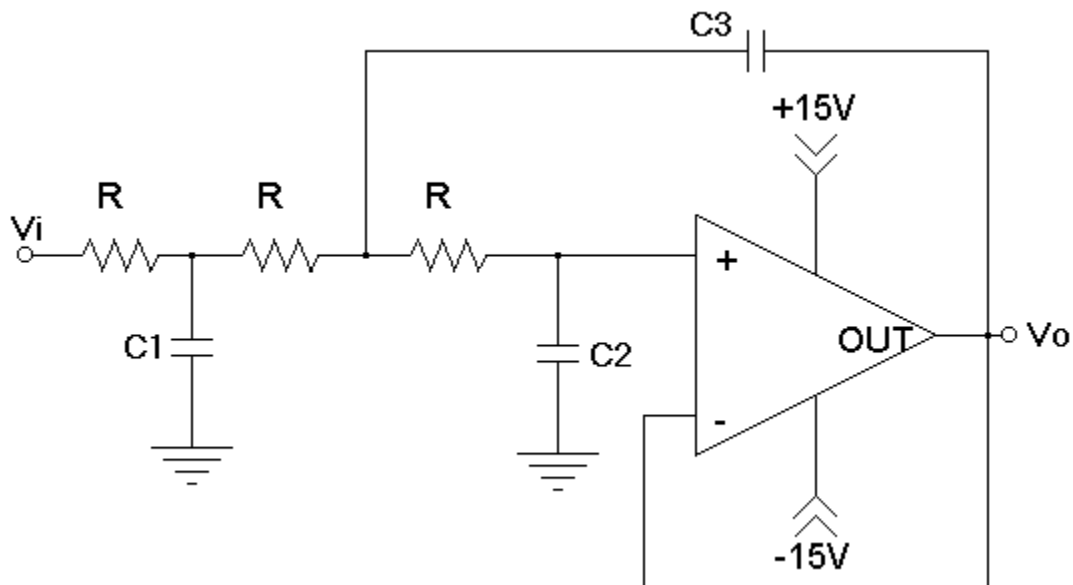


Figura 3.5 – Filtro Butterworth de 3ª ordem

Primeiro toma-se os valores de $C1'$, $C2'$ e $C3'$ em uma tabela de valores para o filtro Butterworth de 3ª ordem achando :

$$C1' = 3.546 \text{ F}, C2' = 1.392 \text{ F e } C3' = 0.202 \text{ F p/ } R = 1 \Omega$$

Para se calcular os valores reais de R, C1, C2 e C3 procede-se da seguinte forma :

- Supõe-se um valor de R qualquer (No caso R = 10 kΩ).
- Acha-se C1 tal que $C1 = C1'/(2\pi f_c R)$, onde f_c (frequência de corte)= 65Hz
- Repete-se o processo para C2 e C3

As fórmulas (36), (37) e (38) mostram o cálculo e o resultado para os valores de C1, C2 e C3.

$$C1 = \frac{3.546F}{2 \cdot \pi \cdot 65Hz \cdot 10k\Omega} = 868.25nF \Rightarrow 1\mu F \quad (36)$$

$$C2 = \frac{1.392F}{2 \cdot \pi \cdot 65Hz \cdot 10k\Omega} = 340.83nF \Rightarrow 330nF \quad (37)$$

$$C3 = \frac{0.202F}{2 \cdot \pi \cdot 65Hz \cdot 10k\Omega} = 49.46nF \Rightarrow 47nF \quad (38)$$

Como pode se notar os valores reais das capacitâncias de C1, C2 e C3 são diferentes dos valores calculados, o que pode influenciar no valor da frequência de corte. Para checar se a nova frequência de corte é aceitável ou não deve-se calcular a frequência de corte individual de cada capacitor achado, de acordo com as fórmulas (39), (40) e (41).

$$f_1' = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1\mu F \cdot 10k\Omega} = 15.91Hz \quad (39)$$

$$f_2' = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 330nF \cdot 10k\Omega} = 48.22Hz \quad (40)$$

$$f_3' = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 47nF \cdot 10k\Omega} = 338.62Hz \quad (41)$$

Após isto calcula-se a média entre estes três valores, através da fórmula (42), e acha-se a verdadeira frequência de corte do filtro construído.

$$f_c = \frac{f_1' + f_2' + f_3'}{3} = \frac{15.91 + 48.22 + 338.62}{3} = 67.12hz \quad (42)$$

Na saída do filtro foram utilizados um buffer e dobrador de tensão. Este circuito foi utilizado, pois como será visto mais adiante o retificador utilizado divide a tensão de

entrada por dois durante o processo de retificação e, desta forma, dobrando a tensão o sinal mantém sua amplitude original.

Se não houvesse esse dobrador de tensão o sinal de entrada deveria ser de 10V de pico para que a tensão de saída do retificador ficasse com 5V e, com a adição deste circuito não houve um engrandecimento físico significativo do projeto, pois seria mesmo necessária a implementação do buffer para fornecer a grande impedância necessária na saída do filtro Butterworth.

O esquema do circuito é mostrado na figura 3.6 e seu respectivo funcionamento é mostrado adiante..

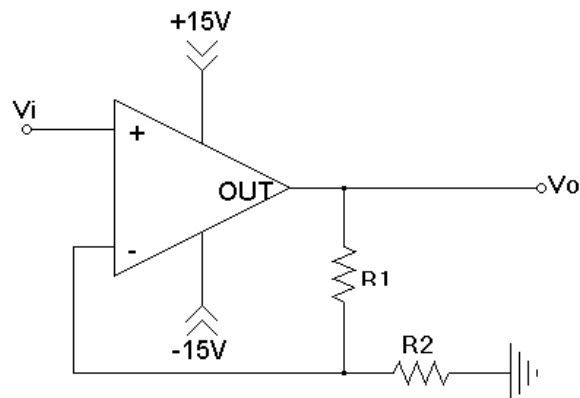


Figura 3.6 – Circuito Buffer e dobrador de tensão

O funcionamento do circuito buffer dobrador de tensão segue a fórmula (43), sendo que os valores utilizados de R1 e R2 são iguais e valem 10kΩ.

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_i = 2 \cdot V_i \quad (43)$$

3.2.3. – Circuito subtrator

O circuito subtrator é necessário pois é ele que fornecerá o sinal da diferença entre os sinais de tensão e corrente que foram obtidos através dos circuitos apresentados nos itens anteriores. No caso do protótipo construído foi utilizado um circuito somador, que pode ser visto na figura 3.7, porque o protótipo foi inicialmente projetado para trabalhar com o

método da soma. Para trabalhar utilizando o método da diferença, que produz melhores resultados conforme pode ser visto no capítulo anterior, basta inverter as conexões dos terminais de entrada do sensor de tensão, como foi feito na figura 3.3. Deste modo se realiza um defasamento de 180° no sinal de tensão, o que garante que o circuito somador se transforme em um circuito subtrator.

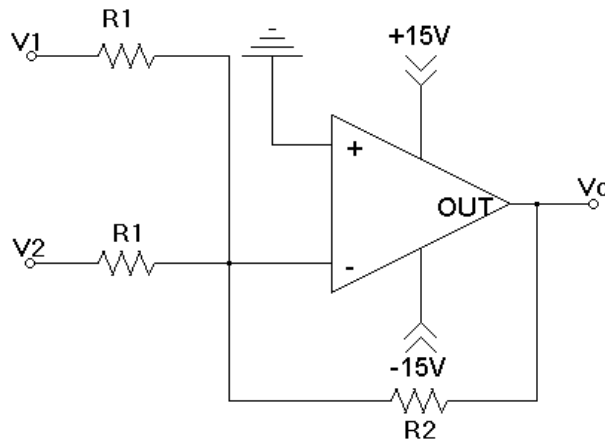


Figura 3.7 – Circuito somador

O circuito somador utilizado soma os sinais de corrente e tensão provenientes do item anterior e divide o resultado por dois. Esta divisão é necessária quando se trabalha com o método da soma porque, dado que na saída os sinais de fundo de escala da corrente, da tensão e da soma são iguais, para o pior caso que é defasamento zero e ambos os sinais com suas amplitudes máximas, a soma seria o dobro da tensão de fundo de escala, limitando a condição da soma.

Foram utilizados no protótipo dois resistores de $10k\Omega$ em série no lugar de R1 e um resistor de $10k\Omega$ como valor de R2.

Devido a esta divisão por dois, realizada no hardware, a fórmula (30), que seria utilizada no software para calcular a potência será modificada para a formula (44), mostrada a seguir.

$$P_s = \frac{V_v^2 + V_i^2 - (2 \cdot Df)^2}{2} \quad (44)$$

3.2.4. – Retificação

Nesta parte do circuito os três sinais, que são obtidos dos itens anteriores (corrente, tensão e soma), são retificados de forma a atingir um nível DC proporcional ao valor eficaz dos mesmos.

Nesta etapa foi utilizado um retificador de onda completa diferente do convencional, pois no primeiro protótipo o retificador de onda completa usualmente utilizado, mostrado na figura 3.8 abaixo, influenciou no dimensionamento dos capacitores do filtro de alisamento do sinal.

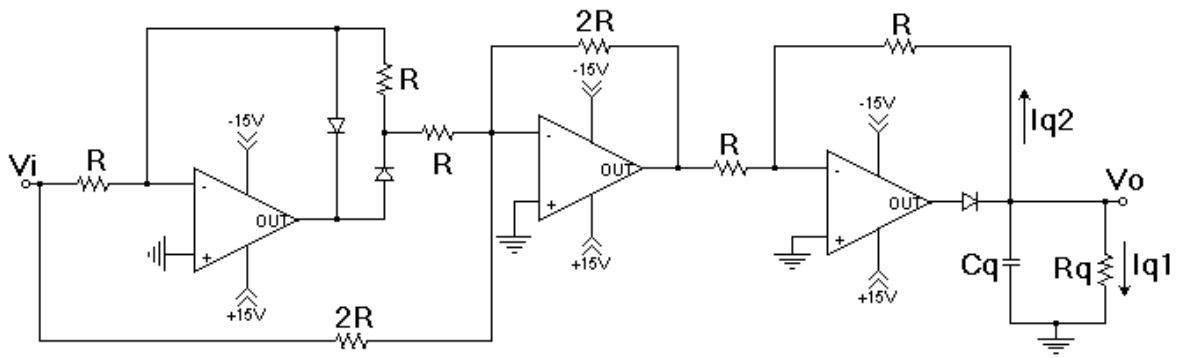


Figura 3.8 – Retificador utilizado no primeiro protótipo

Como pode ser visto na figura 3.8, o desvio de corrente (I_{q2}) durante o processo de descarga dos capacitores influenciaram no dimensionamento dos mesmos, sendo necessário aumentar demasiadamente as resistências de realimentação do circuito inversor para que esta influência indesejada fosse diminuída, porém ela está sempre presente neste circuito.

Por este motivo o circuito da figura 3.8 foi modificado para o da figura 3.9. Isso foi feito porque este circuito tem a vantagem de, utilizando o mesmo número de AO's, isolar a etapa de retificação da etapa de alisamento do sinal, sendo o dimensionamento dos

capacitores desta etapa função somente do resistor de carga. A desvantagem presente neste retificador é o fato de que o sinal de saída é metade do sinal de entrada. Esta desvantagem já foi corrigida anteriormente na saída do filtro, como explicado no item anterior.

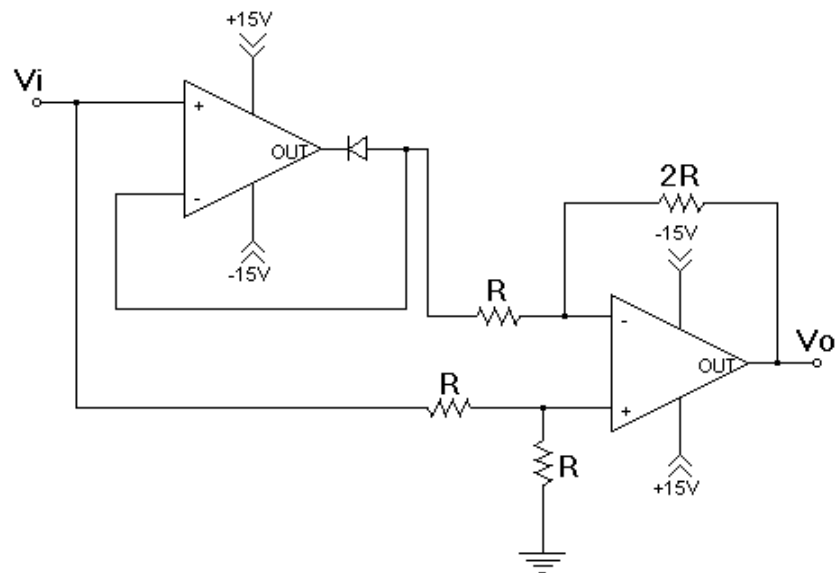


Figura 3.9 – Circuito retificador utilizado

Os valores dos resistores mostrados no circuito da figura 3.9 foram de $10\text{k}\Omega$, sendo que para o resistor $2R$ foram utilizados dois resistores de $10\text{k}\Omega$ em série.

O funcionamento do circuito pode ser dividido em semiciclo positivo e semiciclo negativo, sendo que durante o semi-ciclo positivo não há corrente presente na realimentação negativa, logo a tensão de saída é a metade da tensão de entrada. Durante o semiciclo negativo o circuito funciona como um circuito subtrator, sendo que a saída é igual ao inverso da metade da tensão de entrada.

3.2.5. – Alisamento

Esta etapa tem a função de alisar o sinal retificado, transformando-o em um nível DC com um valor de ripple aceitável, ou seja, que não influa na medição feita pelo sistema de aquisição de dados escolhido.

Este protótipo foi projetado para trabalhar com um PIC como sistema de aquisição de dados. Neste caso a entrada A/D do PIC converte o sinal analógico dentro dos limites de 0 a 5V em um valor digital com 8 bits, portanto a resolução do sistema de aquisição de dados, que é de aproximadamente 20mV, deve ser maior que ripple do sistema. A figura 3.10 mostra o circuito de alisamento do sinal.

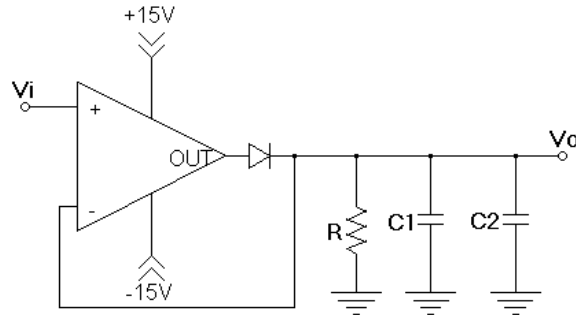


Figura 3.10 – Circuito de alisamento de sinal

Através da tensão de ripple, do valor do resistor e da fórmula (45) acha-se os valores dos capacitores. Com $f = 120\text{Hz}$ (Onda completa), $V_{\text{máx}} = 5\text{V}$ e supondo que $R = 110\text{k}\Omega$ e V_{ripple} é aproximadamente de 8mV, acha-se o valor de C1.

$$C1 = \frac{V_{\text{máx}}}{f \cdot R \cdot V_{\text{ripple}}} = \frac{5\text{V}}{120\text{Hz} \cdot 110\text{k}\Omega \cdot 8\text{mV}} = 47.348\mu\text{F} \Rightarrow 47\mu\text{F} \quad (45)$$

Pode-se opcionalmente colocar mais capacitores para tirar ruídos de alta frequência que não puderam ser absorvidos pelo capacitor C1, para isto basta substituir o valor de f na fórmula pelo valor que se deseja calcular. No protótipo foi utilizado um capacitor de 33n para tirar ruídos na faixa de 150kHz.

3.2.6. – Limitador

Na terceira etapa foi utilizados um buffer com um zener de 5,1V em paralelo com a carga para limitar o valor de saída do medidor aos 5,1V protegendo assim a entrada

analógica do PIC, caso haja um pico de corrente ou de tensão e, por consequência, um sinal DC de saída maior que a tensão máxima de conversão A/D do sistema de aquisição, que é de 5V.

A figura 3.11 mostra o circuito limitador utilizado. A saída deste circuito vai direto para as entradas do circuito multiplexador.

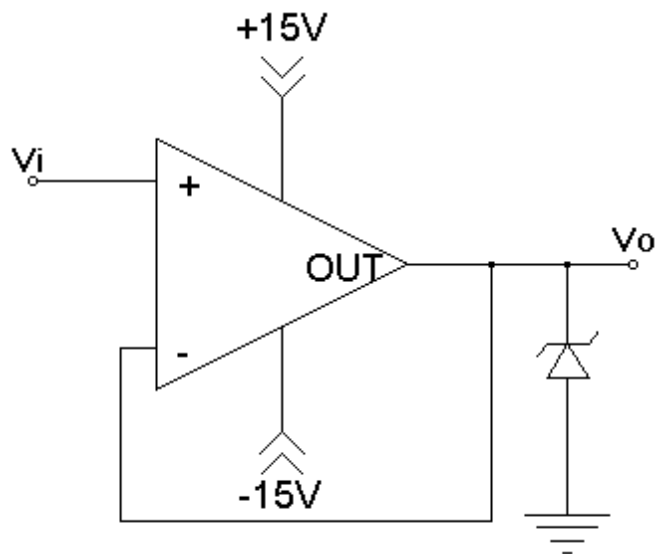


Figura 3.11 – Circuito limitador

3.3. – Multiplexação

Nesta etapa os sinais de tensão, de corrente e da diferença de cada fase, que foram obtidos pelos medidores da placa de condicionamento de sinal, descritos no item anterior, são multiplexados para que os dados possam ser adquiridos de forma ordenada nas três entradas disponíveis do circuito de controle.

Previamente, nesta dissertação foi dito que o circuito de controle foi projetado para adquirir seis sinais, porém, para o multiplexador funcionar são necessários três sinais

de controle, logo foi realizada uma modificação no software do microcontrolador para que, dos seis canais de aquisição, três se tornassem sinais de controle, mantendo os outros três sinais para a aquisição dos dados. Como cada medidor fornece três sinais por fase o multiplexador foi projetado para obter os três sinais de cada fase por vez.

Foram utilizados três circuitos integrados CMOS 4066, que nada mais são do que chaves analógicas acionadas por um sinal digital TTL qualquer. O esquema de ligação pode ser visto na figura 3.12, abaixo.

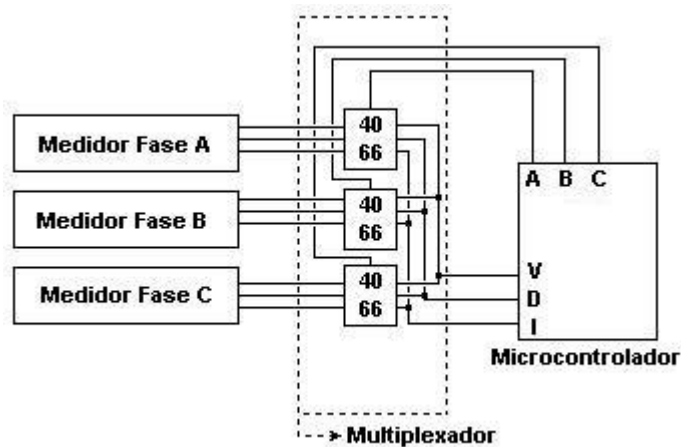


Figura 3.12 – Esquema de ligação do multiplexador

A ordem de funcionamento depende do software contido no circuito contendo o microcontrolador, assunto que será tratado no próximo item.

Nesta etapa poderia ter sido utilizado circuitos Sample & Hold para capturar os sinais simultaneamente, mas seriam necessários nove desses circuitos e as melhorias não seriam grandiosas visto que a aquisição se dá de forma relativamente rápida, se comparada à frequência de amostragem que é de 1Hz, além disso, se fosse necessário diminuir essa frequência de amostragem teríamos que considerar a inércia da etapa de alisamento. Considerando todos esses fatos conclue-se que é melhor utilizar as chaves analógicas para obter um projeto mais barato, visto que o fato dos sinais serem obtidos com um defasamento mínimo não afeta a medição final de forma mensurável.

3.4. – Circuito de Controle

Neste item será explicado apenas o funcionamento do circuito de controle, que é um circuito que já estava elaborado e que foi fornecido pelo professor Luciano Lima, somente explicando o esquema de funcionamento, as modificações de software e o algoritmo utilizado para este trabalho.

3.4.1. – Funcionamento

O circuito de controle foi projetado como sendo um armazenador portátil de sinais, sendo que ele possui seis canais para aquisição e seis memórias EEPROM, localizadas em seu interior, para armazenar os dados coletados. O acesso a essas memórias pode ser feito depois através de comunicação serial com qualquer computador que possua porta serial.

Foi utilizado, para controlar a aquisição e o armazenamento dos dados, um microcontrolador PIC 16F877 da Microchip que contém 8 entradas para conversão de analógico para digital. Este microcontrolador foi escolhido por ter um preço bastante acessível e por ser muito prático, pois contém em sua arquitetura vários periféricos (memória EEPROM interna, portas A/D, etc...) que atendem a necessidade do projeto. Também foram utilizadas seis memórias EEPROM que funcionam com tecnologia I2C, sendo que cada memória armazena até 256 Kbits, ou 32Kbytes.

Sabendo disto podemos calcular o número de amostras e, conseqüentemente o tempo de medição em que o medidor é capaz de funcionar sem que a memória acabe.

Como cada memória pode armazenar 32.000 palavras de 8 bits, temos, somando as seis memórias, uma memória total de 192.000 bytes. Como a cada, aproximadamente 0,98304 segundo, há nove medidas, ou nove palavras de 8 bits, gasta-se nove bytes a cada

nova aquisição, logo é permitido realizar cerca de 21.333 medições, ou, mais precisamente, 5 horas, 49 minutos e 31 segundos de medição.

O valor de 0,98304 segundo, mencionado no parágrafo anterior, é fornecido por um timer interno ao microcontrolador PIC. Este valor depende de parâmetros internos de programação e do valor de clock utilizado pelo PIC, que no caso foi de 4MHz. Este valor foi o mais próximo que conseguimos chegar de 1 segundo.

Existem ainda dois botões de controle no circuito, um para iniciar e parar a aquisição dos dados e outro para iniciar a descarga de dados através de comunicação serial ou apagar as memórias, e três leds de indicação, verde para ligado ou desligado, vermelho para indicar se está adquirindo ou não e amarelo para indicar se estas memórias estão cheias. O esquema da figura 3.13 abaixo mostra as conexões do hardware do circuito de controle para maior entendimento do leitor.

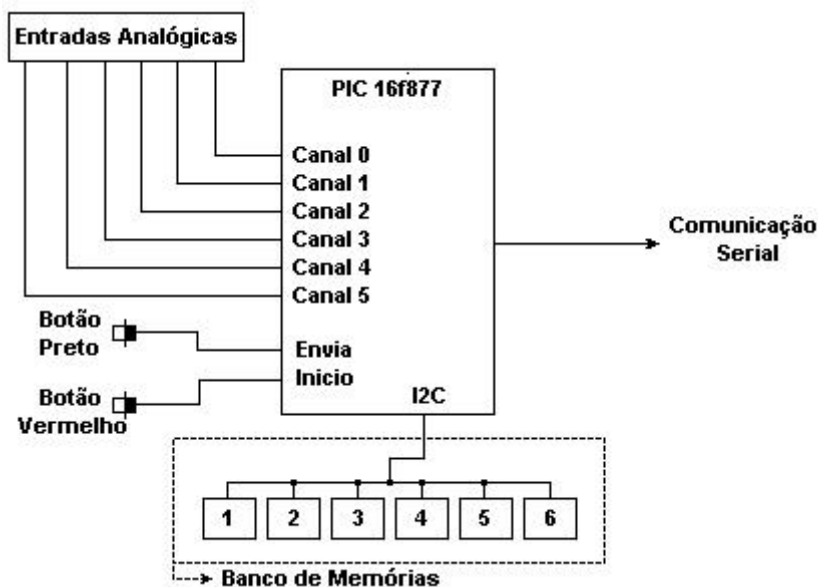


Figura 3.13 – Esquema simplificado do circuito de controle

As modificações necessárias para o correto funcionamento do circuito de controle foram implementadas somente no software presente no microcontrolador e serão abordadas no próximo item.

3.4.2. – *Algoritimo*

Todo o software contido no microcontrolador foi implementado na linguagem C e, após isto, convertido para a linguagem assembler para microcontroladores da linha PIC, da Microchip, através de um compilador especial. A listagem completa deste software está em anexo a esta dissertação, sendo que aqui somente será apresentado o algoritimo de funcionamento deste software, mostrado na figura 3.14.

O circuito de controle, como foi explicado anteriormente, possui dois botões, um preto e outro vermelho. No programa o botão preto está ligado ao bit envia enquanto que o botão vermelho está conectado ao bit início.

Assim, como pode ser visto no algoritimo da figura 3.14, o programa é um loop infinito que checa estes dois bits a cada volta do programa. Caso um destes bits seja acionado o microcontrolador executa uma ação, que pode ser o começo da aquisição de dados ou o envio destes dados pela porta serial.

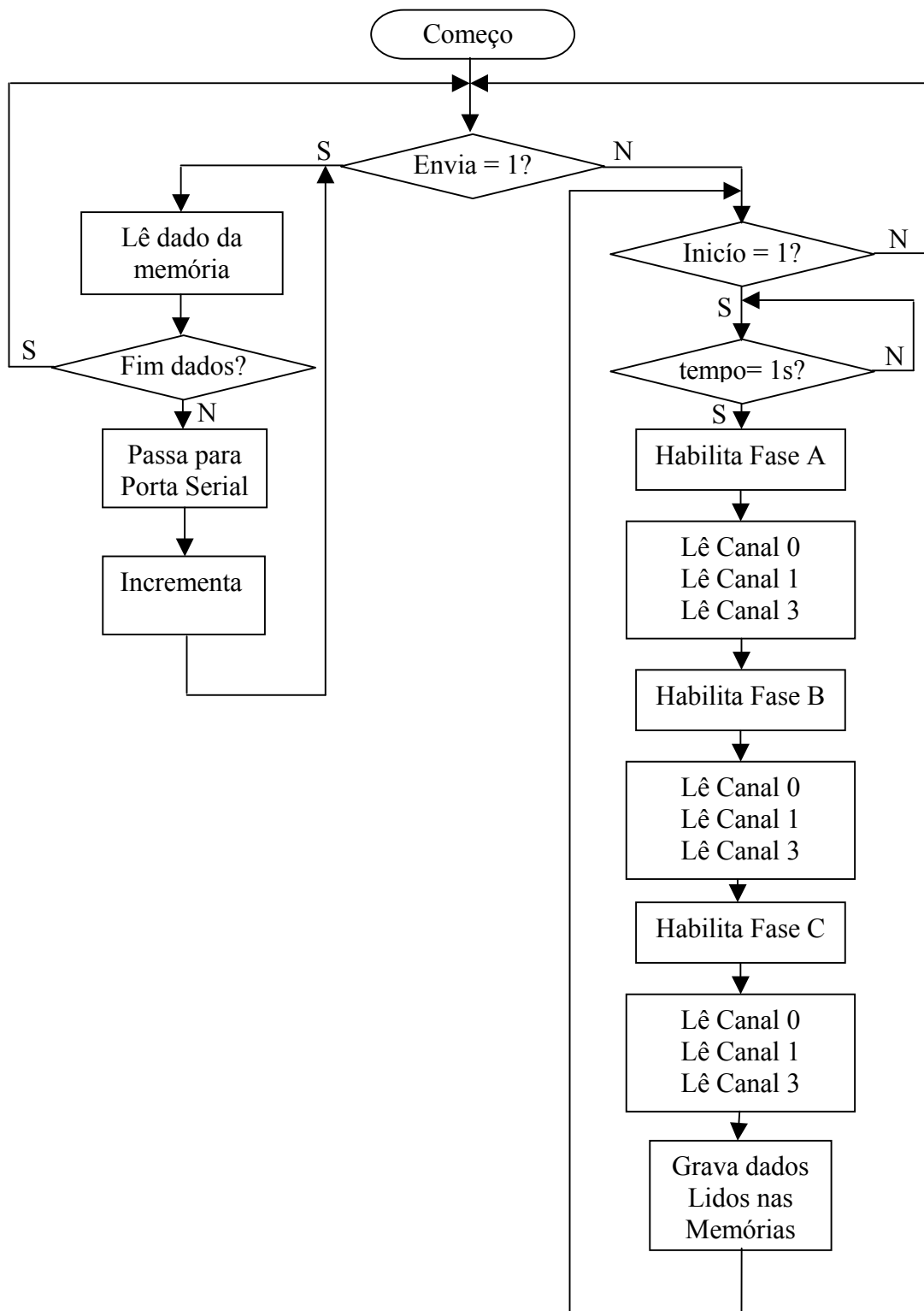


Figura 3.14 – Algoritmo do Data Logger

Assim que a aquisição começa um timer interno ao microcontrolador começa a funcionar e um bit é acionado a cada segundo, mais precisamente a cada 0,98304 segundos. Este bit aparece no algoritmo da figura 3.14 no loop de espera de 1 segundo, e serve para garantir que a leitura seja feita aproximadamente a cada segundo. Após serem feitas todas as leituras e guardar todos os dados coletados o microcontrolador fica ocioso até que se atinja um novo segundo ou que se pare a amostragem.

No software, como pode ser visto na figura 3.14, existe uma ordem de leitura, e também não existem mais seis canais de conversão, mas apenas três, sendo eles os canais 0, 1 e 3. Os canais 2, 4 e 5 restantes ganharam outra função, eles agora não serão entradas de sinais analógicos mas saídas de sinais digitais que controlarão o multiplexador explicado no item 3.3 desta dissertação.

Foi notado que o tempo de gravação na memória I2C é muito grande, da ordem de 10 ms, o que pode afetar os valores finais da medição, então foi tomada a decisão de armazenar primeiro todos os valores lidos na memória RAM do microcontrolador, que é mais rápida, e utilizar o tempo ocioso do mesmo para gravar os valores lidos nas memórias.

3.5. – Software de tratamento dos dados

Como foi visto no item anterior o circuito de controle possui a capacidade de se comunicar com o computador através da porta serial, por onde serão passados todos os dados armazenados. No computador, estes dados podem ser obtidos sem problema através do software Hiperterminal, presente em qualquer versão do sistema operacional Windows. Através dele pode ser gerado um arquivo que será analisado pelo software descrito neste item.

```

Digite o 'I' p/ iniciar o Download dos dados (6 s) I
0 194
0 198
0 196
...
1 200
1 200
1 200
...
2 198
2 197
2 195
    
```

Figura 3.15 – Exemplo de arquivo gerado pelo Hiperterminal

Um exemplo de como estão dispostos os dados no arquivo de texto extraído do Hiperterminal pode ser visto na figura 3.15, onde os canais de tensão são indicados pelo índice 0, no início de cada linha, os canais de corrente são os de índice 1 e os canais de soma são indicados pelo índice 2. O programa então deverá descartar o cabeçalho, separar os canais e separar as fases, já que elas estão na ordem A, B e C em cada canal.

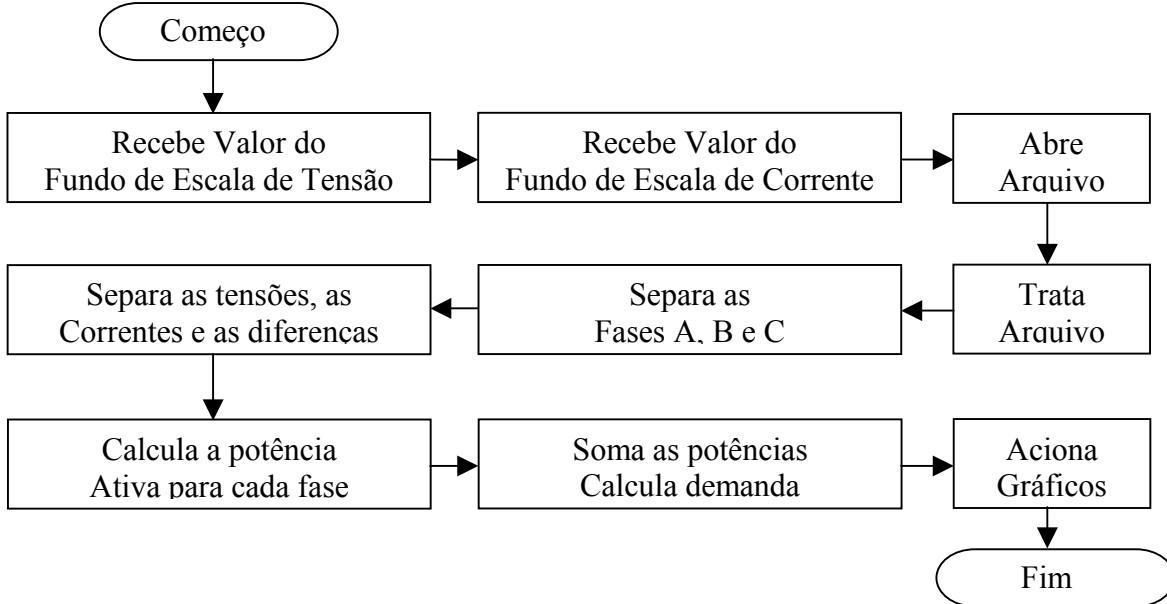


Figura 3.16 – Algoritmo de tratamento de dados

A figura 3.16 mostra o algoritmo do programa em questão, que foi feito me Matlab, mas poderia ter sido feito em qualquer linguagem, uma vez que os dados já foram salvos

em um arquivo de texto. O linguagem Matlab foi escolhida pela familiaridade com ele e pela sua capacidade de gerar gráficos com facilidade.

O programa foi feito de forma seqüencial, isto é, com início e fim. Ele tem como função principal separar os dados do cabeçalho no arquivo, separar os dados de cada fase e de cada canal e calcular a potência ativa através do método da diferença descrito no capítulo anterior.

A resposta final do programa vem na forma de gráficos, sendo eles os gráficos das tensões, correntes e potências de cada fase em função do tempo e também da potência ativa total, que é a soma das potências ativas encontradas para cada fase, em função do tempo, bem como os valores da demanda, calculada a cada intervalo de 15 minutos.

A listagem deste programa está em anexo a esta dissertação, e os resultados dos gráficos obtidos com este software podem ser vistos no capítulo V desta dissertação.

CAPÍTULO IV

SIMULAÇÕES

Neste capítulo serão realizadas simulações da placa de condicionamento de sinais construída, em um computador. Essas simulações têm por objetivo mostrar que o medidor proposto funciona independentemente da carga linear conectada no sistema. As simulações foram realizadas utilizando o software ORCAD 9.0, onde foi reproduzido o esquema de construção da placa de condicionamento de sinais, exceto o multiplexador, conforme esquema em anexo a esta dissertação.

Para mostrar o funcionamento da placa de aquisição será mostrada graficamente a potência ativa consumida pela carga, calculada no ORCAD através da função (46), e compara-la no mesmo gráfico com a potência ativa calculada pelo método da diferença, proposto nesta dissertação, através da fórmula (47) no ORCAD.

$$\text{AVG}(V(n, V1:+) \cdot I(V1)) + \text{AVG}(V(n, V4:+) \cdot I(V4)) + \text{AVG}(V(n, V5:+) \cdot I(V5)) \quad (46)$$

Onde :

AVG → Função que calcula valor médio do valor entre parênteses

V(n, Vx:+) → Tensão entre fase x e neutro

I(Vx) → Corrente na fase x

Note que na fórmula (46) o índice 1 se refere a fase A e os índices 4 e 5 se referem às fases B e C, respectivamente.

$$\begin{aligned} & ((\text{PWR}(V(VAD),2) + \text{PWR}(V(IAD),2) - \text{PWR}(2 * V(DAD),2)) \cdot (16.33 * 160.35) / 50) \\ & + ((\text{PWR}(V(VBD),2) + \text{PWR}(V(IBD),2) - \text{PWR}(2 * V(DBD),2)) \cdot (16.33 * 160.35) / 50) \quad (47) \\ & + ((\text{PWR}(V(VCD),2) + \text{PWR}(V(ICD),2) - \text{PWR}(2 * V(DCD),2)) \cdot (16.33 * 160.35) / 50) \end{aligned}$$

Onde :

PWR → Função que eleva ao quadrado o valor entre parêntesis

- VxD → Sinal proporcional à tensão eficaz na fase x
 IxD → Sinal proporcional à corrente eficaz da fase x
 DxD → Sinal proporcional à diferença eficaz da fase x

Note que os sinais VxD, IxD e DxD, onde o índice x pode ser substituído pela letra da fase correspondente, representam as saídas que serão lidas pelo circuito de controle através do multiplexador. Note também que a expressão $((21.33 \cdot 238.74)/50)$ que aparece três vezes na equação (47) se refere a uma transformação necessária para colocar o valor calculado pela fórmula compatível com o valor da potência ativa real, onde o valor 21.33 representa o fundo de escala de corrente, em ampéres, e o valor 238.74 representa o fundo de escala de tensão, em volts, mantendo-se os valores dos resistores nos circuitos de entrada da simulação. A função (47) pode ser mais bem compreendida se observarmos a função (48), que é calculada para cada fase e então somada.

$$\frac{(V_x^2 + I_x^2 - D_x^2)}{2} \cdot \frac{V_{fs}}{5} \cdot \frac{I_{fs}}{5} = \left((PWR(V(V_x),2) + PWR(V(I_x),2) - PWR(2 \cdot V(D_x),2)) \cdot \frac{(16.33 \cdot 160.35)}{50} \right) \quad (48)$$

Onde :

- Vfs → Fundo de escala de tensão
 Ifs → Fundo de escala de corrente
 Vx → Valor proporcional a Tensão eficaz do barramento x
 Ix → Valor proporcional a Corrente eficaz do barramento x
 Dx → Valor proporcional a Diferença eficaz do barramento x

Nesta simulação não foi levada em conta a presença de harmônicas no sistema, pois como a placa de condicionamento de sinal foi construída para medir apenas valores fundamentais, esta análise se tornaria de pouca importância.

Foram feitas cinco simulações, sem modificação no circuito, a primeira com uma carga entre uma fase e o neutro, a segunda com uma carga entre duas fases, a terceira com

uma carga em estrela, a quarta simulação foi realizada com uma carga conectada em delta e a última simulação foi realizada com uma carga mista, que seria uma combinação de todos os tipos de carga das simulações anteriores.

4.1. – Carga monofásica Fase - Neutro

Esta simulação tem como objetivo mostrar que o medidor proposto funciona perfeitamente com uma carga entre uma fase e o neutro, sendo que as outras duas fases estão em aberto, conforme a figura 4.1, abaixo.

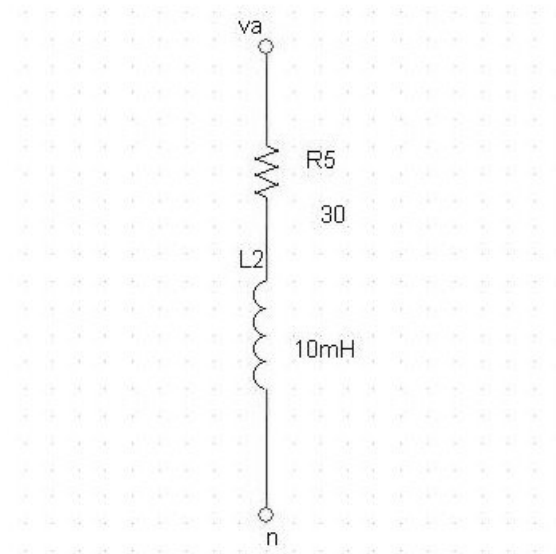


Figura 4.1 – Carga da primeira simulação

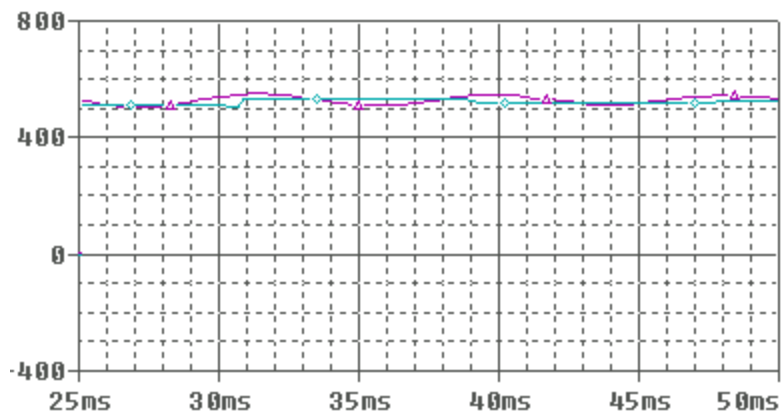


Figura 4.2 – Gráfico dos resultados da simulação

O resultado da simulação pode ser visto na figura 4.2, e os resultados obtidos, bem como o cálculo do erro na medição, podem ser analisados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da primeira Simulação

<i>P(real)</i>	<i>P(calculada)</i>	<i>Erro</i>
529,45 W	526,884 W	0,48%

Na figura 4.2 a curva roxa representa a potência ativa total real consumida pela carga da figura 4.1 e calculada pela fórmula (46) enquanto que a curva em azul representa a potência ativa total calculada pelo método da diferença utilizando a fórmula (47). Os valores obtidos na tabela 1 foram coletados após a estabilização das duas curvas, daí o início em 25ms na figura 4.2, e o erro achado foi muito baixo e se deve às pequenas variações no valor da potência ativa total real, representada na figura 4.2 pela curva roxa. Essas variações são inerentes a função AVG da fórmula (46).

4.2. – Carga monofásica Fase - Fase

Esta outra simulação mostra o funcionamento do medidor com uma carga monofásica conectada entre duas fases, sendo que a outra fase está em vazio, conforme a figura 4.3, abaixo.

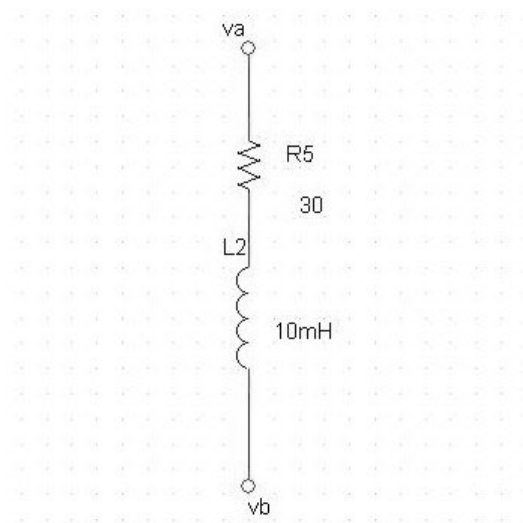


Figura 4.3 – Carga da segunda simulação

O resultado da simulação pode ser observado graficamente na figura 4.4, e os valores obtidos, incluindo o erro achado, podem ser analisados na tabela 2 a seguir.

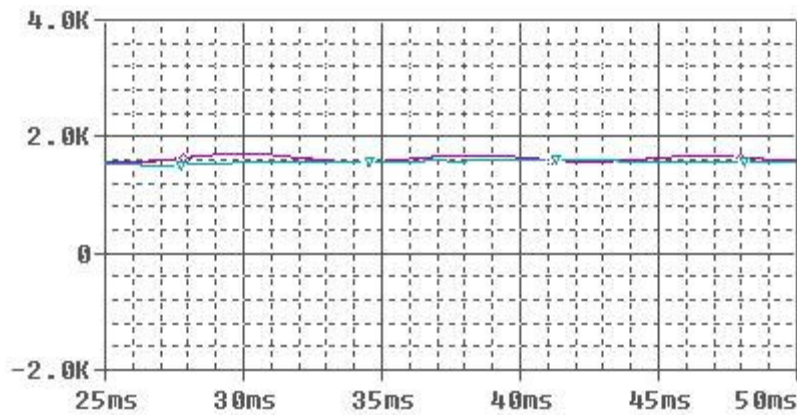


Figura 4.4 – Gráfico da segunda simulação

Tabela 2 – Resultados da segunda Simulação

<i>P(real)</i>	<i>P(calculada)</i>	<i>Erro</i>
1584,3 W	1576,3 W	0,49%

No gráfico da figura 4.4 a curva em roxo representa a potência ativa total consumida pela carga da figura 4.3, calculada através da fórmula (46), enquanto que a curva em azul demonstra a potência ativa total consumida pela mesma carga calculada pela fórmula (47). Os valores obtidos na tabela 2 foram conseguidos da mesma maneira que os da tabela 1, no item anterior, e o erro achado se deve aos mesmos motivos apresentados no item anterior.

4.3. – Carga trifásica em estrela

Para testarmos o funcionamento do medidor em uma carga trifásica em estrela iremos utilizar a carga mostrada na figura 4.5, a seguir. Nota-se que a carga está desequilibrada e sem o neutro acessível, o que não significa que não poderíamos conectar uma carga em estrela com o neutro acessível.

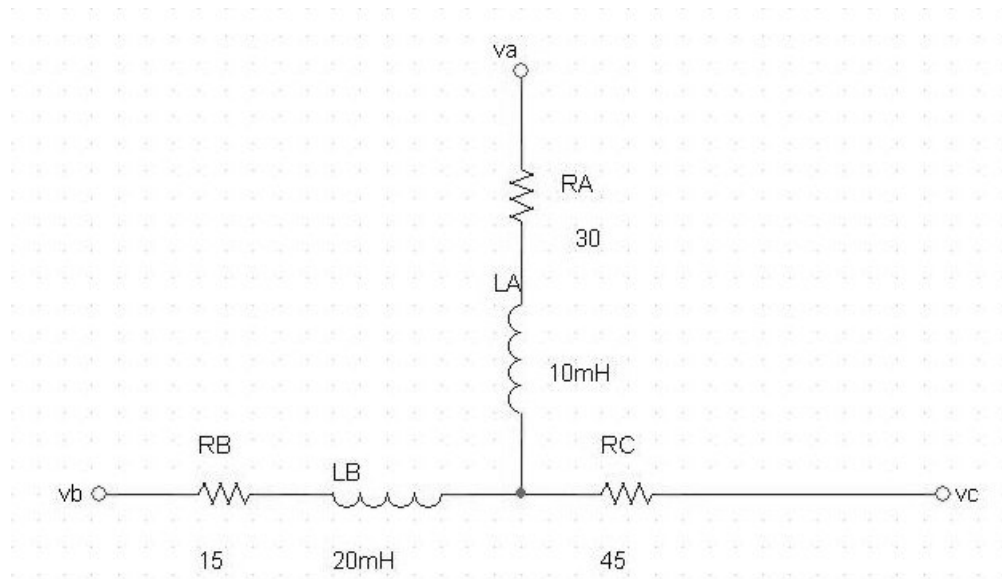


Figura 4.5 – Carga da terceira simulação

O resultado da simulação será mostrado na figura 4.6, abaixo, onde a curva em roxo é a potência ativa realmente consumida pela carga e a curva azul é a potência calculada através do método da diferença. Os dados a serem analisados da simulação podem ser vistos na tabela 3, e foram obtidos da mesma maneira que nos itens anteriores.

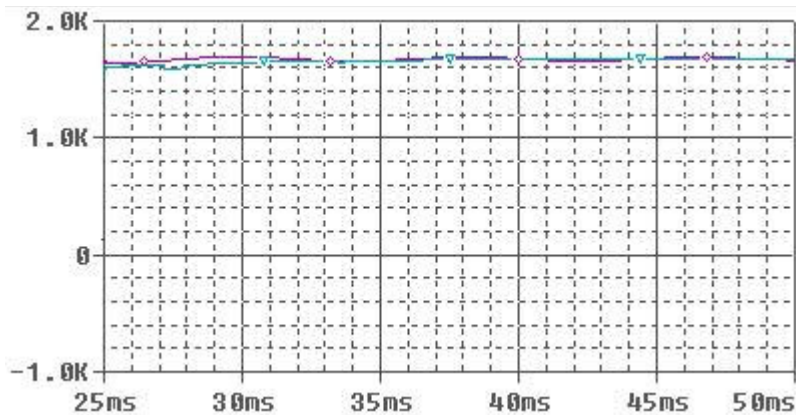


Figura 4.6 – Gráfico da terceira simulação

Tabela 3 – Resultados da terceira Simulação

<i>P(real)</i>	<i>P(calculada)</i>	<i>Erro</i>
1663,6 W	1671,3 W	0,46%

4.4. – Carga trifásica em delta

Ao ser simulada uma carga conectada em delta foi utilizado o sistema desequilibrado mostrado na figura 4.7, abaixo.

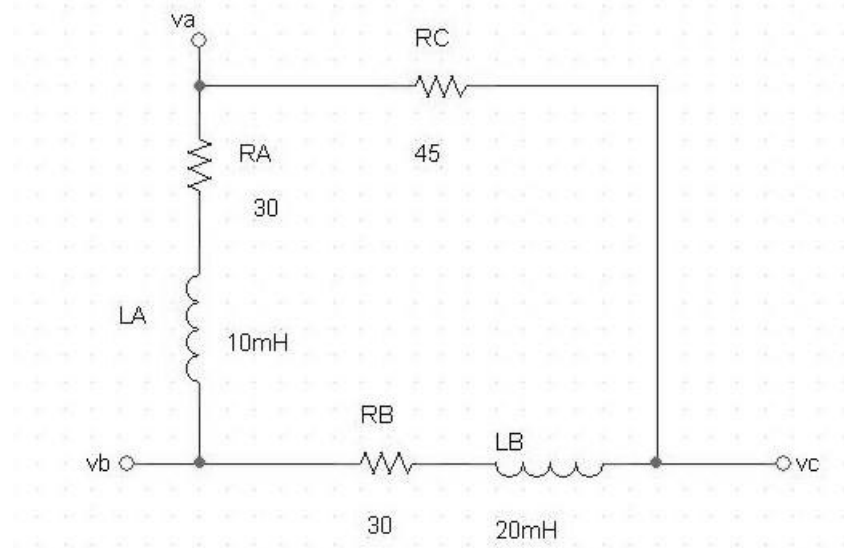


Figura 4.7 – Carga utilizada na quarta simulação

O gráfico do resultado da simulação pode ser visto na figura 4.8, sendo que a curva em roxo representa a potência total realmente consumida pela carga enquanto que a curva em azul representa a potência total calculada pelo método da diferença, e os resultados numéricos da simulação, que foram obtidos da mesma maneira que nos itens anteriores, podem ser analisados na tabela 4.

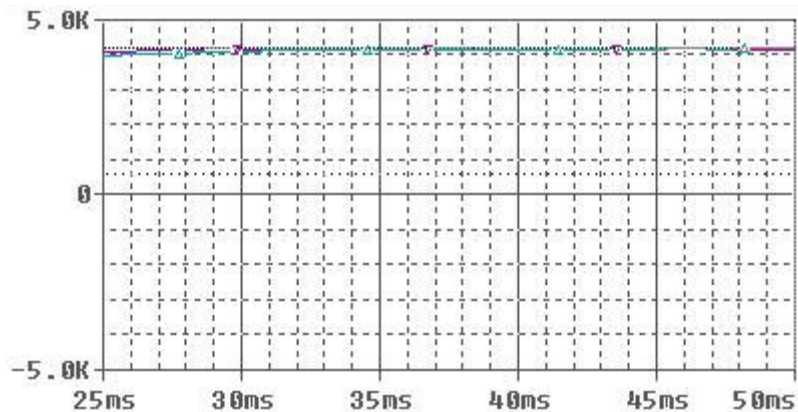


Figura 4.8 – Gráfico da quarta simulação

Tabela 4 – Resultados da quarta Simulação

<i>P(real)</i>	<i>P(calculada)</i>	<i>Erro</i>
4138,7 W	4172,0 W	0,80%

4.5. – Carga mista

Esta última simulação tem como objetivo provar que, independente da forma como for conectada a carga no barramento, o sistema de medição proposto irá funcionar. As cargas a serem conectadas são uma combinação de todas as cargas mostradas nos itens anteriores, sendo que somente seus valores são diferentes, como pode ser observado na figura 4.9, abaixo.

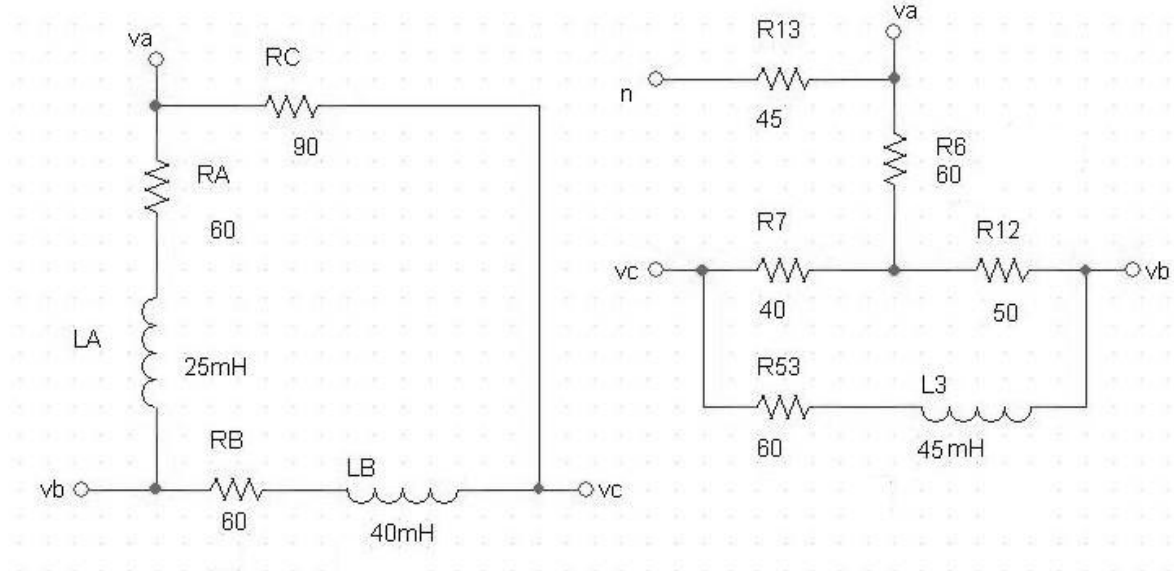


Figura 4.9 – Cargas utilizadas na quinta simulação

O resultado final da simulação pode ser observado no gráfico da figura 4.10, que apresenta as curvas da potência ativa total real, em roxo, e a potência ativa total pelo método da diferença, em azul. Os resultados numéricos podem ser vistos na tabela 5, cujos valores foram obtidos da mesma maneira que nos itens anteriores.

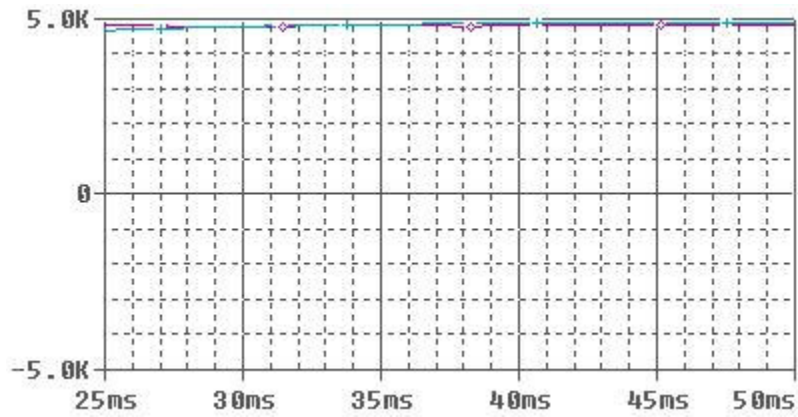


Figura 4.10 – Gráfico da quinta simulação

Tabela 5 – Resultados da quinta Simulação

<i>P(real)</i>	<i>P(calculada)</i>	<i>Erro</i>
4844,7 W	4870,2 W	0,52%

O objetivo de confirmar que para qualquer tipo de carga linear conectada no barramento o medidor funcionará corretamente, que era o motivo da realização destas simulações, foi cumprido, como pode ser observado neste item e nos itens anteriores.

CAPÍTULO V

ENSAIOS REALIZADOS

Este capítulo se destina a descrever os ensaios realizados no protótipo construído e mostrar os resultados obtidos. Foram medidas duas cargas em estrela, sendo uma equilibrada, que será mostrada no primeiro item deste capítulo, e outra desequilibrada que será mostrada no último item deste capítulo.

Os testes foram realizados com a ajuda de uma placa de aquisição de dados (CIO – DAS16), que possui 16 canais A/D e cuja resolução é de 12 bits, em conjunto com uma placa de expansão (CIO – SSH16), que permite a aquisição simultânea, através de sample&hold's, de até 16 canais, dos quais foram utilizados somente seis (três para tensão e três para corrente). Ambas as placas acima citadas são fabricadas pela Measurement Computing e suas respectivas especificações estão no anexo E desta dissertação. Mais informações sobre elas podem ser encontradas no site www.measurementcomputing.com.

Este equipamento foi conectado em paralelo com o nosso medidor de forma a captar os mesmos sinais captados pelos sensores utilizados pelo nosso medidor. A placa de aquisição utilizou sensores de efeito Hall para a aquisição dos sinais.

Foi utilizado também, somente nos testes, um circuito de gatilho que sincroniza os sinais do medidor e da placa de aquisição tornando possível uma melhor aferição do nosso equipamento.

O software utilizado pela placa de aquisição, é chamado Dr. Analyser, foi feito em LabView pelos professores Luciano Vieira Lima e Alcimar Barbosa Soares, e calcula as tensões e correntes eficazes bem como a potência ativa e reativa consumida pela carga.

Os parâmetros utilizados na placa de aquisição foram de 6 canais, sendo três correntes e três tensões, 500 amostras por canal e uma frequência de amostragem de 5020 Hz. Essa frequência de amostragem se mostrou satisfatória pois tira os ruídos de alta frequência presentes nos sinais dos sensores. Isso não prejudicou em nada a aferição visto que o nosso medidor também tem um filtro em 60 Hz que tira estes ruídos, e calcula a potência somente da fundamental.

5.1. – Aferição

Para aferir o aparelho é necessário um osciloscópio de dois canais que possa medir corrente ou voltímetros e amperímetros de precisão e uma carga de prova. Conecte a carga como mostrado na figura 5.1. Esta carga simula um sistema trifásico equilibrado do tipo estrela com neutro acessível.

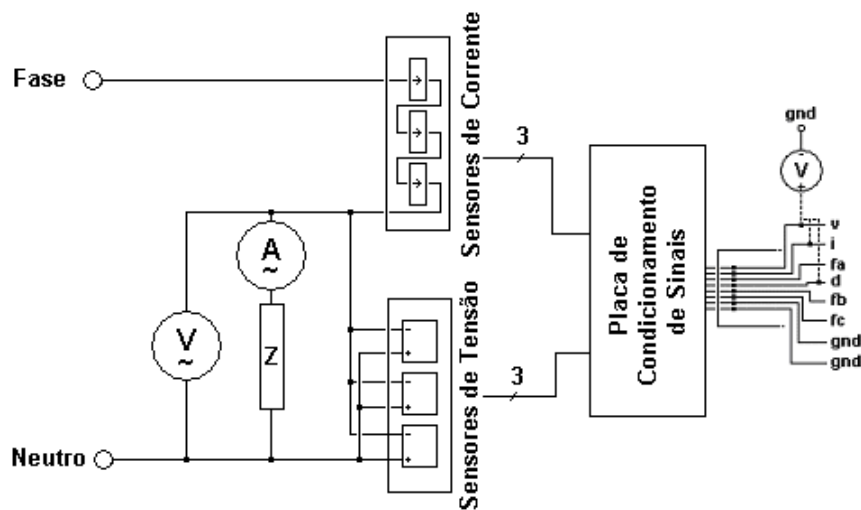


Figura 5.1 – Esquema de ligação para aferição

Agora para aferir basta seguir os passos a seguir, atuando nos potenciômetros do circuito de entrada da placa de condicionamento de sinais mostrados no item 3.2.1, no capítulo 3 desta dissertação. No caso o fundo de escala de tensão ficou em 167 volts e o fundo de escala de corrente ficou em 6,11 ampéres.

5.1.1. Para aferir as tensões

- 1) Com tudo conectado, ligue simultaneamente o circuito de controle e a placa condicionadora de sinais.
- 2) Coloque um medidor de tensão DC na porta V da interface entre a placa condicionadora de sinais de a placa de controle. Coloque um medidor de tensão RMS entre a fase e o neutro e ligue a carga.
- 3) Inicialmente os canais da fase A estão habilitados, logo basta ajustar o potenciômetro correspondente a tensão da fase A de forma que $V_{dc} = 5 \cdot V_{rms} / V_{fs}$.
- 4) Para ajustar a tensão da fase B basta habilitar os canais da fase B, apertando duas vezes o botão vermelho da placa de controle, e repetir o passo 3 para fase B.
- 5) Para ajustar a tensão da fase C repita os passos 4 e 3, nessa ordem.

5.1.2. Para aferir as correntes

- 1) Com tudo conectado, ligue simultaneamente o circuito de controle e a placa condicionadora de sinais.
- 2) Coloque um medidor de tensão DC na porta I da interface entre a placa condicionadora de sinais de a placa de controle. Coloque um amperímetro RMS em série com a carga e ligue a mesma.
- 3) Inicialmente os canais da fase A estão habilitados, logo basta ajustar o potenciômetro correspondente à corrente da fase A de forma que $V_{dc} = 5 \cdot I_{rms} / I_{fs}$.
- 4) Para ajustar a corrente da fase B basta habilitar os canais da fase B, apertando duas vezes o botão vermelho da placa de controle, e repetir o passo 3 para fase B.
- 5) Para ajustar a corrente da fase C repita os passos 4 e 3, nessa ordem.

5.2. – Primeiro Ensaio

Como já foi dito anteriormente, este primeiro ensaio foi realizado em uma carga em estrela equilibrada sem a conexão do neutro, conforme mostrado na figura 5.2, abaixo.

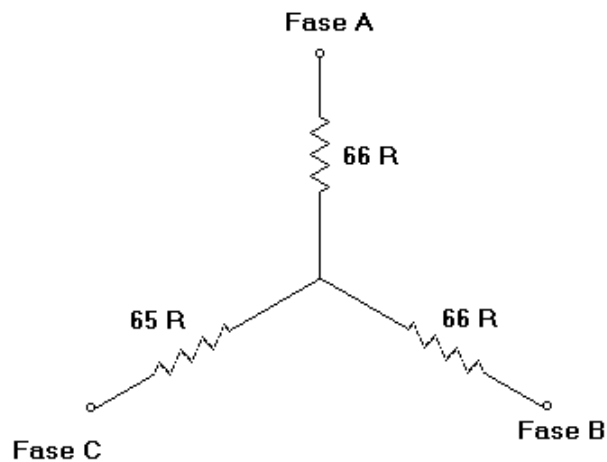


Figura 5.2 – Carga do primeiro ensaio

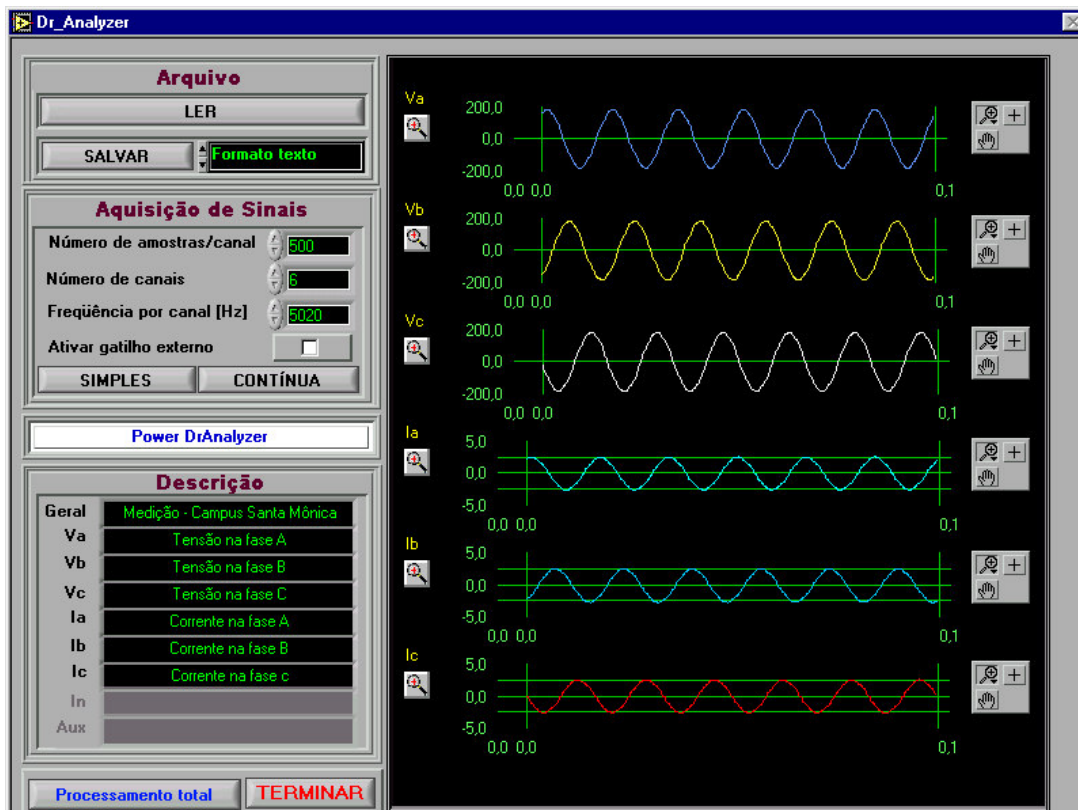


Figura 5.3 – Tela do Dr. Analyser

Anteriormente foi mostrada, na figura 5.3, a tela principal do software Dr. Analyser com os dados obtidos na primeira medição. A tela mostra as três correntes e três tensões medidas. Através dessas correntes e tensões será calculada a potência ativa consumida pela carga.

A figura 5.4 mostra em detalhe a tensão na fase A adquirida, bem como seu valor eficaz, calculado pelo software Dr. Analyser. A seguir, na figura 5.5 são mostrados o gráfico normal e ampliado da tensão adquirida pelo nosso medidor.

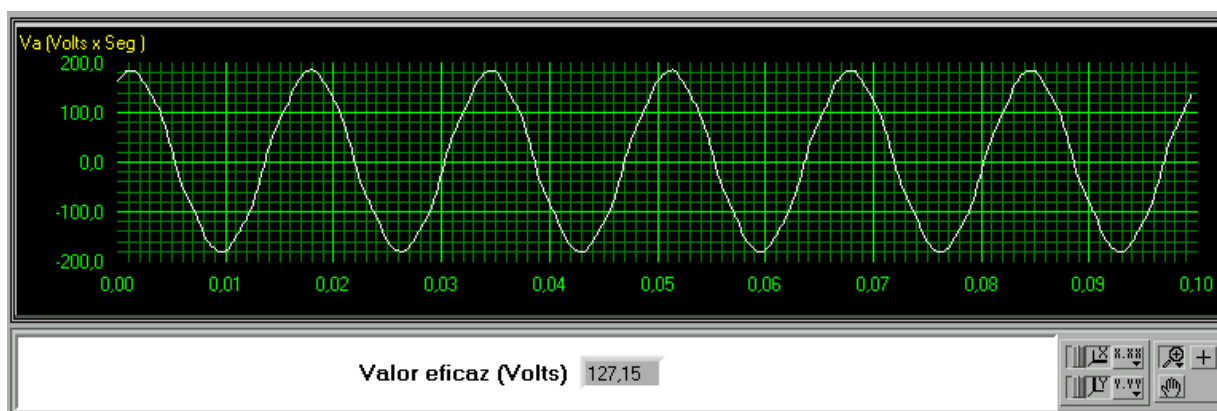


Figura 5.4 – Tensão VA no barramento

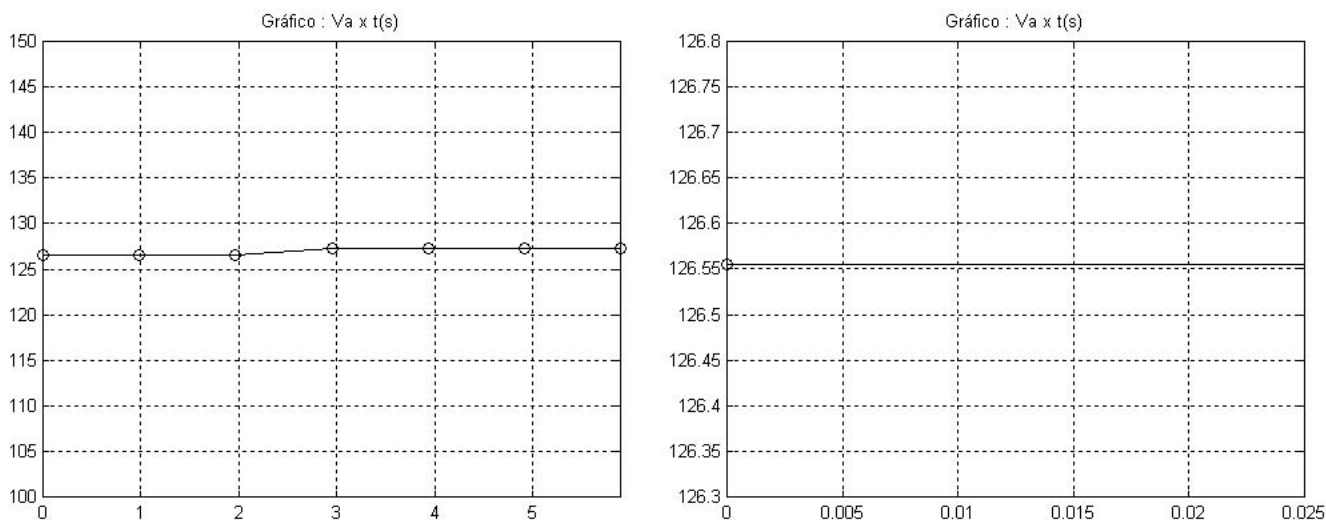


Figura 5.5 – Tensão VA conseguida pelo nosso medidor

A seguir, nas figuras 5.6 e 5.7 estão, respectivamente, a tensão no barramento da fase B e o gráfico referente à tensão na fase B medida pelo nosso protótipo. Nota-se que na figura 5.7 pode-se observar a tensão durante todo o período da aquisição, que foi de apenas alguns segundos, à esquerda, e a tensão no barramento B nos primeiros segundos, à direita da figura 5.7.

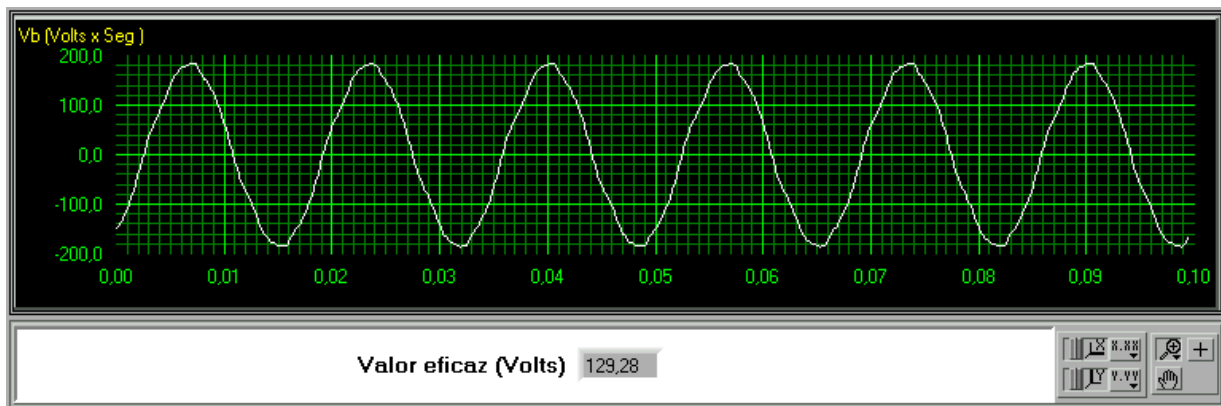


Figura 5.6 – Tensão VB no barramento

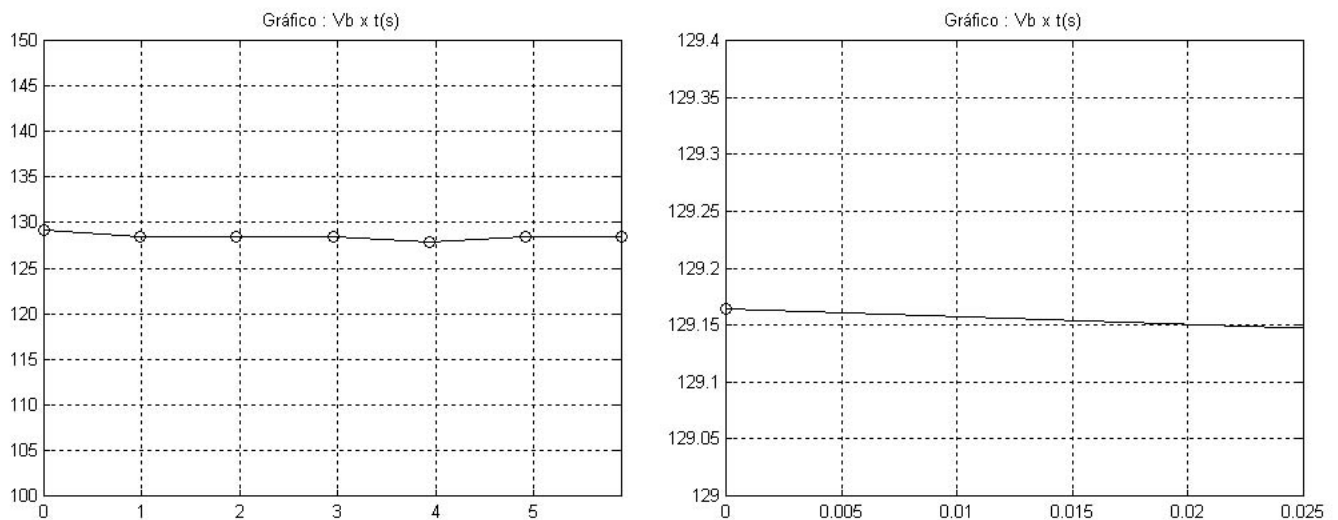


Figura 5.7 – Tensão VB conseguida pelo nosso medidor

Da mesma forma que foram mostrados os resultados para as tensões nos barramentos A e B podemos observar, nas figuras 5.8 e 5.9, os resultados obtidos para tensão no barramento C.

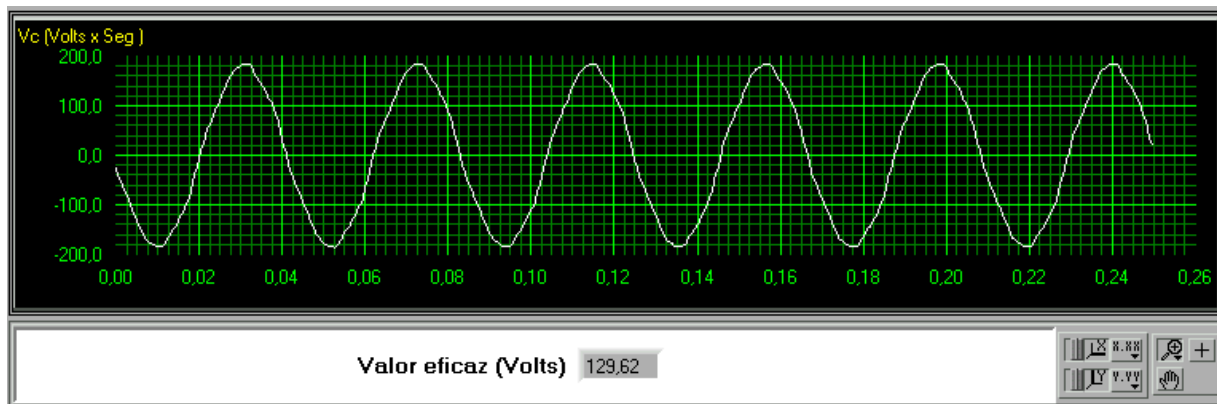


Figura 5.8 – Tensão VC no barramento

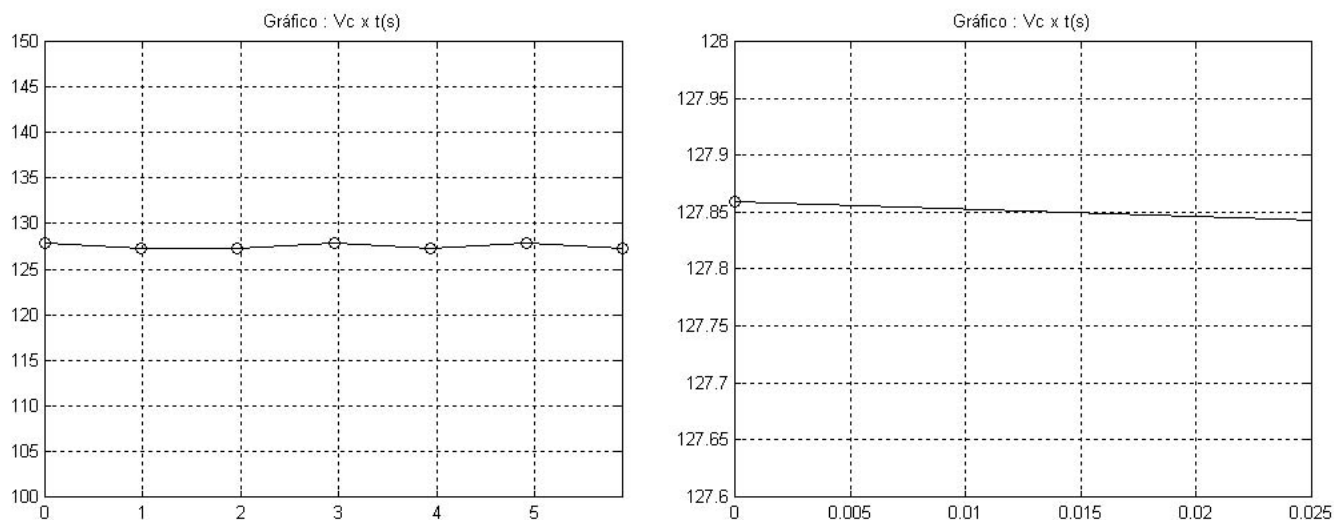


Figura 5.9 – Tensão VC conseguida pelo nosso medidor

A seguir, serão mostrados em seqüência, da mesma maneira que no caso das tensões, o resultado obtido para corrente IA, representado nas figuras 5.10 e 5.11, para corrente IB, representado nas figuras 5.12 e 5.13, e para corrente IC, representado nas figuras 5.14 e 5.15. Em seguida observaremos os resultados referentes à potência ativa, tanto a que foi calculada pelo software Dr. Analyser, na figura 5.16, quanto o valor da potência obtida pelo nosso medidor, na figura 5.17.

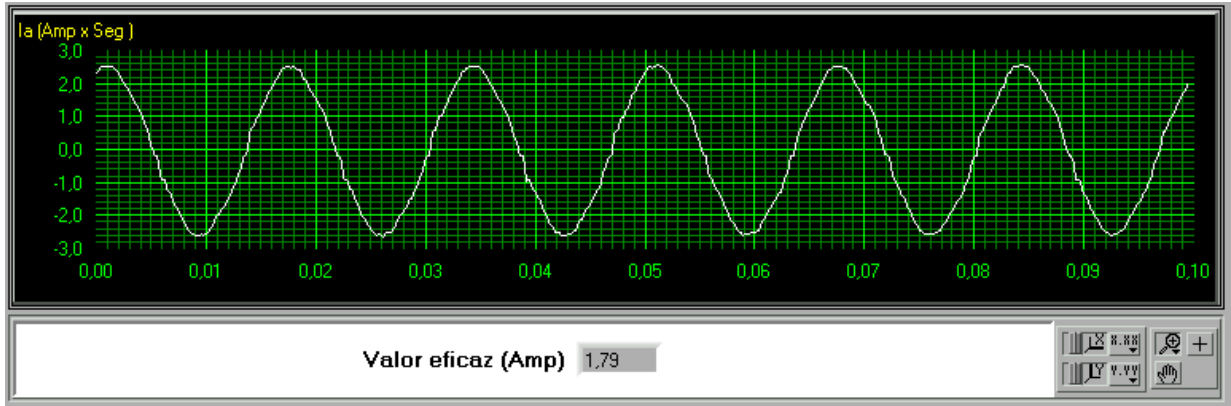


Figura 5.10 – Corrente no barramento A

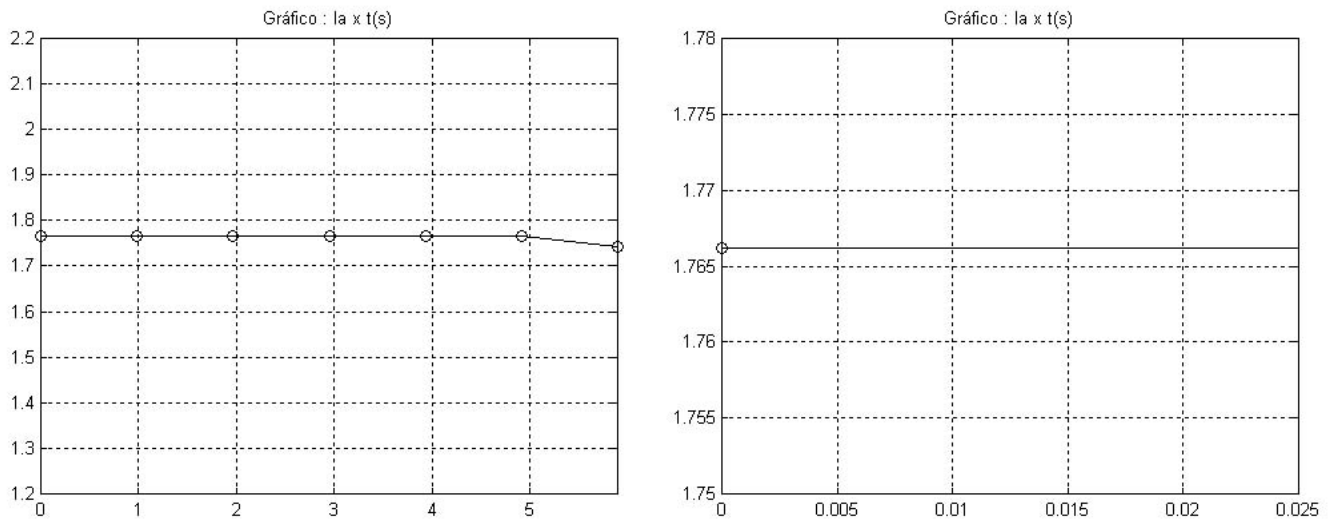


Figura 5.11 – Corrente da fase A obtida pelo medidor

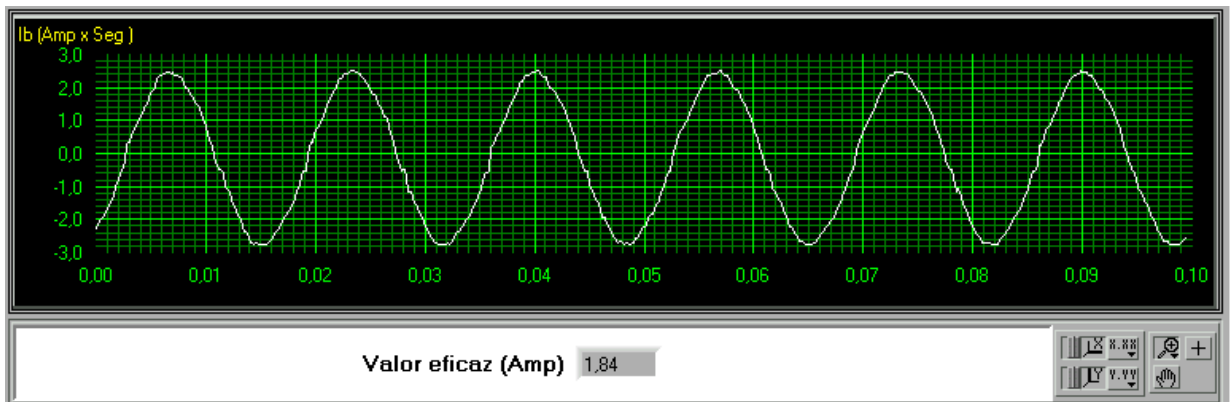


Figura 5.12 – Corrente no barramento B

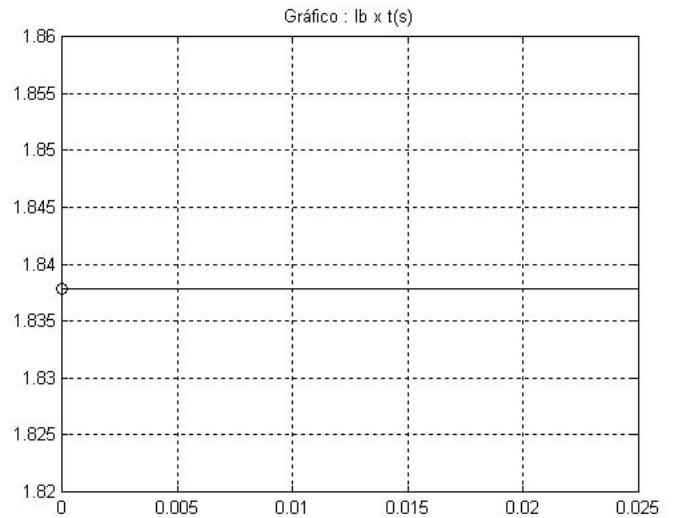
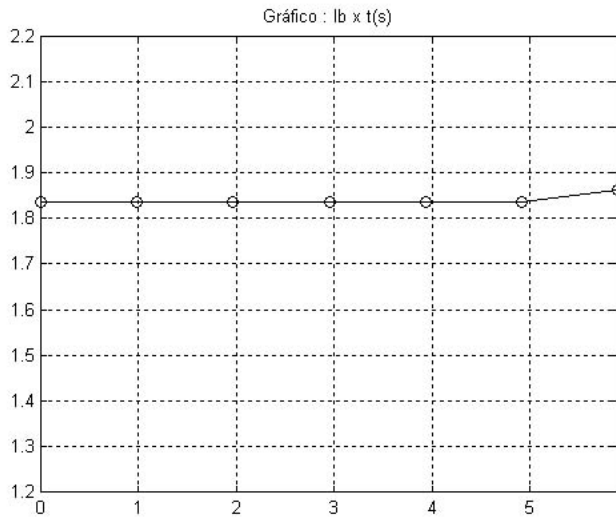


Figura 5.13 – Corrente da fase B obtida pelo medidor

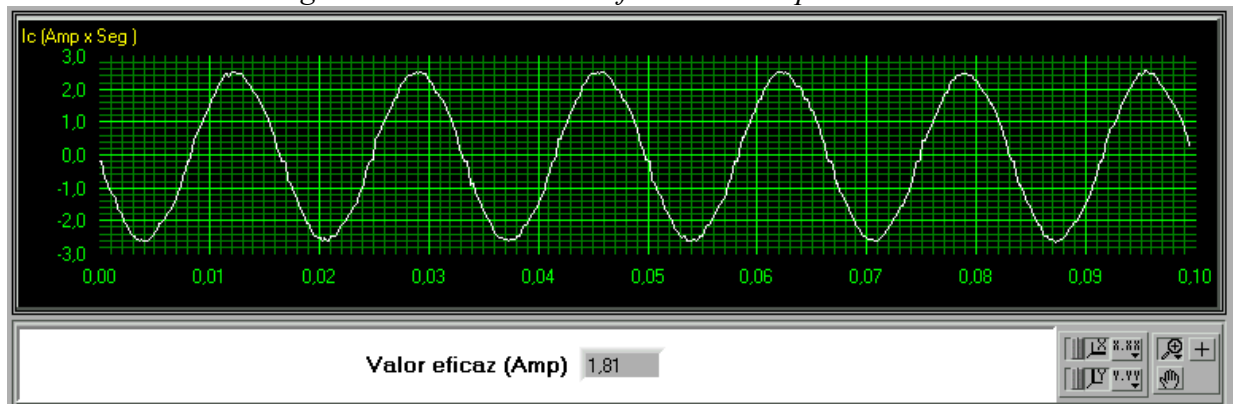


Figura 5.14 – Corrente no barramento C

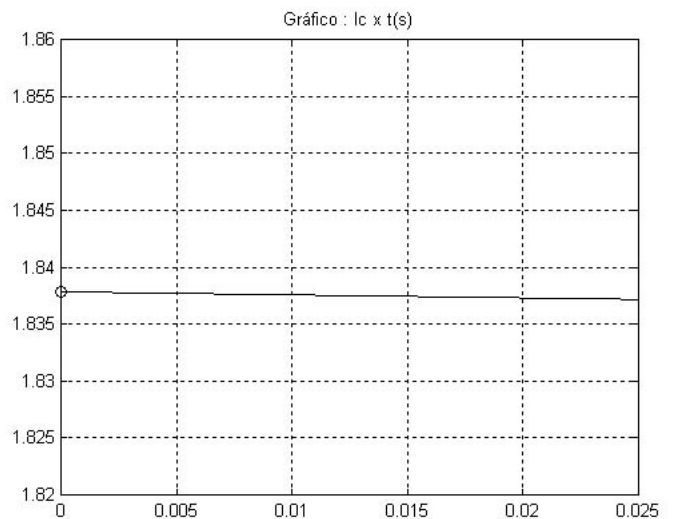
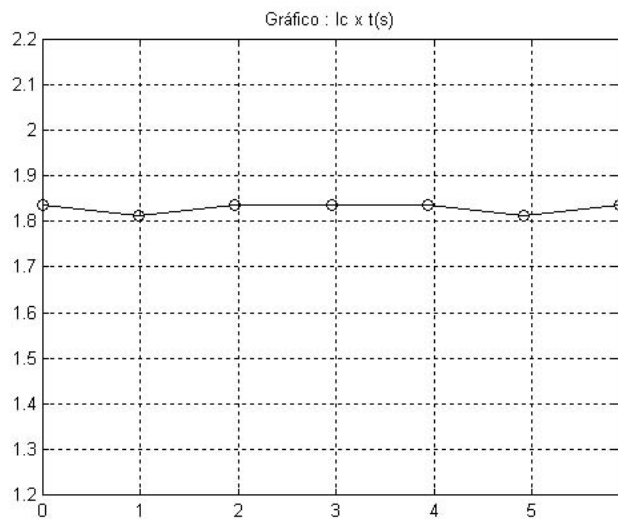


Figura 5.15 – Corrente da fase C obtida pelo nosso medidor

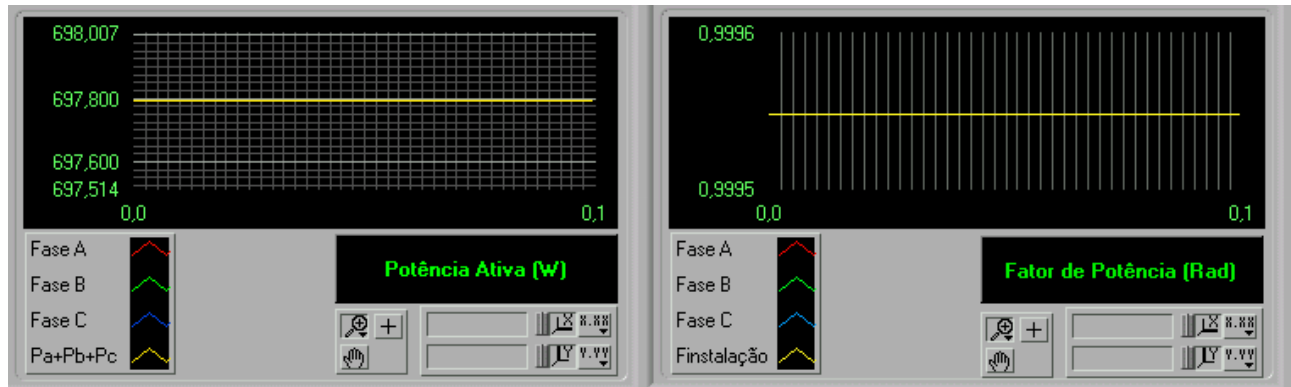


Figura 5.16 – Potência Ativa e fator de Potência da carga

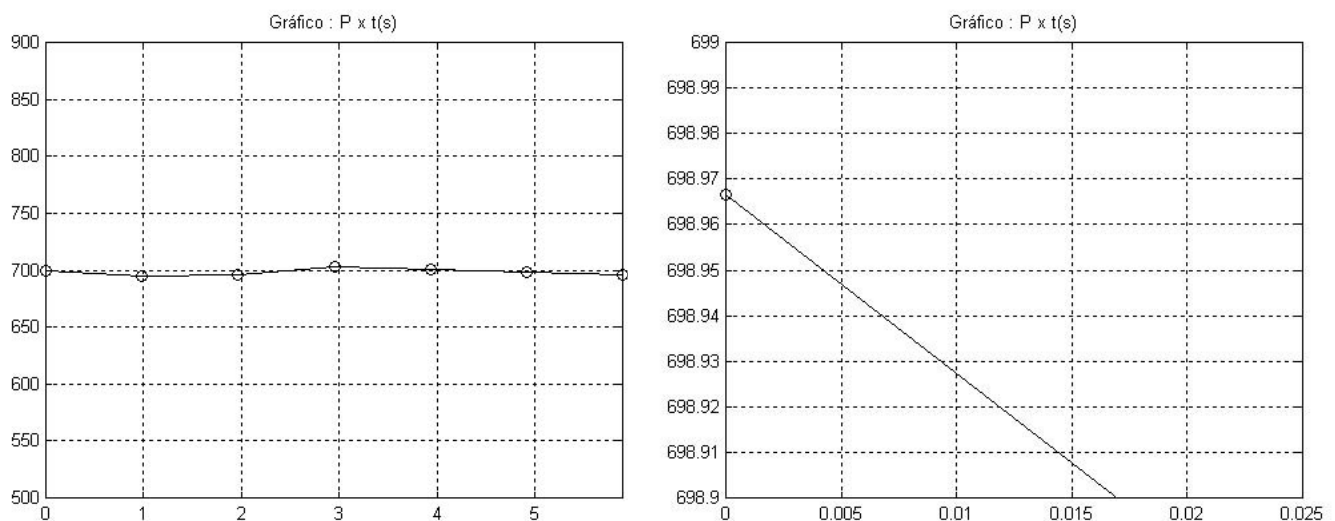


Figura 5.17 – Potência ativa da carga obtida pelo medidor

A seguir temos um resumo dos resultados numéricos obtidos, apresentados na tabela 6, incluindo o erro presente na medição da potência ativa, encerrando este item.

Tabela 6 – Resultados obtidos

Grandeza	Placa	Medidor
Va	127,15 V	126,55 V
Vb	129,28 V	129,15 V
Vc	129,62 V	127,85 V
Ia	1,79 A	1,766 A
Ib	1,84 A	1,838 A
Ic	1,81 A	1,838 A
Potência	697,8 W	698,96 W
Erro de 0,167%		

5.3. – Segundo Ensaio

O segundo ensaio foi realizado em uma carga em estrela desequilibrada sem a conexão do neutro, conforme mostrado na figura 5.18, abaixo. Logo a seguir temos a tela principal do Dr. Analyser, na figura 5.19, que contém todas as tensões e correntes medidas.

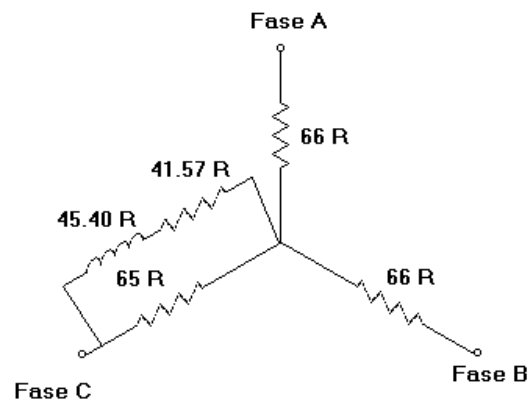


Figura 5.18 – Carga do segundo ensaio

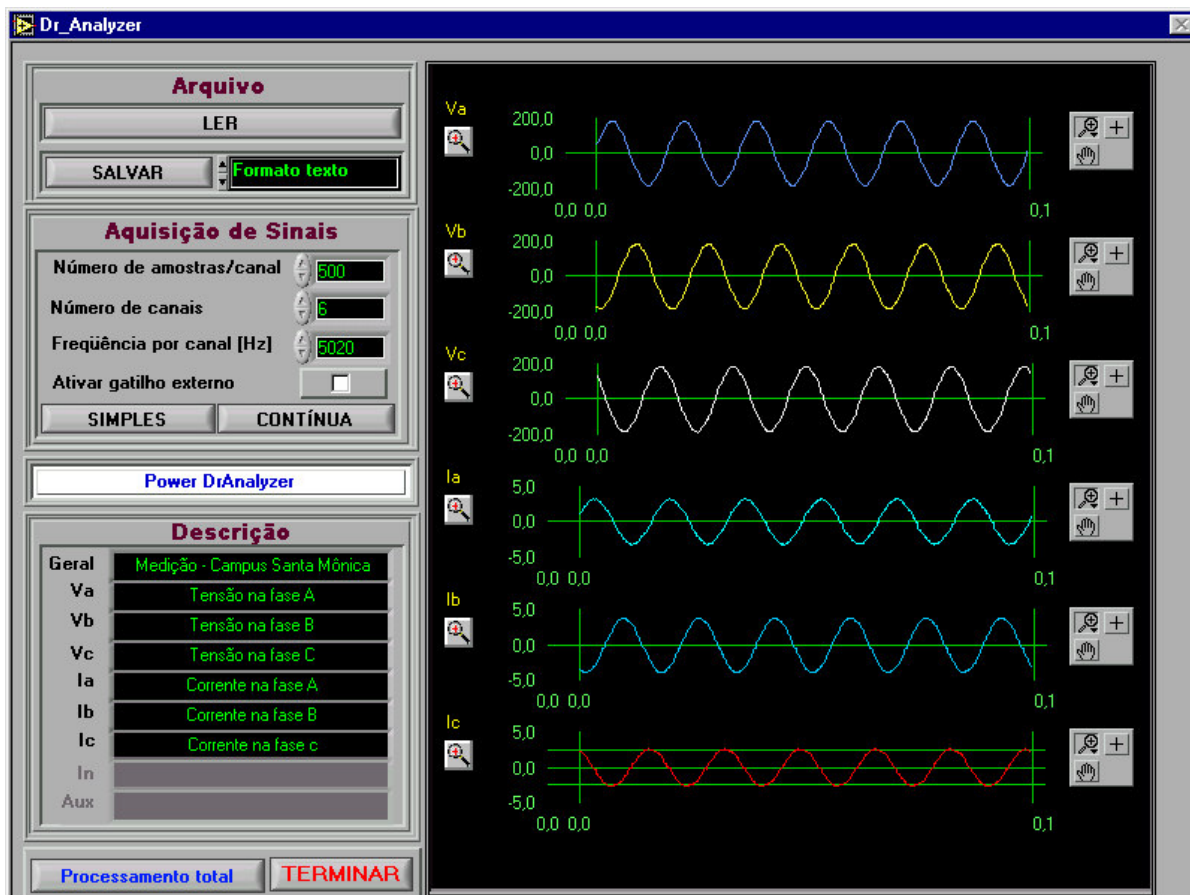


Figura 5.19 – Tela do Dr. Analyser

A seguir será mostrada a figura 5.20 que se refere à tensão no barramento da fase A durante o período de aquisição.

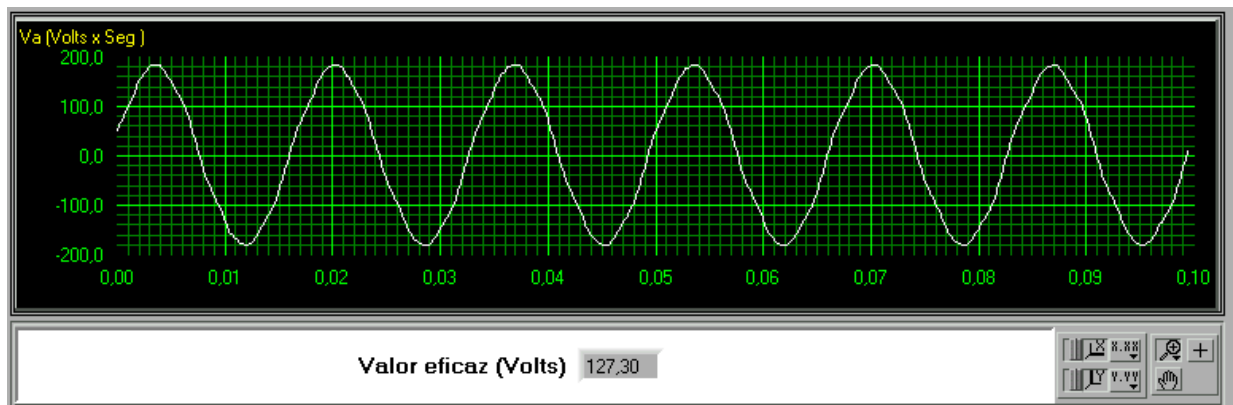


Figura 5.20 – Tensão na fase A

A figura 5.21 mostra a tensão na fase A obtida com o nosso medidor, sendo que o gráfico à esquerda mostra o comportamento da tensão durante todo o período de medição, enquanto que o gráfico à direita da figura 5.21 nos mostra a primeira medição, que é o valor em que estamos interessados no momento.

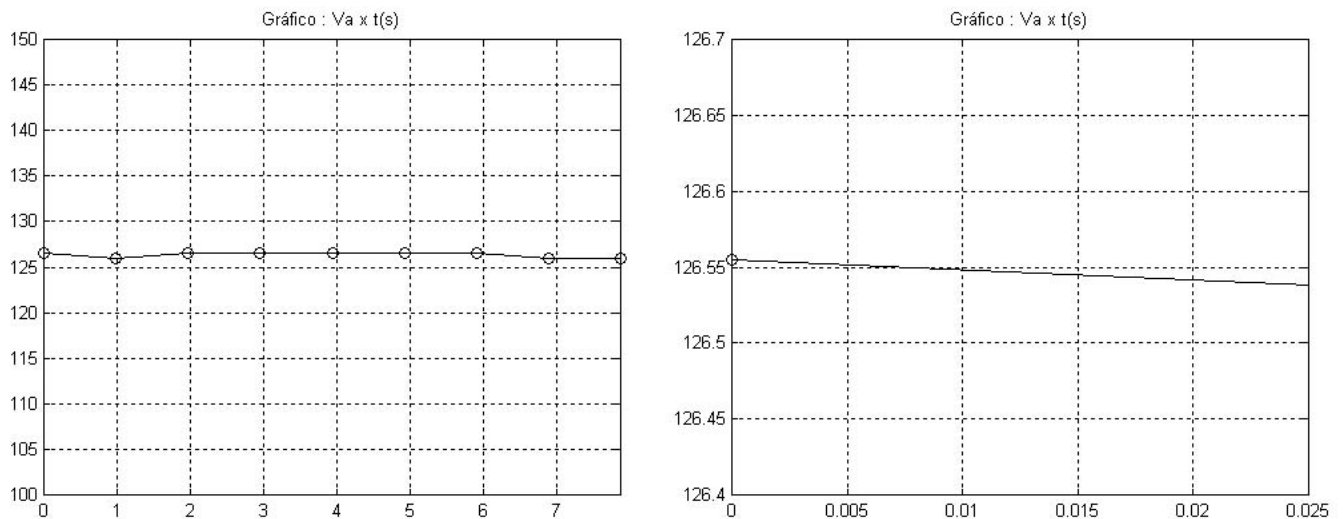


Figura 5.21 – Tensão da fase A obtida pelo medidor proposto

O mesmo foi feito para as fases B e C obtendo as figuras 5.22 e 5.23, referentes à fase B, e as figuras 5.24 e 5.25 referentes à fase C.

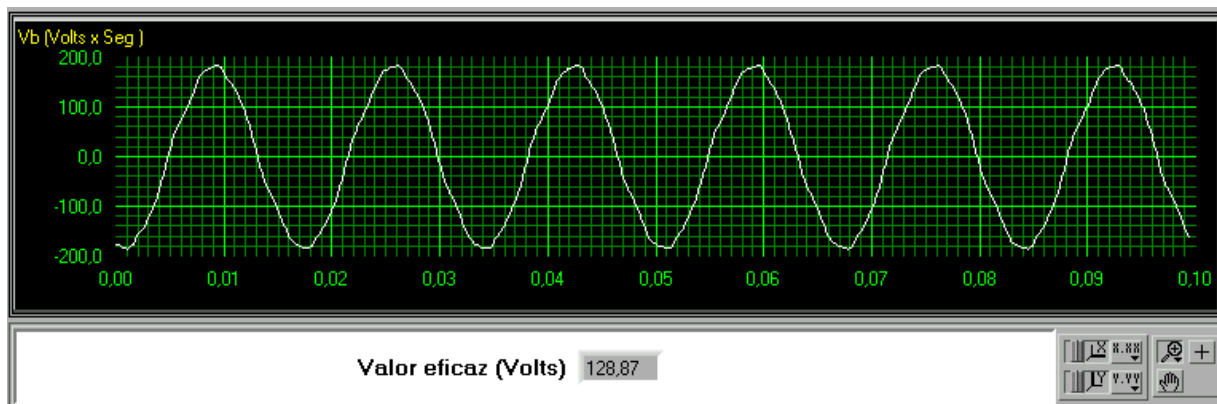


Figura 5.22 – Tensão na fase B

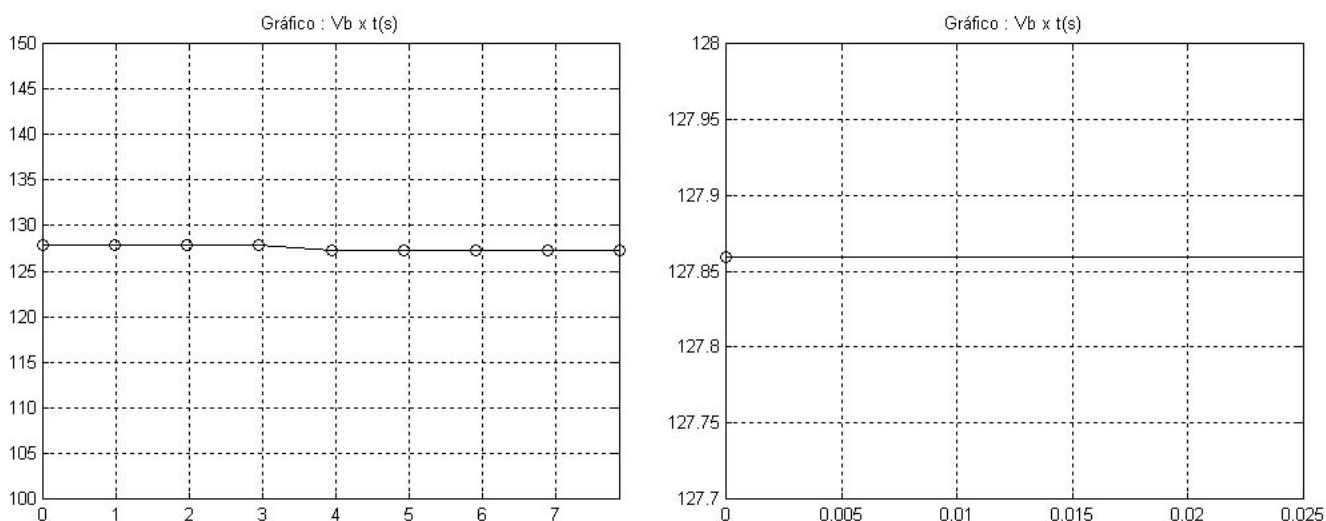


Figura 5.23 – Tensão da fase B obtida no medidor proposto

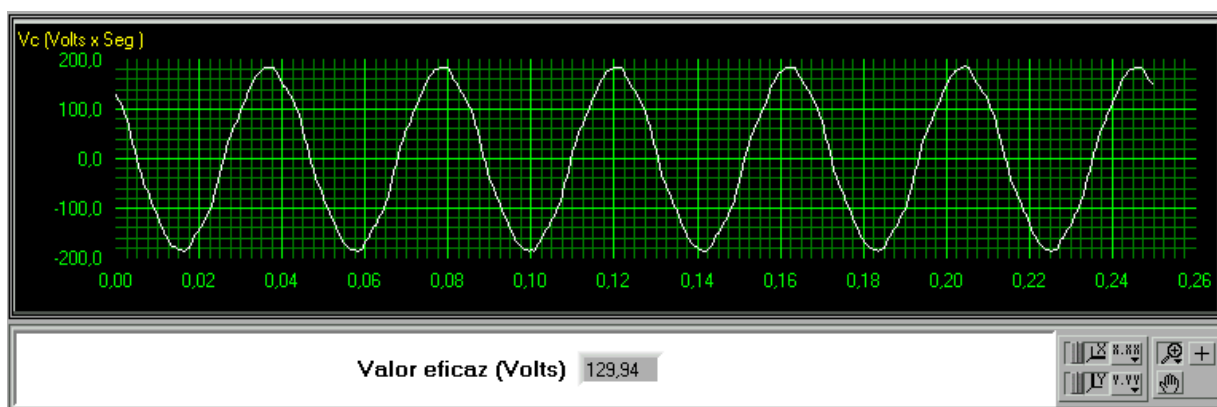


Figura 5.24 – Tensão na fase C

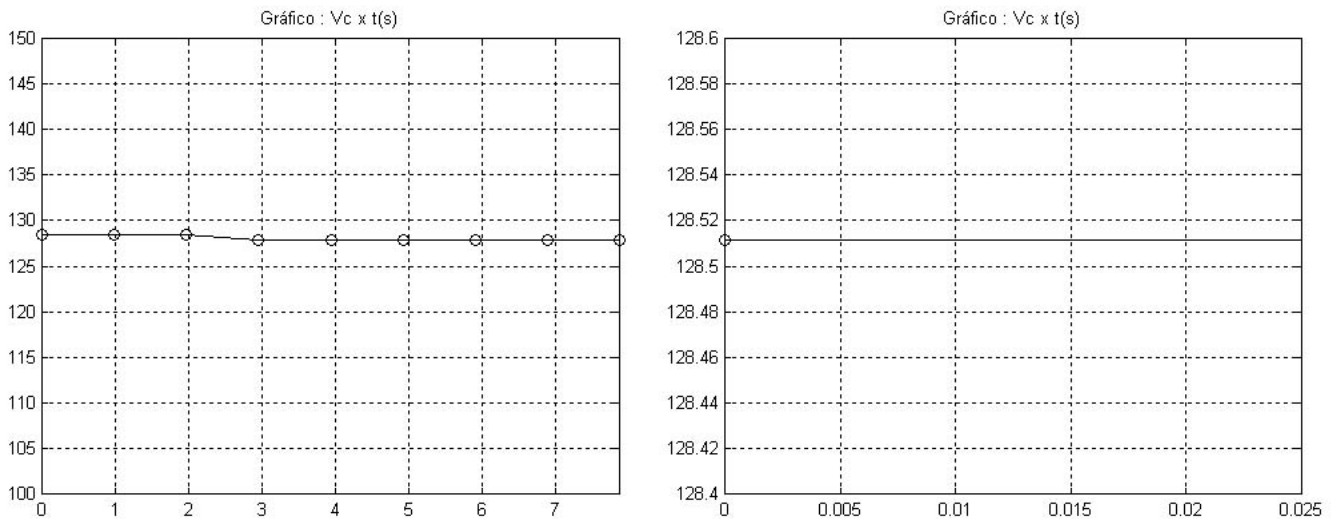


Figura 5.25 – Tensão na fase C obtida com o medidor proposto

A seguir serão mostradas as figuras referentes tanto à corrente da fase A lida pelo sistema de aquisição de dados, figura 5.26, quanto à corrente lida pelo medidor proposto, figura 5.27.

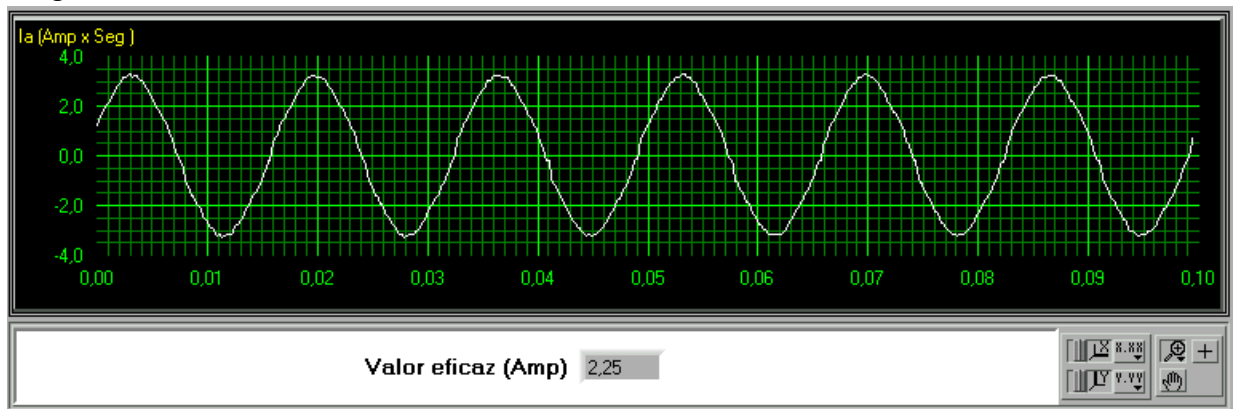


Figura 5.26 – Corrente na fase A

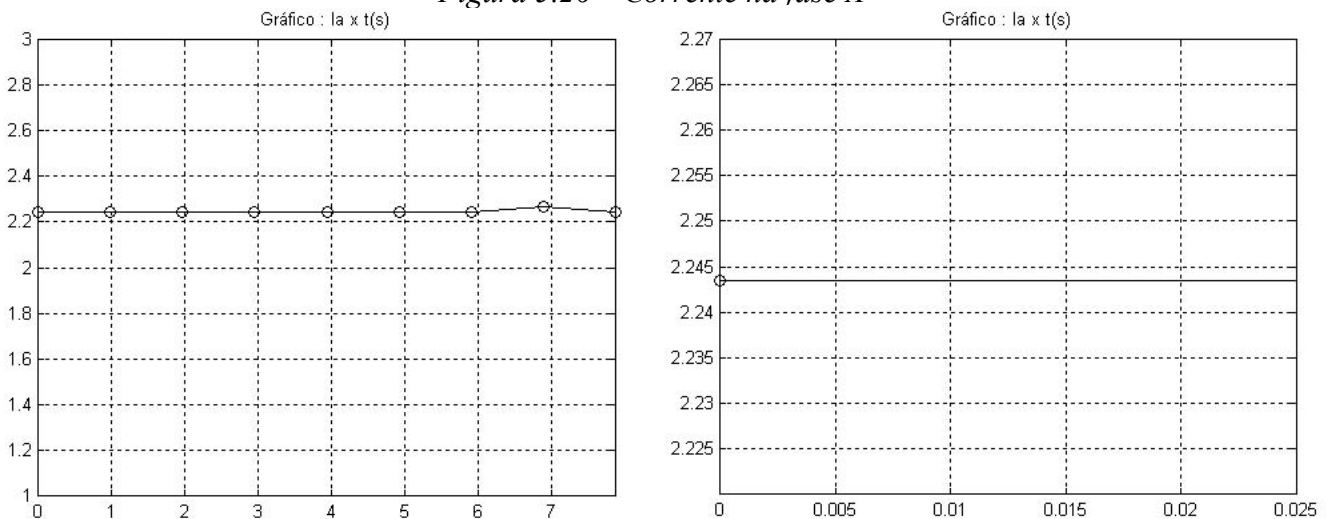


Figura 5.27 – Corrente na fase A obtido com o medidor proposto

Da mesma maneira que mostramos as figuras referentes á corrente da fase A será mostrada agora as figuras referentes às correntes das fases B, figuras 5.28 e 5.29, e às correntes da fase C, figuras 5.30 e 5.31.

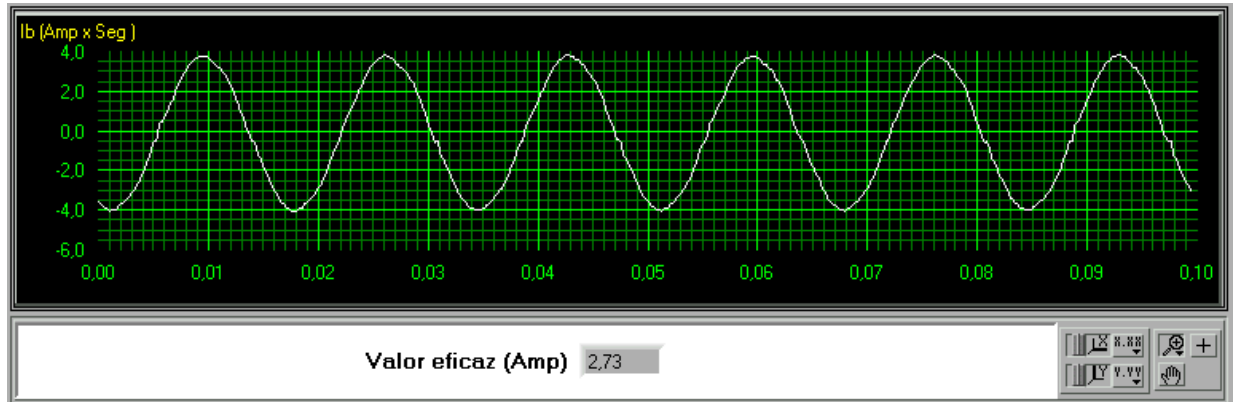


Figura 5.28 – Corrente na fase B

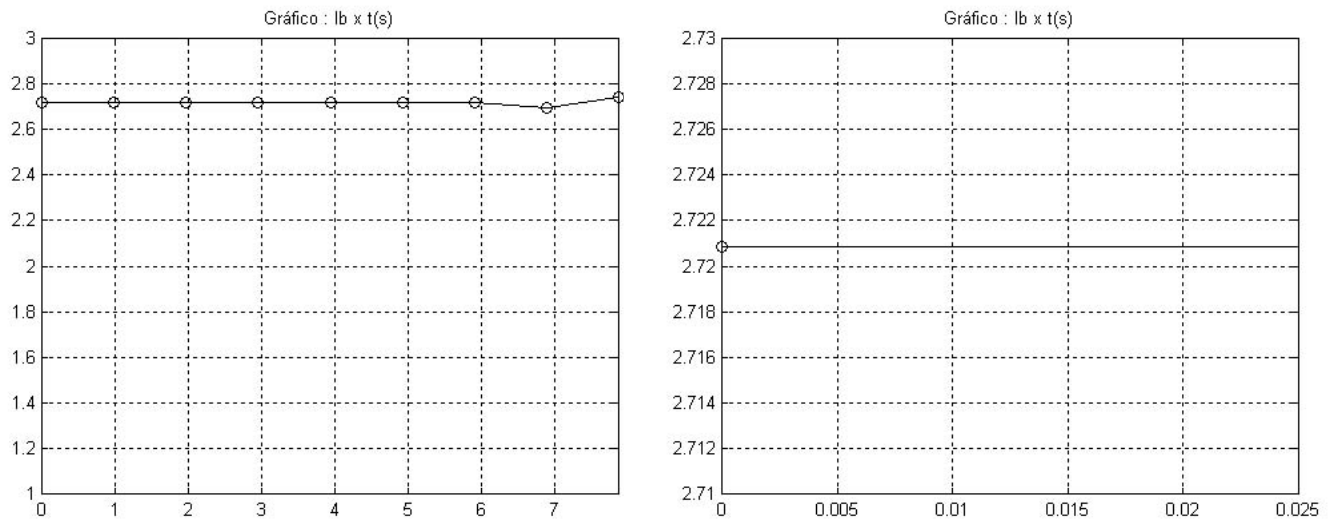


Figura 5.29 – Corrente da fase B obtida pelo medidor proposto

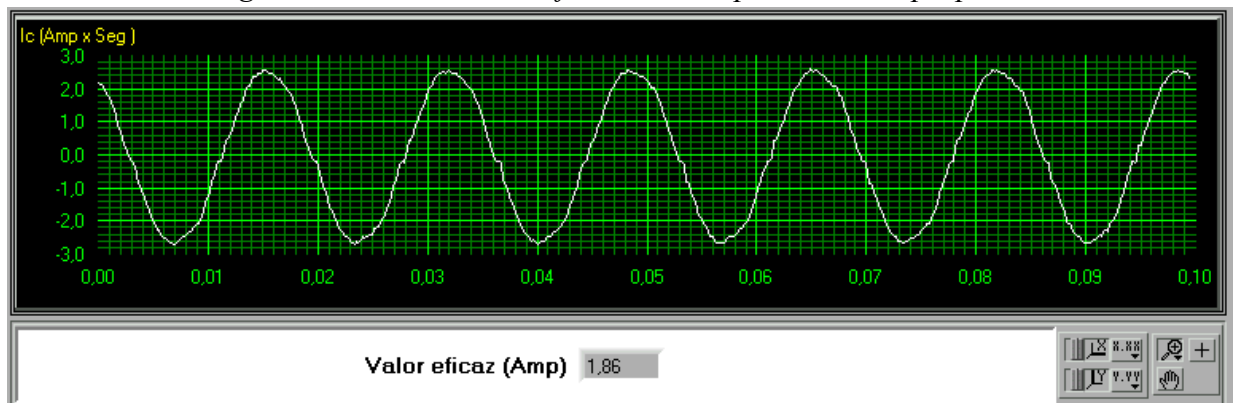


Figura 5.30 – Corrente da fase C

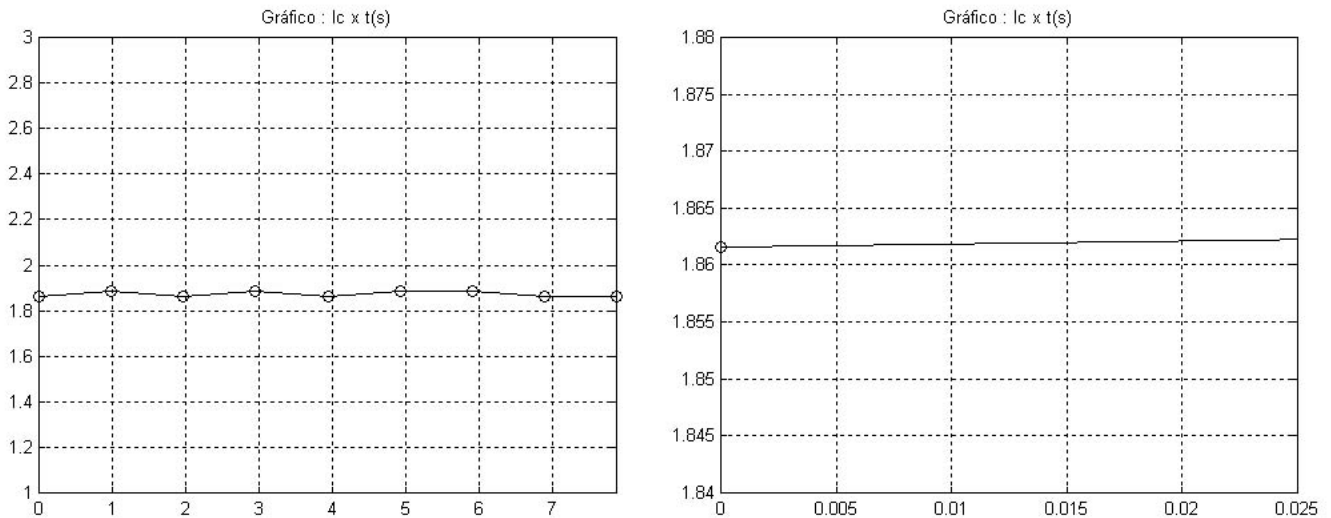


Figura 5.31 – Corrente na fase C obtida pelo medidor proposto

A figura 5.32 mostra a potência ativa consumida pela carga, que foi calculada pelo software Dr. Analyser com base nos dados lidos pela placa de aquisição, enquanto a figura 5.33 mostra a potência ativa consumida pela carga, segundo o medidor proposto nesta dissertação. Sendo que o gráfico a esquerda da figura 5.33 mostra a potência ativa consumida pela carga durante o período de medição enquanto que o gráfico a direita da figura 5.33 nos mostra uma ampliação do gráfico a esquerda dando enfoque ao primeiro valor calculado.

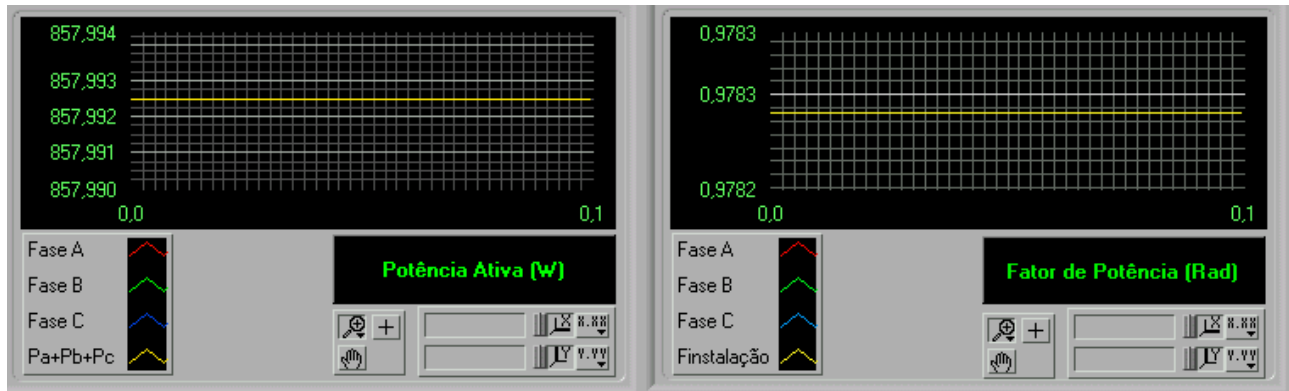


Figura 5.32 – Potência Ativa e fator de potência da carga

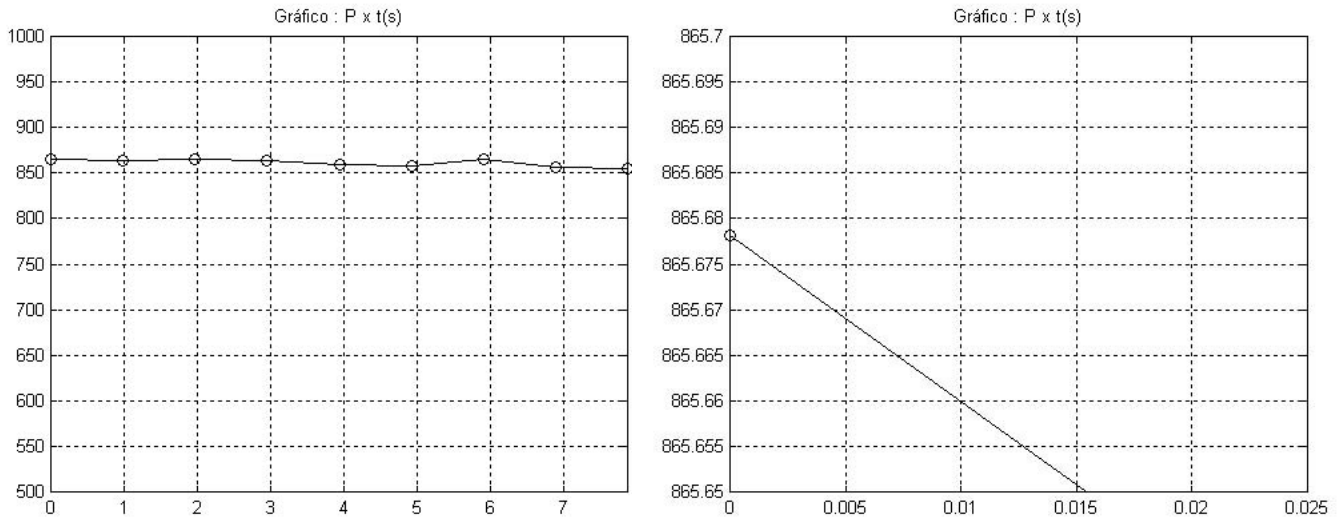


Figura 5.33 – Potência ativa da carga obtida pelo medidor

Analisando todos os dados dos gráficos acima chegamos aos valores da tabela 9. Vale mencionar que foram considerados apenas os primeiros valores obtidos pelo medidor. Isto foi feito porque, devido à sincronização, pode-se garantir a correlação entre o valor obtido na placa de aquisição e o valor obtido no medidor construído, tornando a comparação mais eficiente.

Tabela 7 – Resultados Obtidos

Grandeza	Placa	Medidor
Va	127,30 V	126,55 V
Vb	128,87 V	127,86 V
Vc	129,94 V	128,51 V
Ia	2,25 A	2,244 A
Ib	2,73 A	2,721 A
Ic	1,86 A	1,862 A
Potência	857,99 W	865,67 W
Erro de 0,998%		

CAPÍTULO VI

CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Diante dos estudos teóricos realizados e do desenvolvimento prático apresentado nesta dissertação chegou-se a várias conclusões importantes, dentre elas o fato de que, dos dois métodos apresentados e desenvolvidos o método da diferença foi o que mostrou melhores resultados no calculo da potência ativa, sendo que o método da soma foi, por este motivo, descartado durante esta dissertação.

Outra conclusão que se pode obter com o trabalho apresentado é que, assim como no caso dos medidores digitais tradicionais, o medidor construído também possui as limitações de número de bits de conversão, quanto maior o número de bits menor o erro apresentado, e de fundo de escala, quanto mais longe do fundo de escala maior o erro apresentado. Porém, uma diferença apresentada entre o medidor construído e os medidores tradicionais foi a influência do fator de potência da carga na sensibilidade do medidor, sendo que quanto mais longe o fator de potência está da unidade menor será a sensibilidade do medidor, o que pode inserir erro na medição.

Por fim, conclui-se que, com o método da diferença, apresentado nesta dissertação, foi possível construir um medidor mais barato que os tradicionais e que fornece resultados satisfatórios, dentro das limitações já mencionadas.

Algumas sugestões podem ser dadas para quem se dispuser a continuar a elaboração deste trabalho, dentre elas estão :

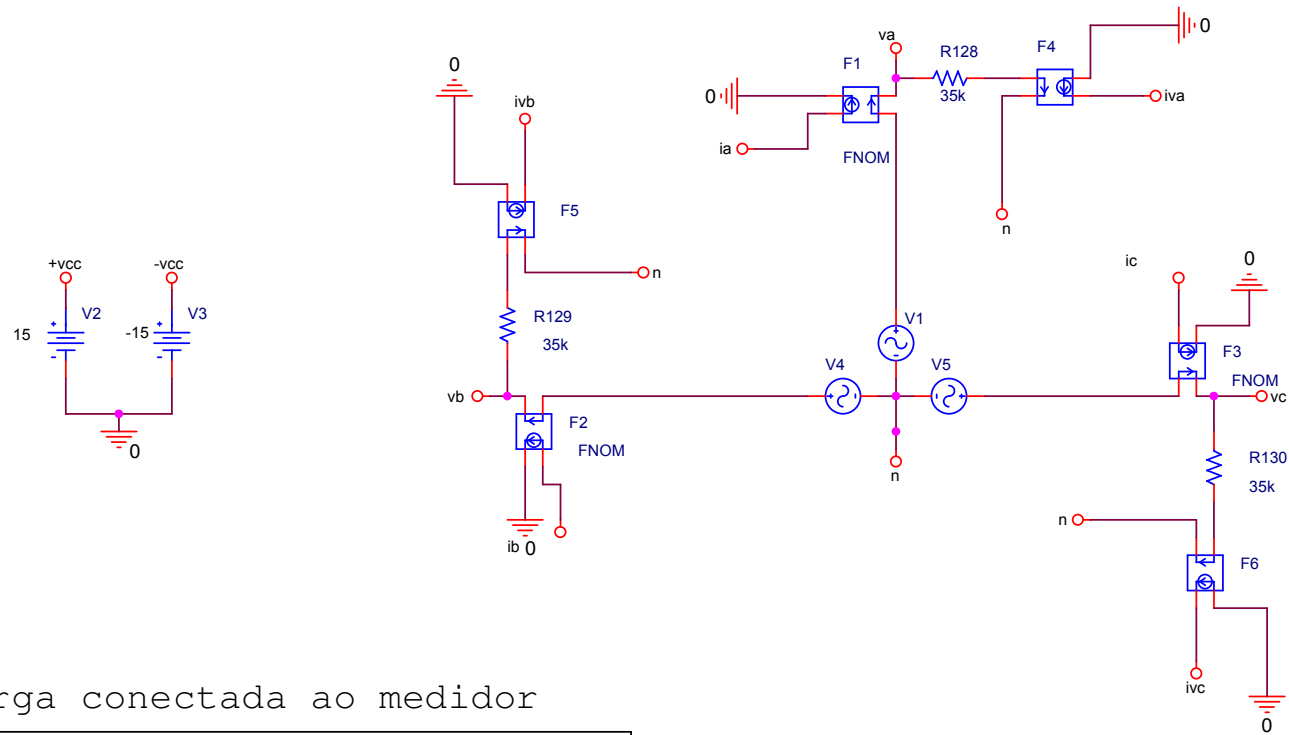
- Um estudo do método da Soma&Diferença, que nada mais é do que a união dos dois métodos apresentados nesta dissertação, o que diminuiria o número de sinais a serem trabalhados.
- A utilização de novos meios para a obtenção dos valores eficazes necessários na medição, para sinais distorcidos
- Para o caso de pequenas distorções de tensão e maiores de corrente analisar o erro cometido pelo protótipo construído, que foi projetado para considerar apenas sinais senoidais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

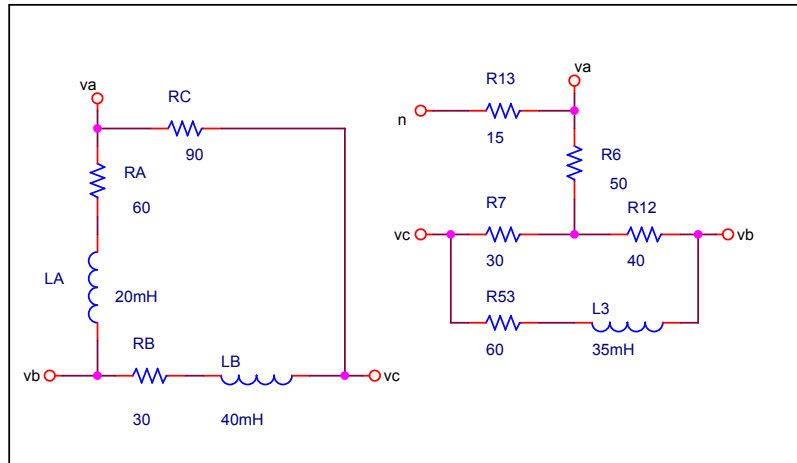
- [1] CORCORAN, G. F.; Kerchner, R. M. Circuitos de Corrente Alternada Vol I., 1977.
- [2] COUCH II, L. W.; Digital and Analog Communication Systems. 5 ed. New Jersey, Prentice Hall, 1997.
- [3] COTRIM, A. A. M. B.; Instalações Elétricas. 3 ed. São Paulo, MAKRON Books.
- [4] GARDNER, N.; Siegesmund M. PIC C - An Introduction to programming the Microchip PIC in CCS C. Bluebird Eletronics, UK, 1998. Character Press Limited.
- [5] PEREIRA, F. Microcontroladores PIC : Programação em C. São Paulo, 2003. Érica.
- [6] HANSELMAN, D.; Littlefield B. The Student Edition of Matlab. Upper Saddle River, NJ, 1997. Prentice Hall.

ANEXO A

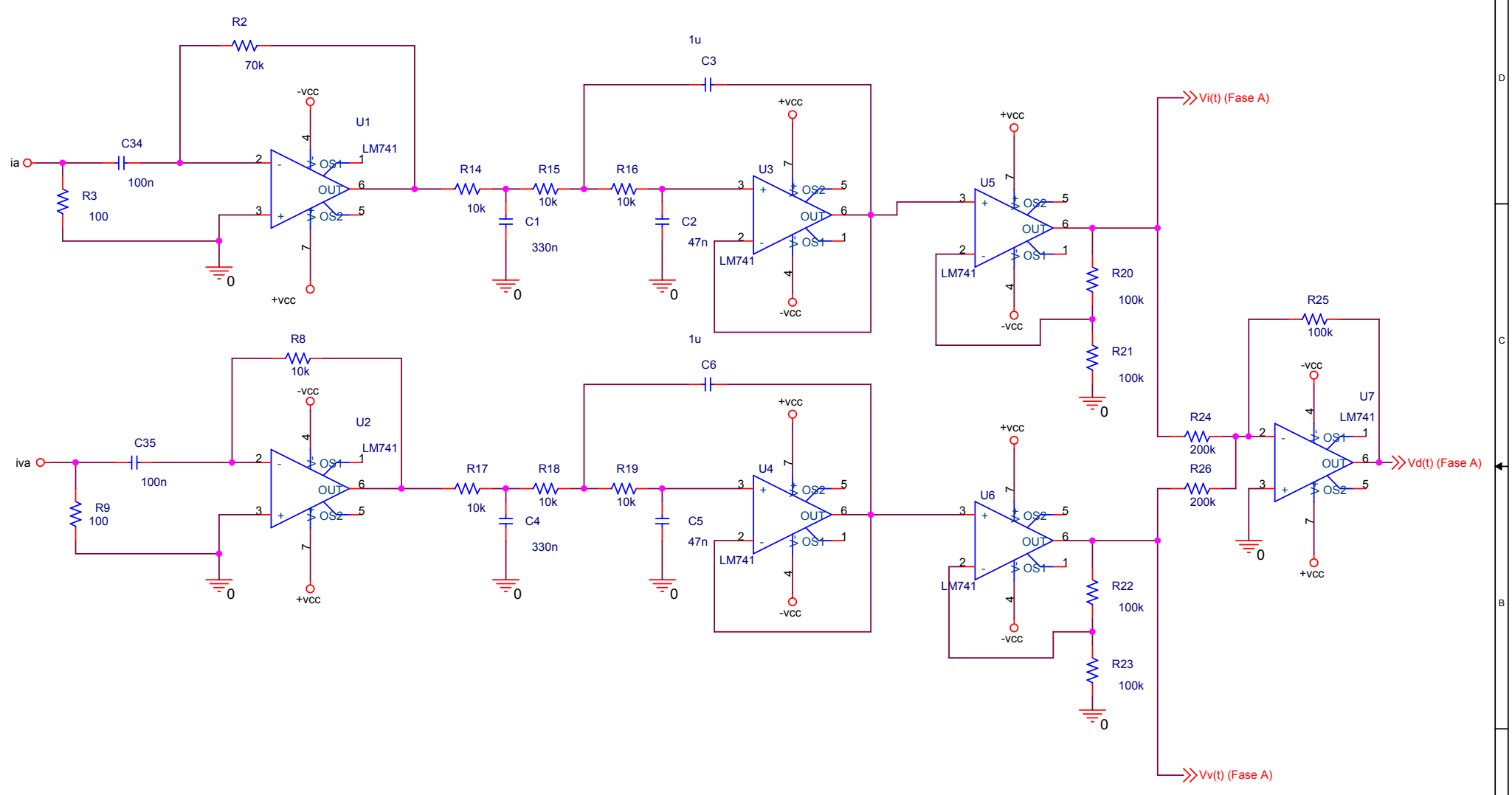
Esquema do Circuito Simulado no ORCAD (Páginas de A-1 a A-8)



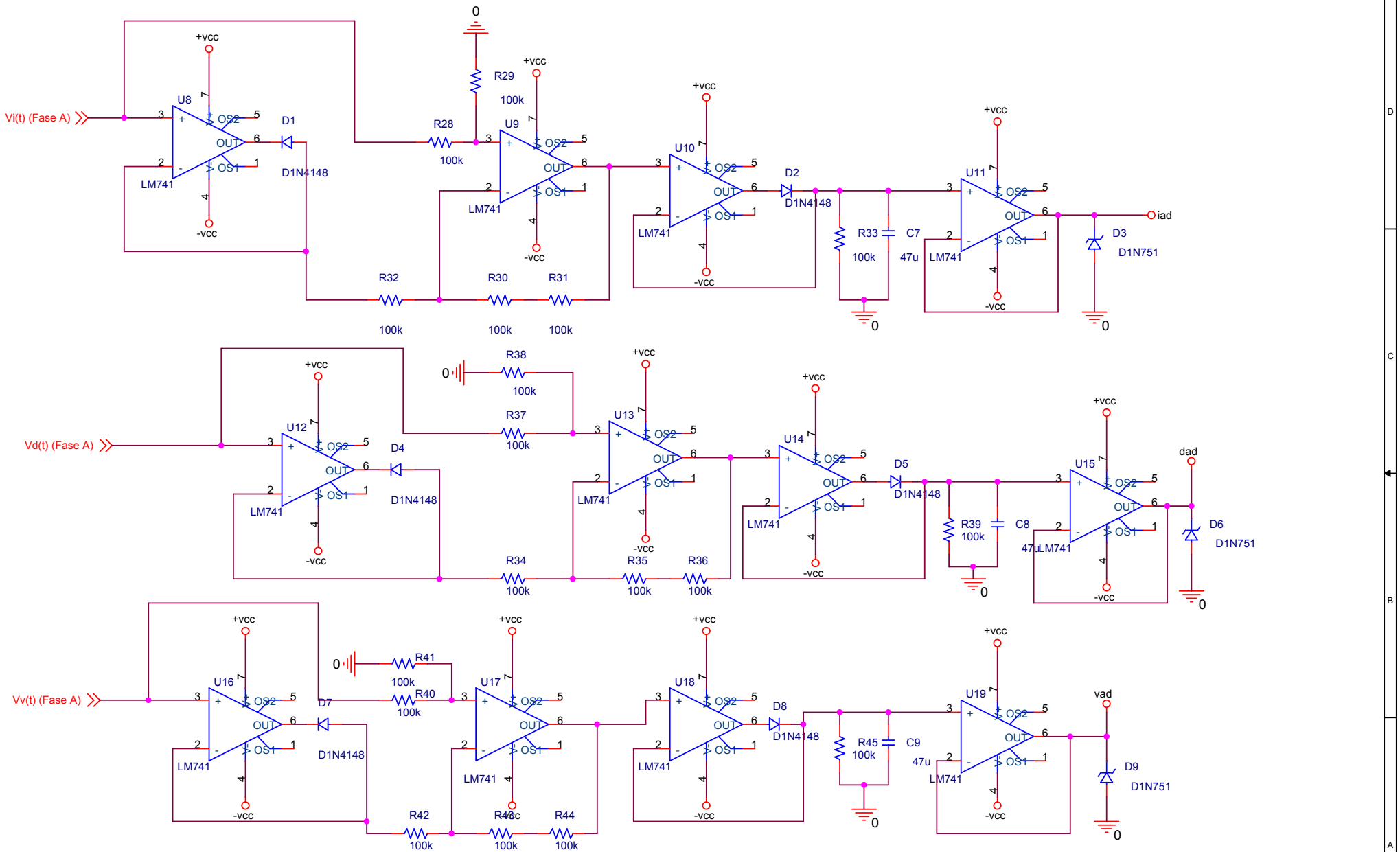
Carga conectada ao medidor



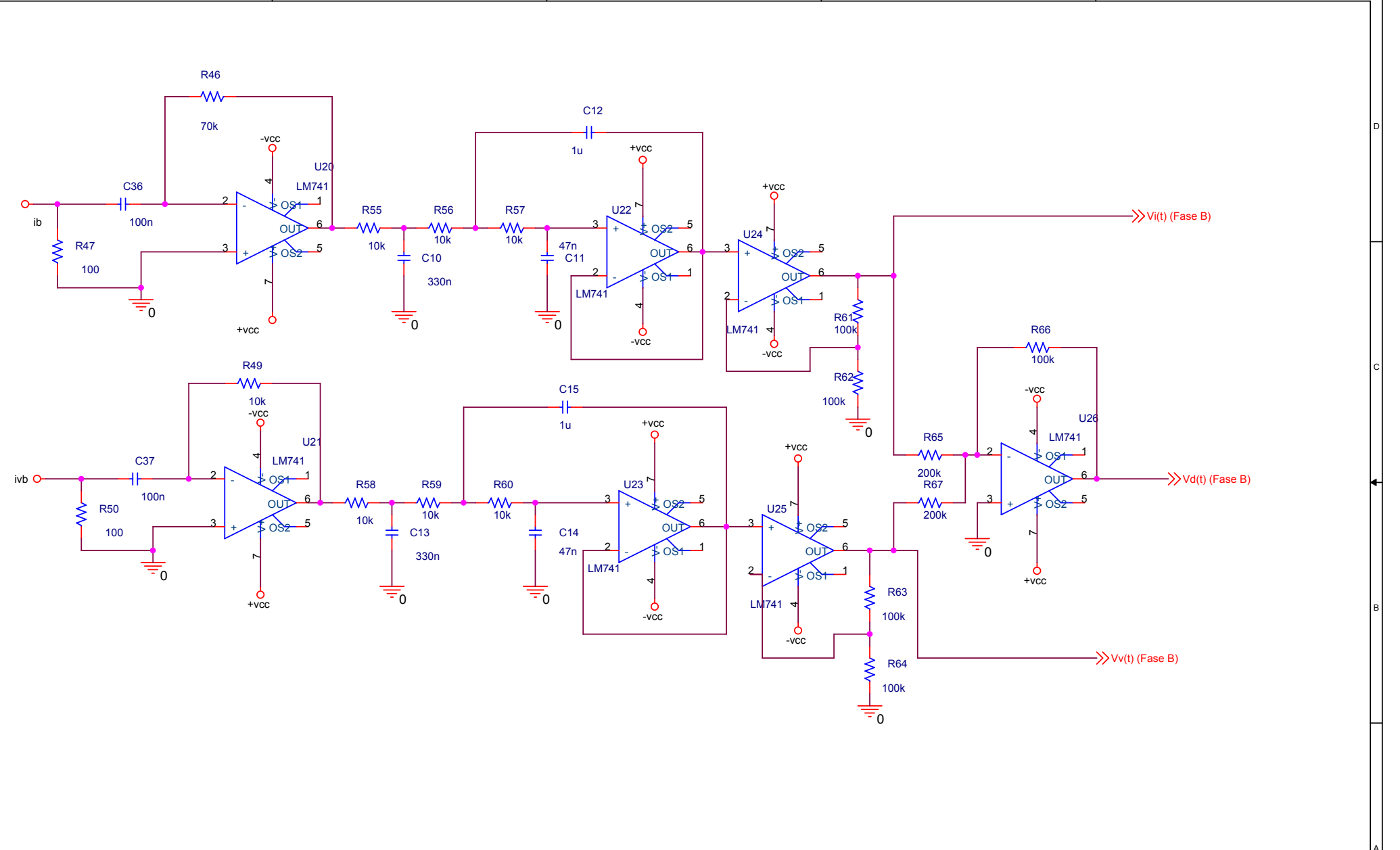
Title		
Alimentação, Tensão Trifásica, Sensores e Cargas		
Size A4	Document Number	Rev
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet 1 of 7



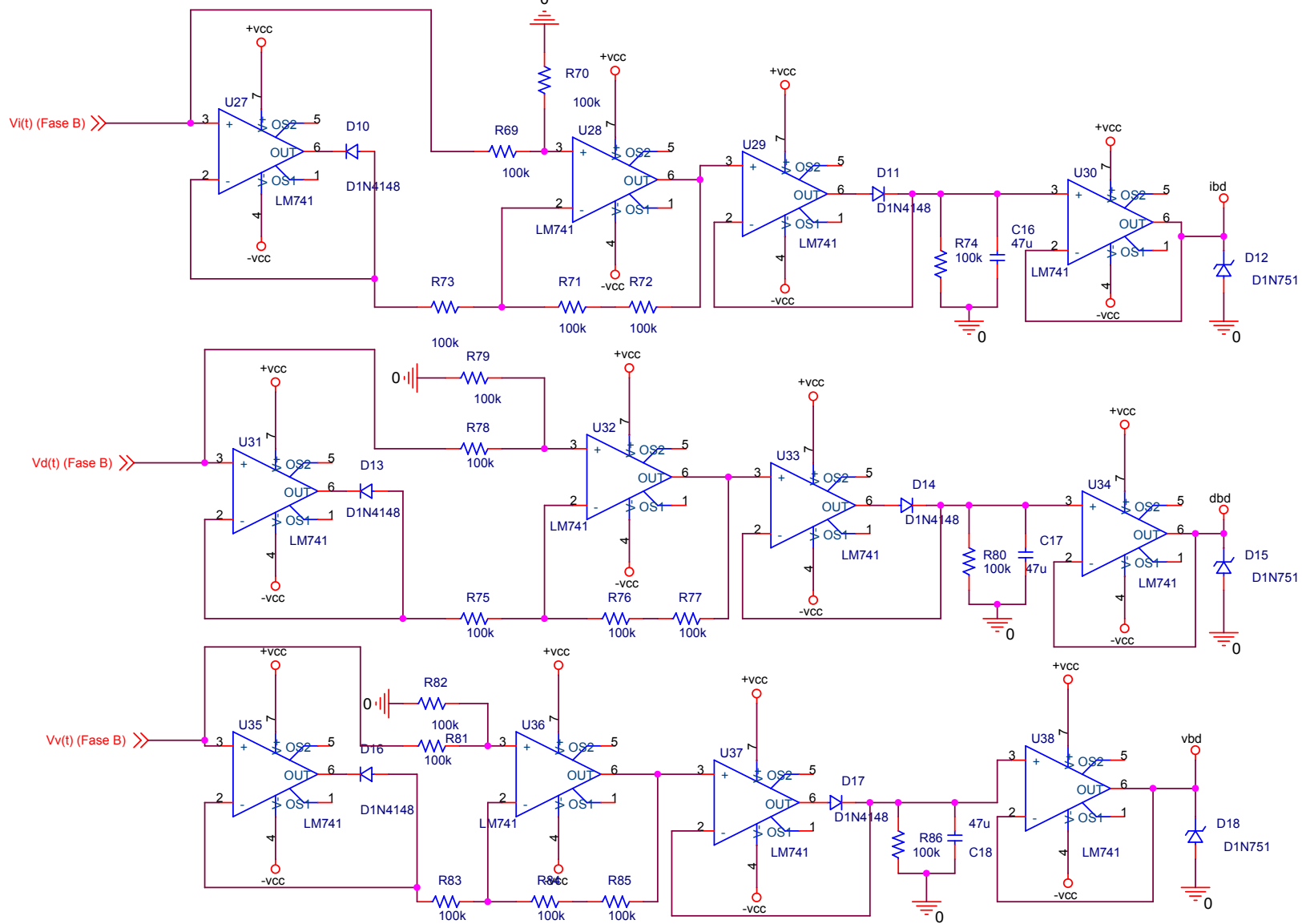
Title		
Entrada de Sinais, Filtros e Subtrator (Fase A)		
Size	Document Number	Rev
A4		
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet 2 of 7
		1



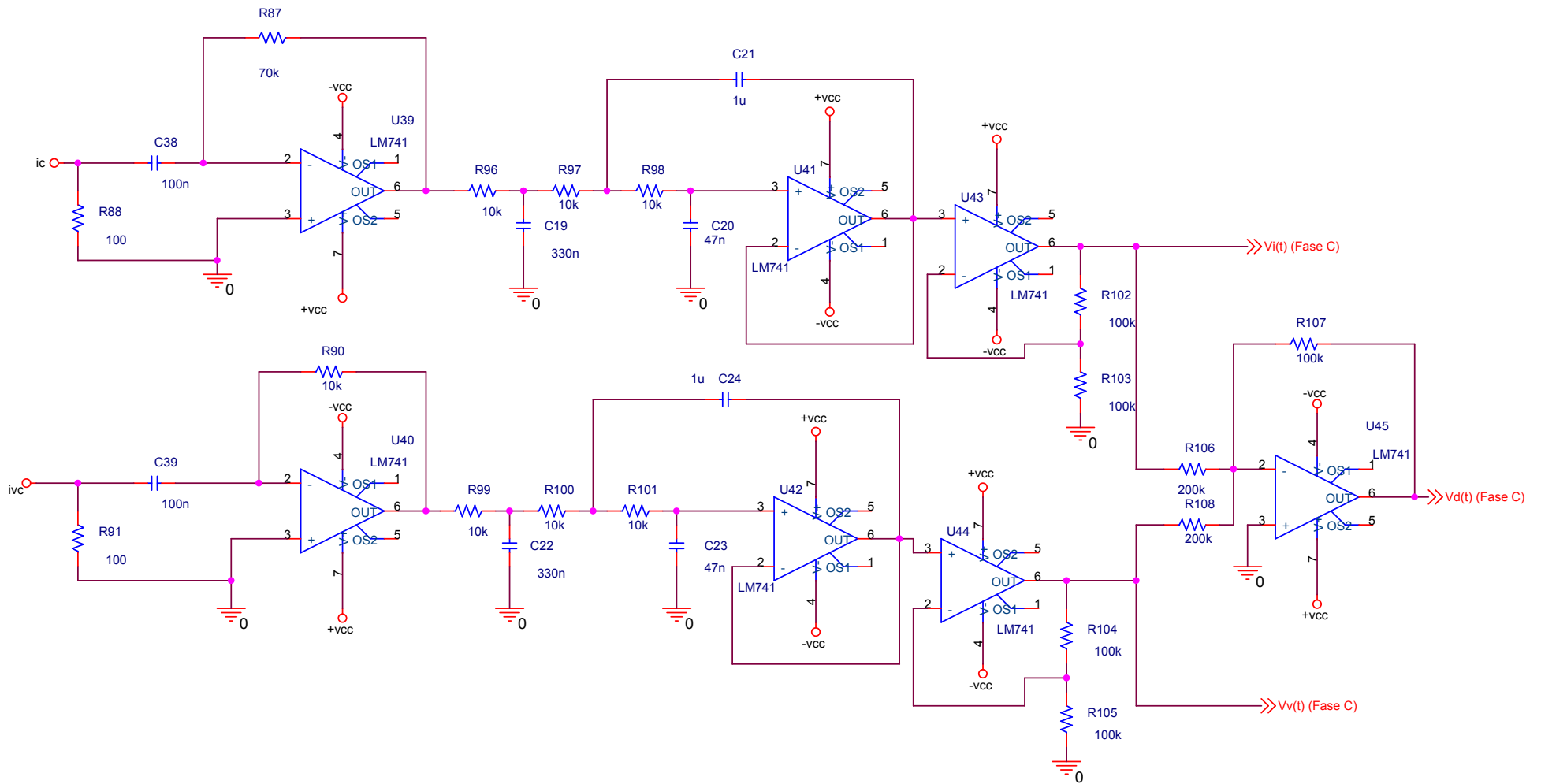
Title		Retificadores e Limitadores (Fase A)	
Size	A4	Document Number	Rev
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet	3 of 7



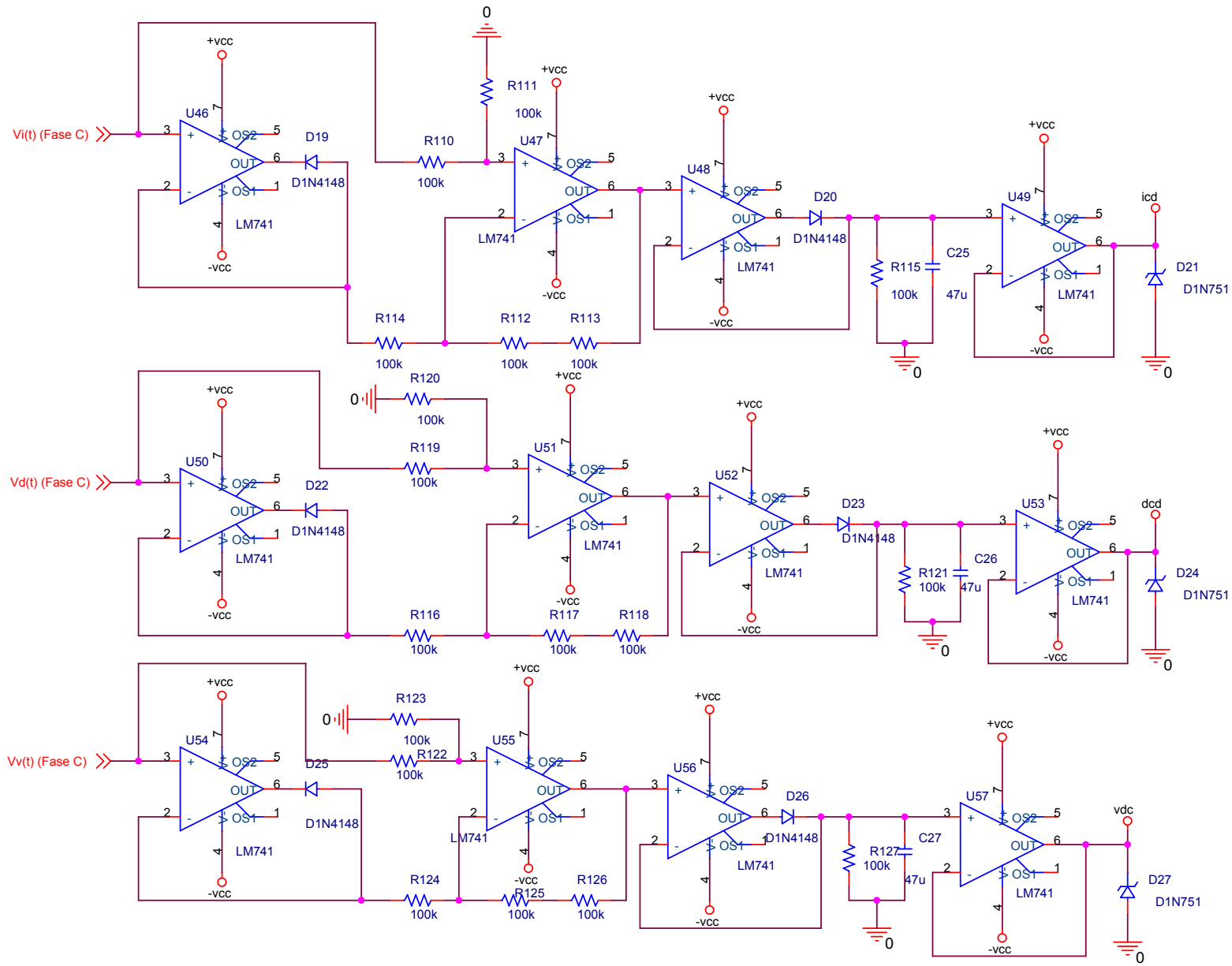
Title		Entrada de Sinais, Filtros e Subtrator (Fase B)	
Size	A4	Document Number	<Doc>
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet	4 of 7
		Rev	



Title		Retificadores e Limitadores (Fase B)	
Size	A4	Document Number	Rev
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet	5 of 7



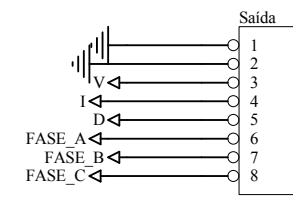
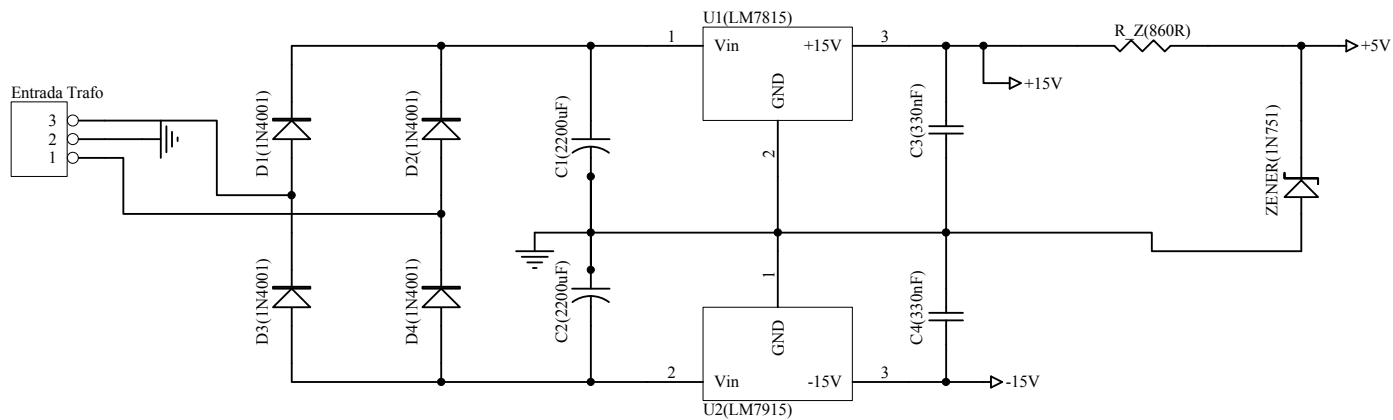
Title		
Sinais de Entrada, Filtros e Subtrator (Fase C)		
Size	Document Number	Rev
A4		
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet 6 of 7



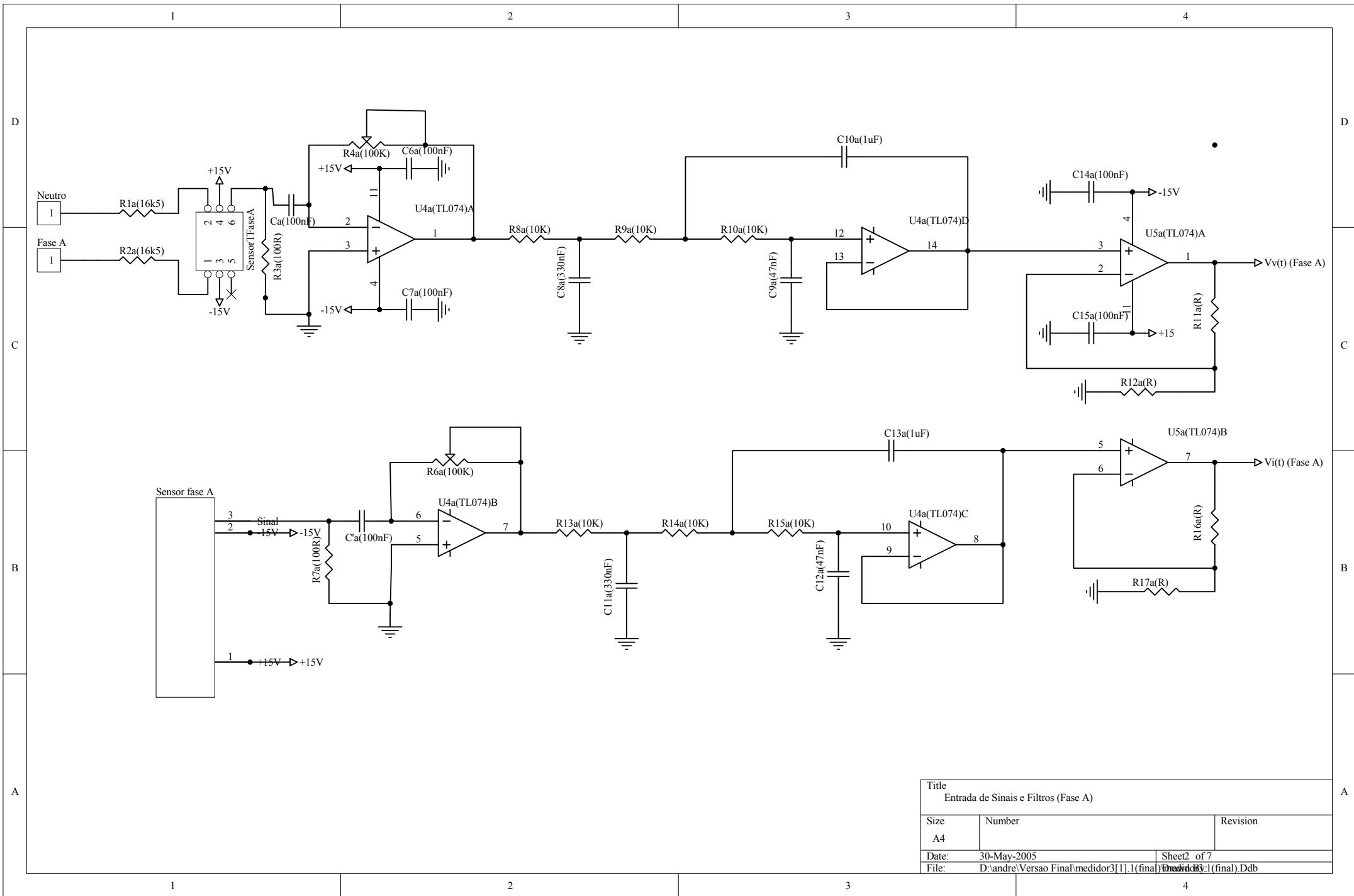
Title		Retificadores e Limitadores (Fase C)	
Size	A4	Document Number	Rev
Date:	Wednesday, May 18, 2005	Sheet	7 of 7

ANEXO B

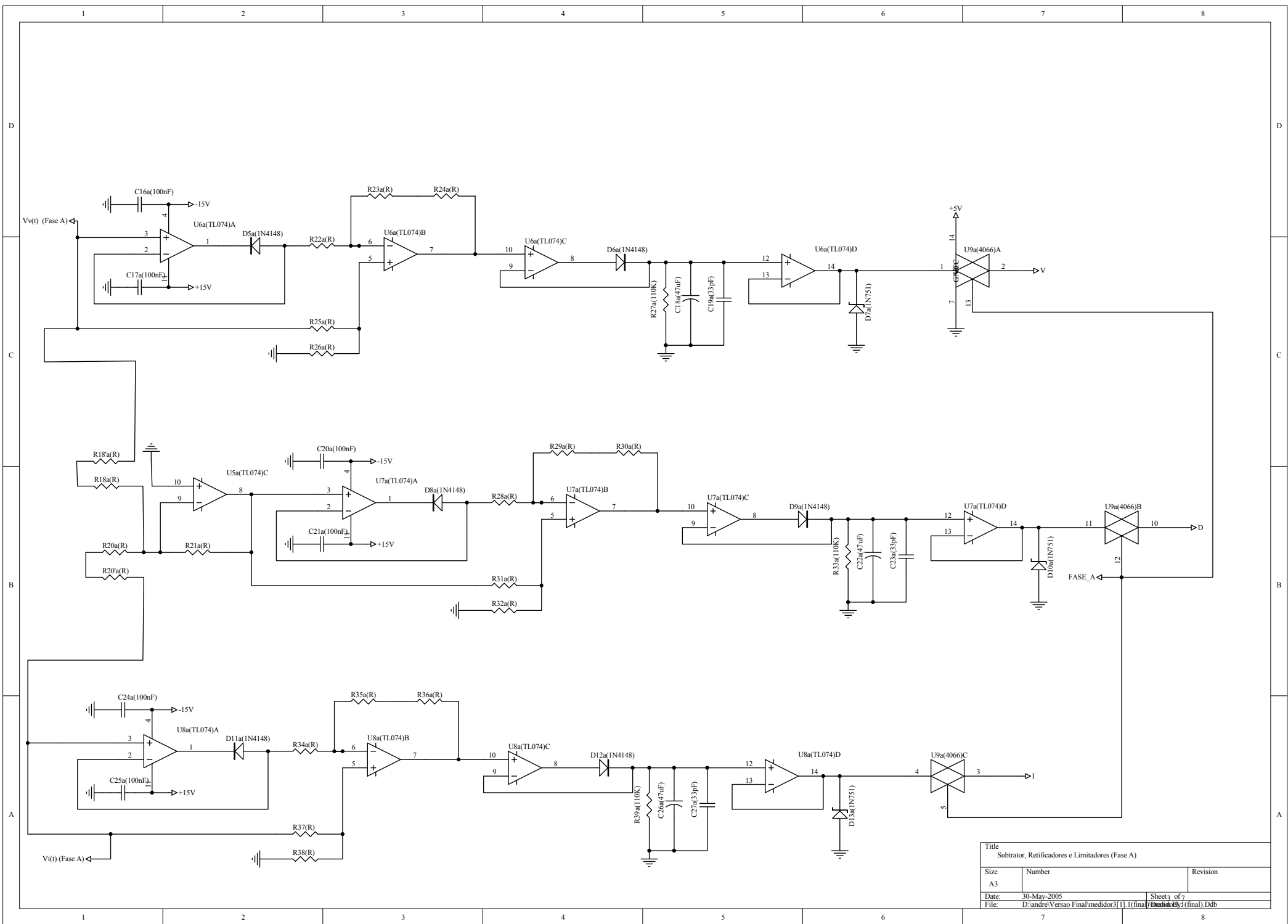
**Esquema do Circuito utilizado no Protótipo
(Páginas de B-1 a B-8)**



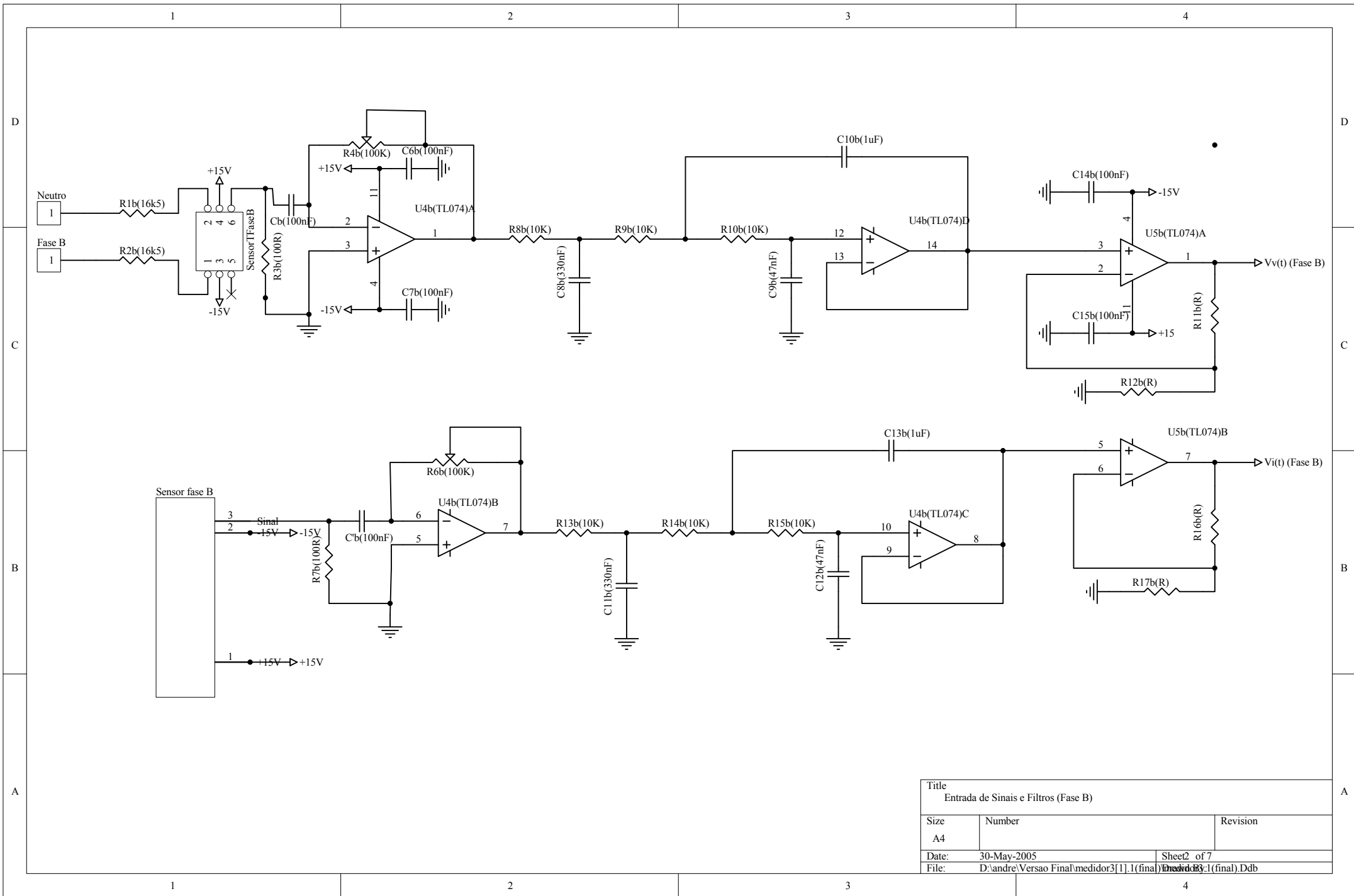
Title		
Alimentação e Saídas		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	30-May-2005	Sheet1 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3[1].1(final)\Inovdb3:1(final).Ddb	



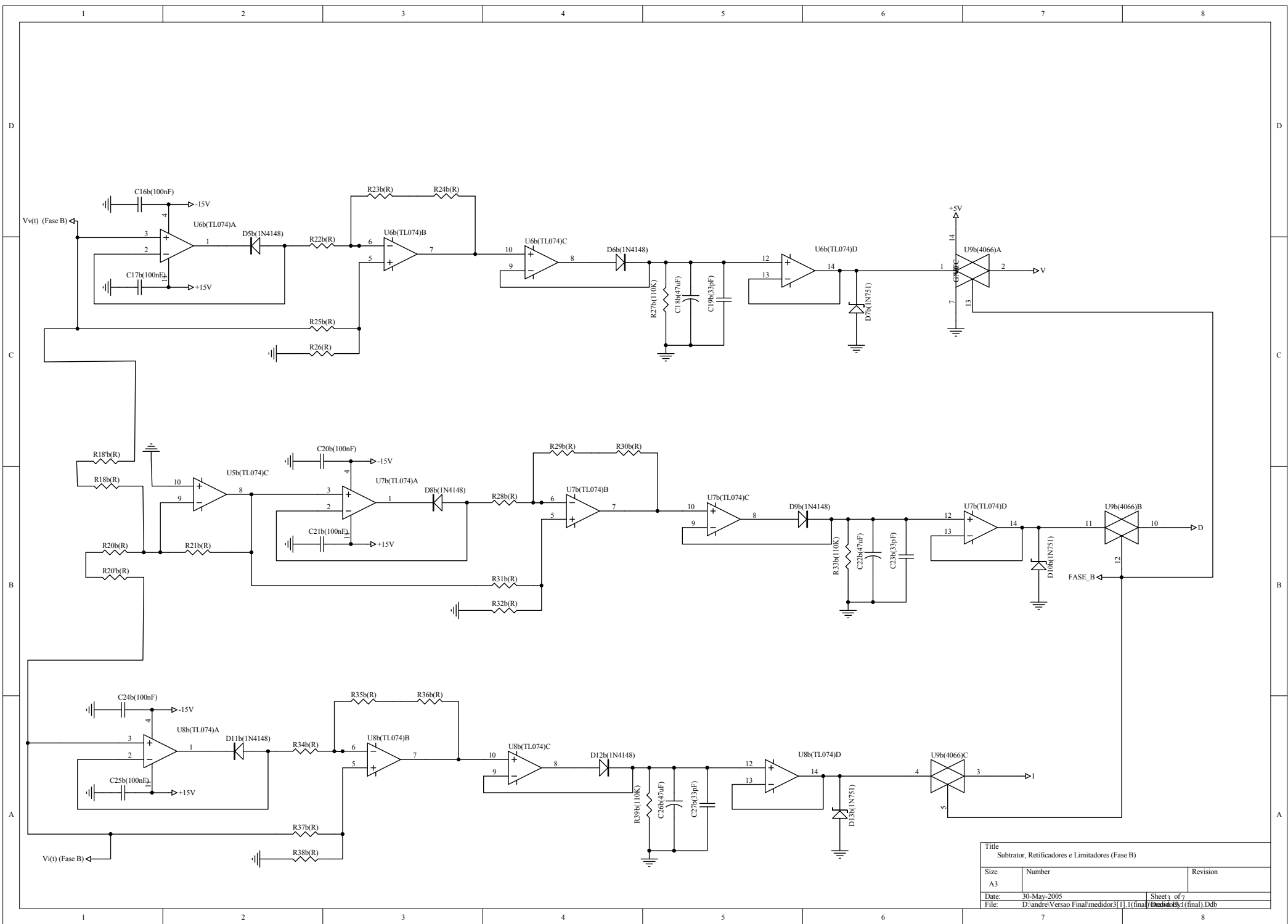
Title		
Entrada de Sinais e Filtros (Fase A)		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	30-May-2005	Sheet2 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3[1].1(final)db\medidor3:1(final).Ddb	



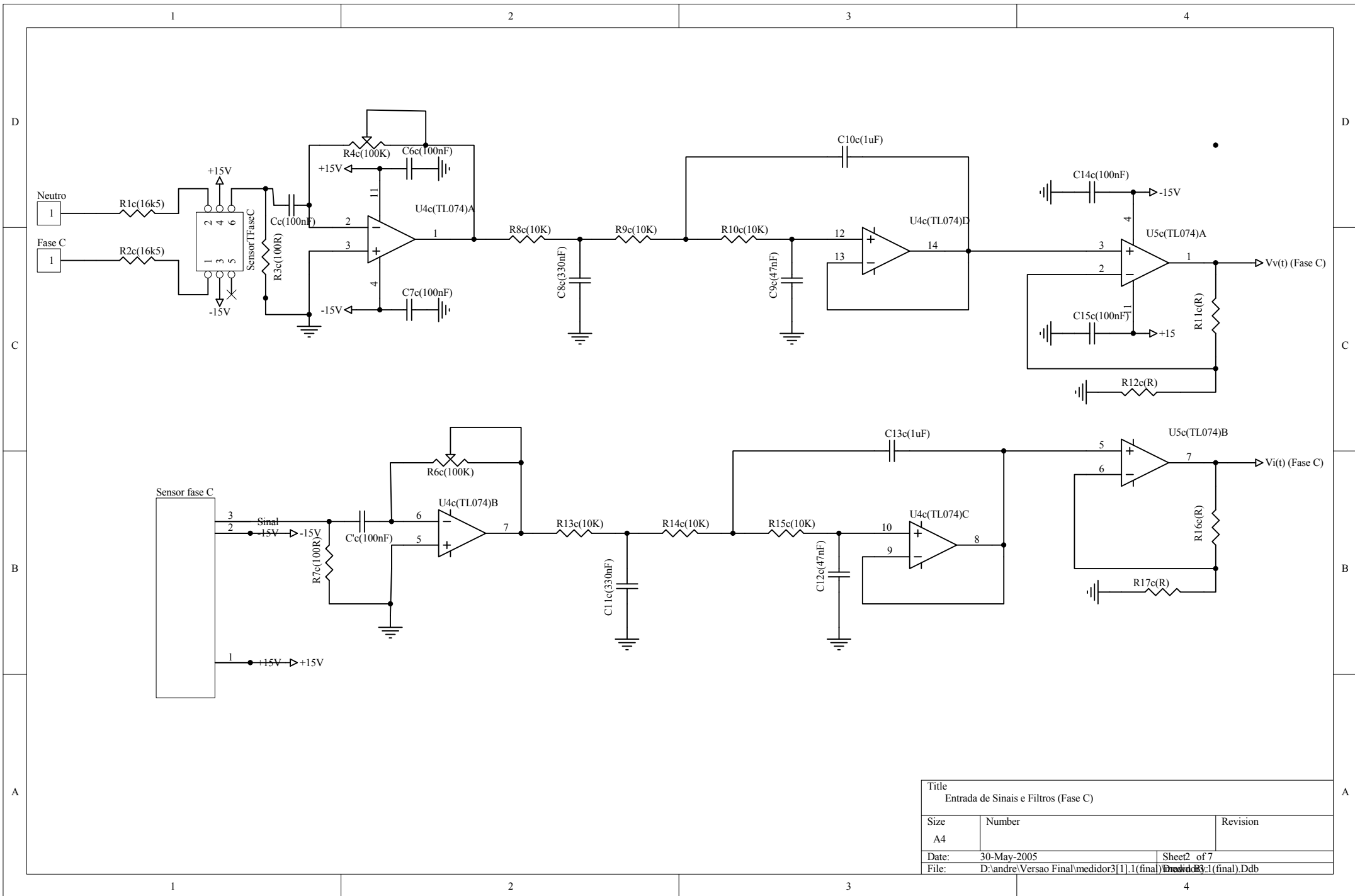
Title		
Subtrator, Retificadores e Limitadores (Fase A)		
Size	Number	Revision
A3		
Date	30-May-2005	Sheet 3 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3\1_1(final)\Databook_1(final).Ddb	



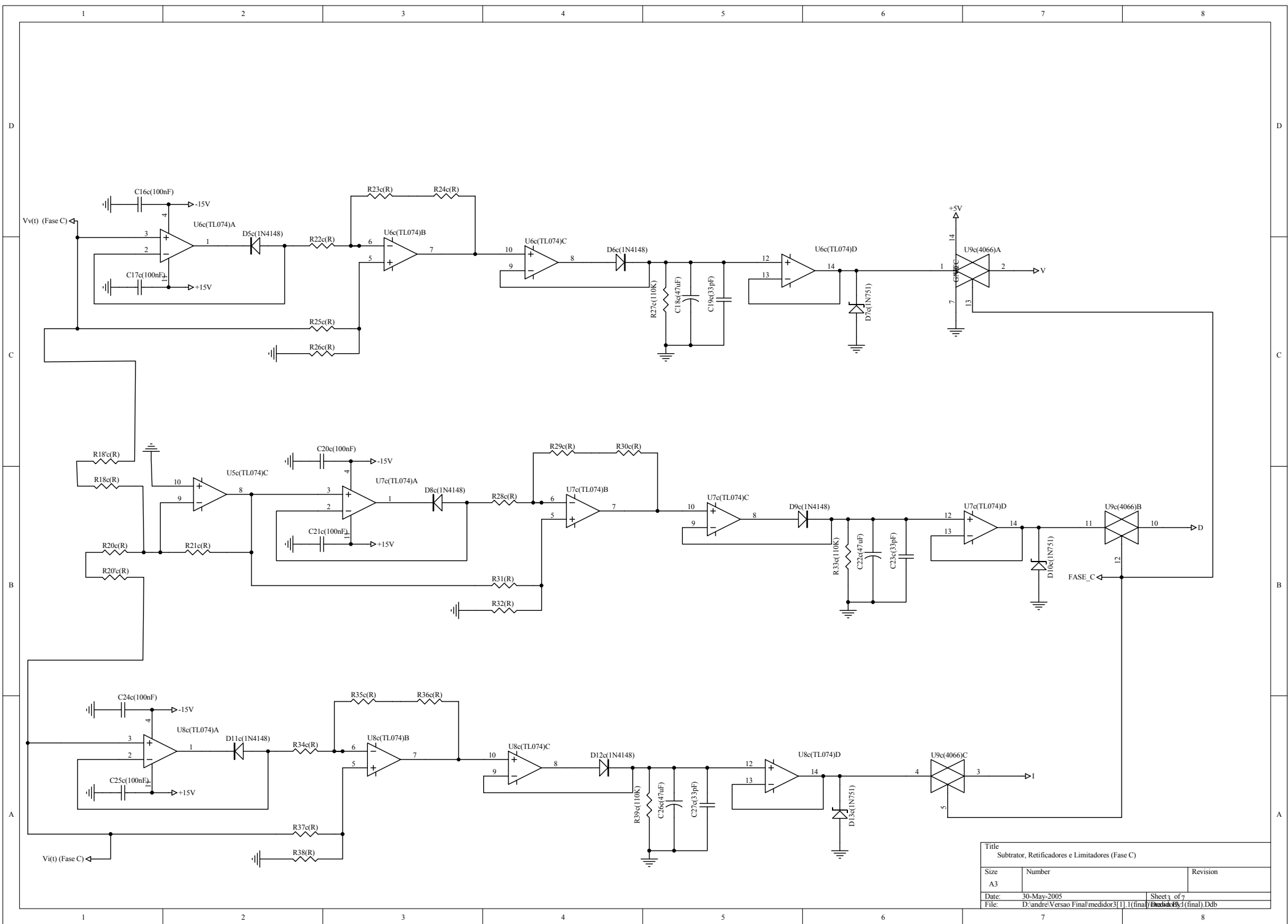
Title		
Entrada de Sinais e Filtros (Fase B)		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	30-May-2005	Sheet2 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3[1].1(final)inwv43:1(final).Ddb	



Title		
Subtrator, Retificadores e Limitadores (Fase B)		
Size	Number	Revision
A3		
Date	30-May-2005	Sheet 3 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3\1_1(final)\Databook_1(final).Ddb	



Title		
Entrada de Sinais e Filtros (Fase C)		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	30-May-2005	Sheet2 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3[1].1(final)inwvdb3:1(final).Ddb	



Title		
Subtrator, Retificadores e Limitadores (Fase C)		
Size	Number	Revision
A3		
Date	30-May-2005	Sheet 3 of 7
File:	D:\andre\Versao Final\medidor3\1.1(final)\Diagramas\1(final).Ddb	

ANEXO C

Software do Microcontrolador – PIC
(Páginas de C-1 a C-12)

```

//*****
//
//      Data logger
//
//
//
//*****

#include <16f877.h>
#define adc=8
#define delay(clock=4000000)
#define fuses HS,NOWDT,NOBROWNOUT,NOLVP
#define use_rs232(baud=19200, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)
#include <input.c>
#include <math.h>

// define os pinos de comunicação

#define scl pin_C3
#define sda pin_C4

// inclui a biblioteca I2C
#include <i2c.c>
#define use_fast_io(b) // PORTAS sobre meu controle
#define port_b 6
#define bit_start_stop port_b.0 // Push boton p/ o inicio e o fim da amostragem
#define bit_envia port_b.7 // Push boton p/ enviar dados p/ o micro
#define bit_gatilho port_b.5 // Bit de gatilho
#define priority rtcc,rb

//*****
//      Funções que permite gravar e ler dados de 16 bits na EEPROM
//*****

void WRITE_LONG_EEPROM(long int n, long int data)
{
    int i;
    for (i = 0; i < 4; i++)
        write_eeprom(i + n, *(&data + i) );
}

LONG INT READ_LONG__EEPROM(long int n)
{
    int i;
    long int data;
    for (i = 0; i < 4; i++)

```

```

        *(&data + i) = read_eeprom(i + n);
    return(data);
}

//*****
//
//          Variaveis
//*****

int canal0=0,canal1=0,canal3=0,wait=0,atual=1;
long int endereco_0=0,endereco_1=0,endereco_2=0; // Endereço nas EEPROMS
long int A=0,B=0,C=0;
int canal2=0,canal4=0,canal5=0;
long int endereco_3=0,endereco_4=0,endereco_5=0; // Endereço nas EEPROMS
long int D=0,E=0,F=0;
long int milesegundos=0;
long int va,vb,vc,ia,ib,ic,da,db,dc;
int tempo=0;
int inicio=0;
int segundos=0;
char tecla2;
int leitura=0,sign=0;
short bancos_cheios=0;
short stopped=0;

//*****
//
//          funções
//*****

void canal_0(int);
void canal_1(int);
void canal_2(int);
void le_canal0(void);
void le_canal1(void);
void le_canal2(void);
void menu_de_leitura(void);
void grava_enderecos(void);
void le_enderecos_na_eeprom(void);
void grava_tempo(void);
void le_tempo(void);
void apaga_memorias(void);
void stop(void);
void habilita1(void);
void habilita2(void);
void habilita3(void);

```

```

//*****
//                               Função principal
//*****

void main(void)
{
    setup_adc_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_spi(FALSE);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_256);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_ccp1(CCP_OFF);
    setup_ccp2(CCP_OFF);
    enable_interrupts(INT_EXT);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    ext_int_edge(L_TO_H);
    set_tris_b(0B10100001);
    OUTPUT_LOW(PIN_B2);
    OUTPUT_LOW(PIN_D1);
    sign=1;
    while(1)
    {
        if (envia==1)
        {
            delay_ms(200);
            menu_de_leitura();
        } // Envia o arquivo p/ o PC
        if((sign==1) && (inicio==1) && (bancos_cheios==0))
        {
            habilita1(); // Habilita leitura fase A
            set_adc_channel(0);
            delay_us(12);
            va=read_adc(); // Le tensao A
            set_adc_channel(1);
            delay_us(12);
            ia=read_adc(); // Le corrente A
            set_adc_channel(3);
            delay_us(12);
            da=read_adc(); // Le Diferença A
            habilita2(); // Habilita leitura fase B
            set_adc_channel(0);
            delay_us(12);
            vb=read_adc(); // Le tensao B
            set_adc_channel(1);
            delay_us(12);

```

```

    ib=read_adc(); // Le corrente B
    set_adc_channel(3);
    delay_us(12);
    db=read_adc(); // Le Diferença B
    habilita3(); // Habilita leitura fase C
    set_adc_channel(0);
    delay_us(12);
    vc=read_adc(); // Le tensao C
    set_adc_channel(1);
    delay_us(12);
    ic=read_adc(); // Le corrente C
    set_adc_channel(3);
    delay_us(12);
    dc=read_adc(); // Le Diferença C
    canal_0(va);
    canal_0(vb);
    canal_0(vc);
    canal_1(ia);
    canal_1(ib);
    canal_1(ic);
    canal_2(da);
    canal_2(db);
    canal_2(dc);
    sign = 0;
}
}
}

//*****
//          Le o canal 0 e armazena na EEPROM 0
//*****

void canal_0(int d)

{
    if (endereco_0==32768)
    {
        escreve_eeprom( 3,endereco_3,d);
        endereco_3++;
    }
    else
    {
        escreve_eeprom( 0,endereco_0,d);
        endereco_0++;
    }
    if(endereco_3==32768) // Se os bancos de memórias estiverem cheios
    {

```

```
    disable_interrupts(INT_RTCC);
    grava_enderecos(); // grava na eeprom interna os endereços
    grava_tempo();    // e o tempo de amostragem
    write_eeprom(190,1); // Grava na eeprom flag de bancos cheios
    bancos_cheios=1;  // seta flag p/ indicar bancos cheios
    output_high(PIN_D1); // acende LED correspondente
  }
}

//*****
//          Le o canal 1 e armazena na EEPROM 1
//*****

void canal_1(int d)
{
  if (endereco_1==32768)
  {
    escreve_eeprom( 4,endereco_4,d);
    endereco_4++;
  }
  else
  {
    escreve_eeprom( 1,endereco_1,d);
    endereco_1++;
  }
  if(endereco_4==32768) // Se os bancos de memórias estiverem cheios
  {
    disable_interrupts(INT_RTCC);
    grava_enderecos(); // grava na eeprom interna os endereços
    grava_tempo();    // e o tempo de amostragem
    write_eeprom(190,1); // Grava na eeprom flag de bancos cheios
    bancos_cheios=1;  // seta flag p/ indicar bancos cheios
    output_high(PIN_D1); // acende LED correspondente
  }
}

//*****
//          Le o canal 2 e armazena na EEPROM 2
//*****

void canal_2(int d)
{
  if (endereco_2==32768)
  {
    escreve_eeprom( 5,endereco_5,d);
    endereco_5++;
  }
}
```

```

else
{
    escreve_eeprom( 2,endereco_2,d);
    endereco_2++;
}
if(endereco_5==32768) // Se os bancos de memórias estiverem cheios
{
    disable_interrupts(INT_RTCC);
    grava_enderecos(); // grava na eeprom interna os endereços
    grava_tempo(); // e o tempo de amostragem
    write_eeprom(190,1); // Grava na eeprom flag de bancos cheios
    bancos_cheios=1; // seta flag p/ indicar bancos cheios
    output_high(PIN_D1); // acende LED correspondente
}
}

//*****
//          Tratamento da interrupção do timer1
//*****

#int_RTCC
RTCC_isr()
{
    tempo++;
    if(tempo==15) // p/ clock de 4 MHZ
    {
        tempo=0;
        segundos++;
        sign=1;
    }
}

//*****
//          M E N U S
//*****

void menu_de_leitura(void)
{
    le_enderecos_na_eeprom(); // Pega os enderecos que ficaram gravados nas EEPROM
    le_tempo(); // Pega o tempo de amostragem
    printf("\n\rDigite o 'I' p/ iniciar o Download dos dados (%d s) ",
segundos);
    tecla2 = toupper(getc());
    putc(tecla2);
    if (tecla2=='I')
    {
        le_canal0();
    }
}

```

```

    le_canal1();
    le_canal2();
}
}

//*****
//          Le a EEPROM 0 e envia pela porta serial
//*****

void le_canal0(void)
{
for(A=0;A<endereco_0;A++)
{
    leitura=le_eeprom(0,A);
    printf("\r\n0  %u",leitura);
    delay_ms(10);
}
if (endereco_0==32768)
{
for(D=0;D<endereco_3;D++)
{
    leitura=le_eeprom(3,D);
    printf("\r\n0  %u",leitura);
    delay_ms(10);
}
}
}

//*****
//          Le a EEPROM 2 e envia pela porta serial
//*****

void le_canal1(void)
{
for(B=0;B<endereco_1;B++)
{
    leitura=le_eeprom(1,B);
    printf("\r\n1  %u",leitura);
    delay_ms(10);
}
if (endereco_1==32768)
{
for(E=0;E<endereco_4;E++)
{
    leitura=le_eeprom(4,E);
    printf("\r\n1  %u",leitura);
    delay_ms(10);
}
}
}

```



```

    }
  }
}

//*****
//          Le a EEPROM 2 e envia pela porta serial
//*****

void le_canal2(void)
{
  for(C=0;C<endereco_2;C++)
  {
    leitura=le_eeprom(2,C);
    printf("\n\r2  %u",leitura);
    delay_ms(10);
  }
  if (endereco_2==32768)
  {
    for(F=0;F<endereco_5;F++)
    {
      leitura=le_eeprom(5,F);
      printf("\r\n2  %u",leitura);
      delay_ms(10);
    }
  }
}

//*****
//          grava os endereços onde foi paralizada a amostragem
//*****

void grava_enderecos(void)
{
  WRITE_LONG_EEPROM(0, endereco_0);
  WRITE_LONG_EEPROM(30, endereco_1);
  WRITE_LONG_EEPROM(60, endereco_2);
  WRITE_LONG_EEPROM(90, endereco_3);
  WRITE_LONG_EEPROM(120, endereco_4);
  WRITE_LONG_EEPROM(150, endereco_5);
}

//*****
//          Le endereços na EEPROM
//*****

void le_enderecos_na_eeprom(void)
{

```

```

endereco_0=READ_LONG_EEPROM(0);
endereco_1=READ_LONG_EEPROM(30);
endereco_2=READ_LONG_EEPROM(60);
endereco_3=READ_LONG_EEPROM(90);
endereco_4=READ_LONG_EEPROM(120);
endereco_5=READ_LONG_EEPROM(150);

}

//*****
// Função grava tempo
//*****

void grava_tempo(void)
{
    write_eeprom(170,segundos);
    write_eeprom(185,tempo);
}

//*****
// Função lê tempo
//*****

void le_tempo(void)
{
    segundos=read_eeprom(170);
    tempo=read_eeprom(185);
}

//*****
// Função que apaga as memorias
//*****

void apaga_memorias(void)
{
    bancos_cheios=0;
    endereco_0=0; // zera os enderços e o tempo
    endereco_1=0;
    endereco_2=0;
    tempo=0;
    segundos=0;
    grava_enderecos(); // Chama função que grava na EEPROM o endereço
    grava_tempo();
    stopped=0;
}

```

```

//*****
// Função de interrupção externa (botão vermelho)
//*****

#INT_EXT
void ext_isr()
{
    delay_ms(200); // P/ o repique do push-boton
    inicio++;
    output_high(PIN_B2);
    if(stopped==1) apaga_memorias();
    if(inicio==2) stop();
//    if(inicio==1) wait=gatilho;
}

//*****
//                Para a amostragem
//*****

void stop(void)
{
    disable_interrupts(INT_RTCC);
    OUTPUT_LOW(PIN_B2); // Apaga led que indica amostragem
    inicio=0;
    grava_enderecos(); // Chama função que grava na EEPROM o endereço
    grava_tempo();
    endereco_0=0; // zera os enderços e o tempo
    endereco_1=0;
    endereco_2=0;
    endereco_3=0;
    endereco_4=0;
    endereco_5=0;
    tempo=0;
    segundos=0;
    stopped=1;
    if (atual==1)
    {
        habilita2();
        atual=2;
    }
    else if (atual==2)
    {
        habilita3();
        atual=3;
    }
    else if (atual==3)
    {

```

```
    habilita1();
    atual=1;
}
}

//*****
// Função que habilita fase A
//*****
void habilita1(void)
{
output_high(PIN_A2);
output_low(PIN_A5);
output_low(PIN_E0);
}

//*****
// Função que habilita fase B
//*****
void habilita2(void)
{
output_low(PIN_A2);
output_high(PIN_A5);
output_low(PIN_E0);
}

//*****
// Função que habilita fase C
//*****
void habilita3(void)
{
output_low(PIN_A2);
output_low(PIN_A5);
output_high(PIN_E0);
}
```

ANEXO D

Software para o cálculo da potência ativa e da função demanda a partir dos resultados armazenados pelo PIC em memória específica

(Páginas de D-1 a D-5)

ANEXO D – Software para o cálculo da potência ativa e da função demanda a partir dos resultados armazenados pelo PIC em memória específica

```
function arqs
%Função que trata dados do medidor
%=====
disp('    <====> PROGRAMA QUE TRATA ARQUIVOS GERADOS PELO MEDIDOR <====>');
disp('    ');
%Pega o diretório onde está o arquivo
pat = input('Digite o diretório em que se encontram os arquivos(não
termine com \\) :');
%Pega o diretório onde está o arquivo
%mnt = input('Digite número de minutos de medição :');
%Pega o fundo de escala de tensão (valor ajustado nos potenciômetros)
vfs = input('Digite o fundo de escala de tensão :');
%Pega o fundo de escala de corrente (valor ajustado nos potenciômetros)
ifs = input('Digite o fundo de escala de corrente :');
%Abre arquivo
[fid,m] = fopen(pat,'r');
%Lê Arquivo
[a,count]=fscanf(fid,'%c',3000000);
%Fecha arquivos
st=fclose('all');
%Separa cabeçalho de dados
[t,r]=strtok(a,'I');
[t,r]=strtok(r,'0');
%Transforma string em lista de números reais
str = sscanf(r,'%f');
%Separa os canais de tensão, corrente e soma
iv=1;
ii=1;
is=1;
for j=1:2:length(str)
    if (str(j)==0),
        v(iv)= str(j+1);
        iv=iv+1;
    elseif (str(j)==1),
        i(ii) = str(j+1);
        ii=ii+1;
    else
        s(is) = str(j+1);
        is=is+1;
    end
end
%Faz com que o tamanho de todas as listas sejam multiplos de 3 (3 fases)
for j=1:(3*floor(length(s)/3)),
    vv(j) = v(j);
    ii(j) = i(j);
    ss(j) = s(j);
end
%Separa as fases em cada canal
for j=1:(length(vv)/3),
    va(j)=vv(3*(j-1)+1);
    vb(j)=vv(3*(j-1)+2);
    vc(j)=vv(3*(j-1)+3);
    ia(j)=ii(3*(j-1)+1);
    ib(j)=ii(3*(j-1)+2);
    ic(j)=ii(3*(j-1)+3);
    sa(j)=ss(3*(j-1)+1);
    sb(j)=ss(3*(j-1)+2);
```

ANEXO D – Software para o cálculo da potência ativa e da função demanda a partir dos resultados armazenados pelo PIC em memória específica

```
sc(j)=ss(3*(j-1)+3);
end
%Calcula o valor real da tensão
var=va.*vfs./256;
vbr=vb.*vfs./256;
vcr=vc.*vfs./256;
%Calcula o valor real da corrente
iar=(ia).*ifs./256;
ibr=(ib).*ifs./256;
icr=(ic).*(ifs)./256;
%Calcula a potência em cada fase e a potência total
for j=1:length(va),
    pa(j)=(vfs*ifs/65536)*calculafp(va(j),ia(j),sa(j),0);
    pb(j)=(vfs*ifs/65536)*calculafp(vb(j),ib(j),sb(j),0);
    pc(j)=(vfs*ifs/65536)*calculafp(vc(j),ic(j),sc(j),0);
    p(j)=pa(j)+pb(j)+pc(j);
end
%passo de integração
h = 0.9830;
%minutos para o calculo da demanda
mnt = 15;
%numero de amostras para cada demanda
smp = floor(mnt*60/h);
%Define intervalo em segundos para calculo de demanda (15 minutos * 60
segundos)
interval = floor(length(p)/smp);%915
%Calcula a demanda
if (interval~=0),
    for j=0:(interval-1),
        d(j+1) = integra(p,((j*smp)),((j+1)*smp),h)/(smp*h);
    end
else
    d=0;
end
%Define lista que representa o tempo de amostragem (em segundos)
t=0:h:((length(p)-1)*h);
%Início da plotagem dos resultados
plot(t,iar,'o-');
title('Gráfico : Ia x t(s)');
axis([0 (length(iar)-1)*h 0 (max(iar)+1)]);
grid;
mn=figure;
plot(t,ibr,'o-');
title('Gráfico : Ib x t(s)');
axis([0 (length(ibr)-1)*h 0 (max(ibr)+1)]);
grid;
nm=figure;
plot(t,icr,'o-');
title('Gráfico : Ic x t(s)');
axis([0 (length(icr)-1)*h 0 (max(icr)+1)]);
grid;
oo=figure;
plot(t,var,'o-');
title('Gráfico : Va x t(s)');
axis([0 (length(var)-1)*h 0 (max(var)+100)]);
grid;
mm=figure;
```

ANEXO D – Software para o cálculo da potência ativa e da função demanda a partir dos resultados armazenados pelo PIC em memória específica

```
plot(t,vbr,'o-');
title('Gráfico : Vb x t(s)');
axis([0 (length(vbr)-1)*h 0 (max(vbr)+100)]);
grid;
nn=figure;
plot(t,vcr,'o-');
title('Gráfico : Vc x t(s)');
axis([0 (length(vcr)-1)*h 0 (max(vcr)+100)]);
grid;
o=figure;
plot(t,pa,'o-');
title('Gráfico : Pa x t(s)');
axis([0 (length(pa)-1)*h 0 (max(pa)+100)]);
grid;
m=figure;
plot(t,pb,'o-');
title('Gráfico : Pb x t(s)');
axis([0 (length(pb)-1)*h 0 (max(pb)+100)]);
grid;
n=figure;
plot(t,pc,'o-');
title('Gráfico : Pc x t(s)');
axis([0 (length(pc)-1)*h 0 (max(pc)+100)]);
grid;
na=figure;
plot(t,p,'o-');
title('Gráfico : P x t(s)');
axis([0 (length(p)-1)*h 0 (max(p)+300)]);
grid;
nd=figure;
bar(d);
title(['Gráfico : Demanda x t(' int2str(mnt) ' min)']);
```

%Função que calcula o fator de potência com base nas fórmulas da soma ou da diferença

```
function aux = calculafp(v,i,s,op)
if ((v==0|i==0)),
    aux=1;%Para evitar divisão por zero
elseif (op==1),
    ax = (((2*s)^2)-(v^2)-(i^2))/(2);
    if (ax<=0),
        aux=-ax;
    else
        aux=ax;
    end
else
    ax=((v^2)+(i^2)-((2*s)^2))/(2);
    if (ax<=0),
        aux=0;
    else
        aux=ax;
    end
end
```

%Função que integra a lista durante um intervalo

```
function aux = integra(p,inicio,fim,h)
```


ANEXO D – Software para o cálculo da potência ativa e da função demanda a partir dos resultados armazenados pelo PIC em memória específica

```
a = 0;  
for j=(inicio+2):(fim-1),  
    a=a+((p(j)+p(j-1))/2)*h);  
end  
aux=a;
```

ANEXO E

Lista de Materiais e Datasheets (Páginas de E-1 a E-18)

Lista Material Para placa condicionadora de sinais

Numero	Descrição
1	Transformador 1W 220/110 - +15/-15 com TAP central
4	Diodos 1N4001
1	LM7815
1	LM7915
2	Capacitores Eletrolíticos 2200uF 25V
8	Capacitores de Poliéster 330nF
10	Diodos Zener 1N751
6	Resistores de 3W 16.5k Ω
6	Potenciômetros 200k Ω
30	Capacitores Cerâmicos de 100nF
6	Capacitores de Poliéster de 100nF
6	Capacitores de Poliéster de 47nF
6	Capacitores de Poliéster de 1uF
90	Resistores de precisão de 10k Ω
18	Diodos 1N4148
9	Resistores de precisão de 100k Ω
6	Resistores de 100 Ω
1	Resistor de 860 Ω
9	Capacitores Eletrolíticos de 47uF 25V
9	Capacitores cerâmicos de 33pF
15	TL074
9	CMOS 4066

Lista de Datasheets

Datasheet	Página
Placa de Aquisição CIO-DAS16 (Especificações) *	E-3
Placa de Expansão CIO-SSH16 (Especificações) *	E-7
Microcontrolador PIC 16F877 **	E-10
Memória EEPROM I2C 24LC256 **	E-11
Chave Analógica CMOS 4066 ***	E-12
Regulador de tensão positiva LM7815 ***	E-13
Regulador de tensão negativa LM7915 ***	E-14
Amplificador Operacional TL074 Δ	E-15
Sensor de Efeito Hall de Corrente SECOHR 25 CI $\Delta\Delta$	E-16
Sensor de Efeito Hall de Tensão LV25-P $\Delta\Delta\Delta$	E-17

* Retirado de www.measurementcomputing.com

** Retirado de www.microchip.com

*** Retirado de www.national.com

Δ Retirado de www.ti.com

$\Delta\Delta$ Retirado de www.secon.com.br

$\Delta\Delta\Delta$ Retirado de www.lem.com

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)