

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA COM ÊNFASE EM ELETRÔNICA E  
TELECOMUNICAÇÕES

ALESSANDRI LEONI  
CARINA BARBOSA  
MARLON DEMICHEI

**CARQUAD – CARACTERIZADOR DE QUADRIPOLO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2011

ALESSANDRI LEONI  
CARINA BARBOSA  
MARLON DEMICHEI

## **CARQUAD – CARACTERIZADOR DE QUADRIPOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso 2, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em eletrônica/telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof.Dr. Joaquim Miguel Maia

CURITIBA  
2011

ALESSANDRI LEONI  
CARINA BARBOSA  
MARLON DEMICHEI

## **CARQUAD: CARACTERIZADOR DE QUADRIPOLO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Industrial Eletricista com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, de de 2011

---

Prof. Dr. Hilton José Silva Azevedo  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Ph.D Dario Eduardo Amaral Dergint

---

Prof. Dr. Joaquim Miguel Maia  
Orientador

---

Prof. Dr. Fernando Cardoso Castaldo

## **AGRADECIMENTOS**

Aos nossos familiares e amigos pela compreensão e apoio na realização das atividades do projeto de conclusão de curso.

## RESUMO

LEONI, Alessandri. BARBOSA, Carina. DEMICHEI, Marlon. CARQUAD – CARACTERIZADOR DE QUADRIPOLO. 2011 170 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento do CarQuad, um kit didático capaz de obter a resposta em frequência, impedância de entrada e saída e outros parâmetros de circuitos comuns na engenharia elétrica. Esses parâmetros são utilizados para avaliar o comportamento dos circuitos para uma determinada faixa de frequências. Normalmente os dados são levantados manualmente, procedimento que é demorado e pouco preciso. A princípio, para o desenvolvimento do kit, foram levantadas questões relacionadas à geração dos sinais a serem aplicados ao circuito sob análise em diferentes frequências e de como transformar as medições feitas nesse circuito em valores de ganho, fase e impedância. Para tanto, foi projetado em termos de hardware uma placa principal englobando todas essas questões. Os resultados das medições, oriundos do hardware projetado, são enviados para uma unidade processadora, a placa eAT55 da eSysTech, na qual são convertidos em valores equivalentes de amplitude e defasagem. Esses valores seguem para um PC via comunicação serial e são salvos em um arquivo. Posteriormente, foi desenvolvido um software, em *Visual Basic* para o Excel, o qual carrega o arquivo e gera de forma automática as planilhas com as informações obtidas do circuito e com os cálculos adicionais de ganho, fase e impedância. A partir do software são construídas as curvas de resposta em frequência do circuito. Como proposto no projeto do CarQuad, foi desenvolvida uma ISHM via um display gráfico *touch screen*. Para integrar esse dispositivo ao kit foi necessário projetar e montar uma placa com o controlador *touch screen* e outros controles do *display* e uma placa para interfacear o *display* com a eAT55. Por fim, visualizou-se a necessidade de incluir no kit circuitos que servissem para demonstração do seu funcionamento. Foram definidos e projetados 8 circuitos de teste e montados em placas de circuito impresso fazendo parte do kit. Verificou-se que numa avaliação prática desses circuitos, tal qual é feito em laboratório, levou-se o tempo médio de 3 horas e meia na medição de cada circuito, considerando-se uma média de 40 pontos levantados. Já com o sistema de medição criado com o CarQuad obteve-se uma duração média da análise de aproximadamente 25 minutos com a avaliação de 100 pontos para cada circuito. Numa comparação, da resposta de ganho esperada com a obtida na prática, foi calculado o erro do ganho para os circuitos de teste com componentes ativos e chegou-se a um valor máximo aproximado de 8 %. Enquanto que para os circuitos passivos obteve-se um erro do ganho máximo de 33% com relação ao valor esperado. Na análise em frequência existem diversos fatores que influenciam o comportamento dos circuitos, tais como erros existentes nos componentes utilizados, na forma da montagem dos circuitos, por influências do ambiente entre outros. Sendo assim, pode-se verificar, no desenvolvimento do CarQuad, a complexidade que envolve a avaliação e a medição dos parâmetros de circuitos na frequência, como as próprias limitações impostas pelos circuitos e o quanto isso não é trivial de ser solucionado.

**Palavras-chave:** Resposta em frequência. Geração de sinais. Interface ISHM. Quadripolo. Microprocessamento.

## ABSTRACT

LEONI, Alessandri. BARBOSA, Carina. DEMICHEI, Marlon. CARQUAD – QUADRUPOLE CHARACTERIZER. 2011 170 p. Trabalho de Conclusão de Curso ( Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

This paper presents the development of CarQuad, a teaching kit able to obtain the frequency response, input and output impedance and other common parameters in electrical engineering. These parameters are used to evaluate the behavior of circuits for a given frequency range. Usually the data are collected manually, a procedure that is time consuming and inaccurate. At first, to develop the kit, a few questions were raised related to the generation of signals to be applied to the circuit under analysis at different frequencies and how to transform the measurements made in this circuit into values of gain, phase and impedance. Thus, it was designed in terms of hardware a motherboard addressing all these issues. The results of the measurements from the designed hardware are sent to a processing unit, the board eAT55 from eSysTech, in which they are converted into equivalent values of amplitude and delay. These values are then sent to a PC via serial communication and are saved in a file. Subsequently, a software was developed in Visual Basic for Excel, which loads the file and automatically generates the spreadsheet with the information obtained from the circuit and further calculations of gain, phase and impedance. The software also builds the curves of frequency response of the circuit. As proposed in CarQuad's project, an ISHM was developed through a touch screen graphical display. To integrate this device to the kit was necessary to design and assemble a board with the touch screen controller and other display controls and a board to interface the display with eAT55. Finally, a need to include in the kit circuits that serve to demonstrate its operation appeared. Eight test circuits have been defined, designed and mounted on printed circuit boards as part of the kit. It was verified at a practical assessment of these circuits, as it is done in the laboratory, that it takes the average time of 3 hours and a half to measure each circuit, considering an average of 40 measurement points. On the other hand, with the measuring system created with the CarQuad, it was obtained an analysis average time of 25 minutes to each circuit with the assessment of 100 points. In a comparison of the expected gain response and the one obtained in practice it was calculated a gain error for the test circuits with active components, and it reached a maximum of approximately 8%. For the passive circuits the gain error reached the maximum value of 33% compared to the expected value. In frequency analysis there are several factors that can influence the behavior of circuits, such as errors in the used components, in the assembly process of the circuits, environmental influences among others. Thus, it was possible to see, in the development of CarQuad, the complexity involved in the evaluation and measurement of parameters in the frequency circuits, the limitations imposed by the circuits themselves and how much it is not trivial to solve.

**Keywords:** Frequency response. Signal generation. Interface ISHM. Quadrupole. Microprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama em blocos geral do CarQuad.....	26
Figura 2 : Diagrama de blocos da eAT55.....	28
Figura 3: Kit utilizado da eSysTech.....	29
Figura 4: Vista ampliada da placa eAT55.....	29
Figura 5: pinagem do conector X7 para o LCD na placa eAT55.....	29
Figura 6: Ilustração do display gráfico utilizado no projeto.....	31
Figura 7: Diagrama interno do controlador da matriz gráfica T6963C.....	32
Figura 8: Pinagem do controlador da matriz gráfica do LCD.....	32
Figura 9: Descrição de alguns dos pinos do CI T6963C.....	33
Figura 10: Descrição do restante dos pinos do CI T6963C.....	33
Figura 11: Placa de interface entre <i>display</i> gráfico e a <i>evaluation board</i> eAT55.....	34
Figura 12: Pinagem do controlador <i>touch screen</i> .....	35
Figura 13: Diagrama interno do controlador ADS7846.....	36
Figura 14: Descrição dos pinos.....	36
Figura 15: Placa controladora <i>touch screen</i> com ADS7846.....	36
Figura 16: Operação básica do controlador.....	37
Figura 17: Configuração dos dados de entrada DIN no modo <i>single-ended</i> .....	37
Figura 18: Configuração dos dados de entrada DIN no modo <i>differential</i> .....	37
Figura 19: Esquema <i>touch screen</i> .....	38
Figura 20: Diagrama com os principais blocos de hardware que compõem a placa principal.....	39
Figura 21: Placa principal do CarQuad.....	39
Figura 22: Pinagem do DDS.....	40
Figura 23: Diagrama de blocos do DDS.....	41
Figura 24: Descrição dos pinos.....	41
Figura 25: Unidade osciladora.....	42
Figura 26: Pinagem do AD8040.....	43
Figura 27: Pinagem do multiplexador M74HC4051.....	44
Figura 28: Descrição dos pinos.....	44
Figura 29: Tabela verdade das saídas do multiplexador.....	44
Figura 30: Pinagem do buffer de corrente utilizado HA-5002 da Intersil.....	45
Figura 31: Pinagem do ADA4861-3.....	46
Figura 32: Pinagem do M74HC374.....	46
Figura 33: Pinagem do multiplicador HA-2556.....	47
Figura 34: Diagrama de blocos do multiplicador analógico.....	47
Figura 35: Pinagem do decodificador M74HC138.....	48
Figura 36: Placa do relé.....	48
Figura 37: Fluxograma para medição de fase e amplitude dos sinais do circuito sob teste.....	49
Figura 38: Fluxograma para medição de impedância de entrada.....	50
Figura 39: Fluxograma para medição de impedância de saída.....	51
Figura 40: Tela de abertura do software do CarQuad.....	53
Figura 41: Interface com o usuário.....	53
Figura 42 – Fluxograma da lógica de funcionamento do software.....	54
Figura 43: Interface principal do Realterm.....	55
Figura 44: Modo de captura do software Realterm.....	55
Figura 45: Esquema para cálculo da impedância de entrada.....	58
Figura 46: Esquema para cálculo da impedância da saída.....	59

Figura 47: Amplificador série de tensão ou tensão-série. Esse amplificador amostra tensão (paralelo) e compara tensão (série). .....	61
Figura 48: Amplificador de tensão realimentado em malha fechada.....	62
Figura 49: Amplificador inversor de tensão.....	63
Figura 50: Amplificador não-inversor de tensão.....	64
Figura 51: Filtro Ativo passa-baixa de 2ª ordem.....	65
Figura 52: Filtro ativo passa - alta de 1ª ordem.....	66
Figura 53: Filtro passivo 1 .....	67
Figura 54: Filtro passivo 2 .....	67
Figura 55: Circuito de potência com transistor classe A .....	69
Figura 56: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®. ....	72
Figura 57: Placa montada correspondente ao circuito amplificador realimentado série de tensão. ....	73
Figura 58: Simulação resposta AC. ....	74
Figura 59: Curva de resposta em frequência real. ....	74
Figura 60: Transiente do circuito.....	74
Figura 61: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	75
Figura 62: Curva real de ganho em volts.....	75
Figura 63: Curva real de ganho em dB.....	75
Figura 64: Curva simulada de fase.....	76
Figura 65: Curva real de fase. ....	76
Figura 66: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®. ....	77
Figura 67: Placa montada correspondente ao circuito amplificador inversor de tensão. ....	77
Figura 68: Simulação resposta AC. ....	78
Figura 69: Curva de resposta em frequência real.....	78
Figura 70: Transiente do circuito.....	79
Figura 71: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	79
Figura 72: Curva real de ganho em volts.....	80
Figura 73: Curva real de ganho em dB.....	80
Figura 74: Curva simulada de fase.....	80
Figura 75: Curva real de fase. ....	81
Figura 76: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®. ....	81
Figura 77: Placa montada correspondente ao circuito amplificador não inversor. ....	82
Figura 78: Simulação resposta AC. ....	83
Figura 79: Curva de resposta em frequência real.....	83
Figura 80: Transiente do circuito.....	84
Figura 81: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	84
Figura 82: Curva real de ganho em volts.....	84
Figura 83: Curva real de ganho em dB.....	85
Figura 84: Curva simulada de fase.....	85
Figura 85: Curva real de fase. ....	85
Figura 86: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®. ....	86
Figura 87: Placa montada correspondente ao circuito filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem.....	87
Figura 88: Simulação resposta AC. ....	87
Figura 89: Curva de resposta em frequência real.....	88
Figura 90: Transiente do circuito.....	88
Figura 91: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	88
Figura 92: Curva real de ganho em volts.....	89

Figura 93: Curva real de ganho em dB.....	89
Figura 94: Curva simulada de fase.....	89
Figura 95: Curva real de fase.....	90
Figura 96: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®.....	90
Figura 97: Placa montada correspondente ao circuito filtro ativo passa-altas de 1ª ordem.....	91
Figura 98: Simulação resposta AC.....	92
Figura 99: Curva de resposta em freqüência real.....	92
Figura 100: Transiente do circuito.....	92
Figura 101: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	93
Figura 102: Curva real de ganho em volts.....	93
Figura 103: Curva real de ganho em dB.....	93
Figura 104: Curva simulada de fase.....	94
Figura 105: Curva real de fase.....	94
Figura 106: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®.....	95
Figura 107: Placa montada correspondente ao circuito do filtro passivo configuração em paralelo.....	95
Figura 108: Simulação resposta AC.....	96
Figura 109: Curva de resposta em freqüência real.....	96
Figura 110: Transiente do circuito.....	97
Figura 111: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	97
Figura 112: Curva real de ganho em volts.....	97
Figura 113: Curva real de ganho em dB.....	98
Figura 114: Curva simulada de fase.....	98
Figura 115: Curva real de fase.....	98
Figura 116: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®.....	99
Figura 117: Placa montada correspondente ao circuito do filtro passivo configuração em série.....	100
Figura 118: Simulação resposta AC.....	100
Figura 119: Curva de resposta em freqüência real.....	101
Figura 120: Transiente do circuito.....	101
Figura 121: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	101
Figura 122: Curva real de ganho em volts.....	102
Figura 123: Curva real de ganho em dB.....	102
Figura 124: Curva simulada de fase.....	102
Figura 125: Curva real de fase.....	103
Figura 126: circuito desenhado no <i>schematics</i> do Orcad PSPICE®.....	103
Figura 127: Placa montada correspondente ao circuito do amplificador de potência classe A.....	104
Figura 128: Simulação resposta AC.....	105
Figura 129: Curva de resposta em freqüência real.....	105
Figura 130: Transiente do circuito.....	105
Figura 131: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.....	105
Figura 132: Curva real de ganho em volts.....	106
Figura 133: Curva real de ganho em dB.....	106
Figura 134: Curva simulada de fase.....	106
Figura 135: Curva real de fase.....	107
Figura 136: Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 1 ...	114
Figura 137: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 2.	114
Figura 138: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 3.	115

Figura 139: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 4.	115
Figura 140: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 5.	116
Figura 141: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 6.	116
Figura 142: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 7.	117
Figura 143: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 8.	117

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise dos concorrentes .....	22
Quadro 2 – Análise de patentes .....	24
Quadro 3: Ordem dos <i>bits</i> de controle do <i>byte</i> de controle. ....	38
Quadro 4: Parâmetros de teste .....	56
Quadro 5: – Regras de conversão para as unidades de frequência e resistência e para escolha de medição ou não de $Z_{in}$ e $Z_{out}$ .....	56
Quadro 6: Parâmetros para cálculo da amplitude de entrada, de saída e de fase.....	57
Quadro 7: Parâmetros para cálculo da impedância de entrada .....	58
Quadro 8: Parâmetros para cálculo da impedância de saída.....	60

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Frequência de saída gerada pelo DDS.....	42
Equação 2: Valor de saída do HÁ-2556.....	47
Equação 3: Fórmula para cálculo da impedância de entrada .....	57
Equação 4: Fórmula para cálculo da amplitude de saída.....	58
Equação 5: Fórmula para cálculo do ângulo de saída .....	58
Equação 6: Cálculo do módulo de $V_{rg}$ .....	59
Equação 7: Cálculo do módulo da impedância de entrada .....	59
Equação 8: Cálculo do ângulo da impedância de entrada .....	59
Equação 9: Cálculo módulo de $V_g$ .....	60
Equação 10: Cálculo do argumento de $V_g$ .....	60
Equação 11: Coeficiente de realimentação.....	62
Equação 12: Ganho.....	62
Equação 13: Cálculo do ganho teórico .....	64
Equação 14: Cálculo do ganho .....	64
Equação 15: Cálculo do ganho .....	65
Equação 16: Cálculo da frequência de corte .....	65
Equação 17: Cálculo do ganho .....	66
Equação 18: Cálculo da frequência de corte .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Codificação do MXA ou MYA.....	57
Tabela 2: Codificação do MXS ou MYS.....	57
Tabela 3: Valores teóricos e práticos obtidos da análise dos circuitos. ....	107
Tabela 4: Comparação entre os resultados simulados e práticos.....	120

## LISTA DE SIGLAS

AC	Corrente alternada
ADC	Conversão Analógico - Digital
CARQUAD	Caracterizador de Quadripolos
CI	Circuito integrado
CPLD	<i>Complex Programmable Logic Device</i>
DAC	Conversão Dgital-Analogico
DAELN	Departamento Academico de Eletrônica
DC	Corrente continua
DDS	<i>Direct Digital Synthesizer</i>
EN	<i>Enable</i>
FRA	<i>Frequency Response Analyzer</i>
INPI	Instituto Nacional de Produção Industrial
ISHM	Interface Ser Humano Máquina
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
PC	Computador Pessoal
PUC	Pontificia Universidade Católica
RAM	<i>Random Acess Memory</i>
ROM	<i>Read only Memory</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
R/W	<i>Read/Write</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static Random Acess Memory</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VBA	<i>Visual Basic Applications</i>

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.3	APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO .....	17
2	DEFINIÇÃO DO ESCOPO DO PRODUTO .....	18
2.1	ESTUDO DOS CLIENTES .....	18
2.2	ESTUDO DA CONCORRÊNCIA (BENCHMARKING).....	19
2.3	ESTUDO DA LITERATURA .....	22
2.4	ESTUDO DE PATENTES .....	23
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCOPO DO PRODUTO.....	24
3	DESENVOLVIMENTO .....	26
3.1	HARDWARE .....	26
3.1.1	KIT EAT55.....	26
3.1.2	DISPLAY GRÁFICO.....	30
3.1.3	INTERFACE DISPLAY-EAT55.....	34
3.1.4	CONTROLADOR TOUCH-SCREEN.....	34
3.1.5	PLACA PRINCIPAL.....	38
3.2	FIRMWARE.....	48
3.3	SOFTWARE.....	52
3.4	KITS DE DEMONSTRAÇÃO.....	61
3.4.1	AMPLIFICADORES DE TENSÃO POR REALIMENTAÇÃO .....	61
3.4.2	CIRCUITOS COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS.....	62
3.4.3	FILTROS PASSIVOS .....	66
3.4.4	CIRCUITOS DE POTÊNCIA.....	68
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	71
4.1	SIMULAÇÃO E TESTES EM LABORATÓRIO DOS KITS DE DEMONSTRAÇÃO.....	71
4.1.1	CIRCUITO 1:AMPLIFICADOR REALIMENTADO SÉRIE DE TENSÃO	72
4.1.2	CIRCUITO 2: AMPLIFICADOR INVERSOR DE TENSÃO.....	76
4.1.3	CIRCUITO 3:AMPLIFICADOR NÃO-INVERSOR DE TENSÃO.....	81
4.1.4	CIRCUITO 4:FILTRO ATIVO PASSA-BAIXA DE 2ªORDEM .....	86
4.1.5	CIRCUITO 5:FILTRO ATIVO PASSA-ALTA DE 1ª ORDEM.....	90
4.1.6	CIRCUITO 6:FILTRO PASSIVO CONFIGURAÇÃO EM PARALELO ...	95
4.1.7	CIRCUITO 7:FILTRO PASSIVO CONFIGURAÇÃO EM SÉRIE .....	99
4.1.8	CIRCUITO 8:AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA.....	103
4.2	RESULTADOS OBTIDOS COM O HARDWARE .....	107
4.2.1	PLACA DE DESENVOLVIMENTO eAT55 .....	108
4.2.2	INTERFACE eAT55 DISPLAY GRÁFICO .....	108
4.2.3	DISPLAY GRÁFICO.....	109
4.2.4	CONTROLADOR DE PELÍCULA TOUCH SCREEN.....	109
4.2.5	PLACAS COM RELÉS.....	110

4.2.6	PLACA PRINCIPAL.....	111
4.2.7	CIRCUITOS TESTE .....	113
4.3	RESULTADOS OBTIDOS COM O KIT DIDÁTICO .....	113
5	GESTÃO E PLANO DE NEGÓCIOS.....	119
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	120
	REFERÊNCIAS.....	124
	ANEXOS .....	126
	Anexo A: Estudo de Gestão do Projeto .....	126
	Anexo B: Plano de negócios.....	130
	ANEXO C - Aspectos de operação, técnicos e de detalhamento do display.....	150
	Anexo D: Esquemático da placa de interface do display com a eAT55.....	151
	Anexo E: Layout da placa de interface do display gráfico com a eAT55.....	151
	Anexo F: Esquemático da placa de interface do controlador touch screen.....	152
	com o display gráfico. ....	152
	Anexo G: Layout da placa de interface do controlador touch screen com.....	152
	display gráfico. ....	152
	Anexo i: Esquemático 2 da principal. ....	153
	Anexo J: Esquemático 3 da placa principal.....	154
	Anexo K: Esquemático 4 da placa principal. ....	154
	Anexo L: Esquemático 5 da placa principal. ....	155
	Anexo M: Layout da placa principal do CarQuad.....	155
	Anexo N: Diagrama esquemático da placa para seccionamento de entrada e saída do circuito de teste via relé. ....	156
	Anexo O: Layout da placa do relé para fazer o seccionamento de entrada e saída do circuito de teste. ....	156
	Anexo P: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 1. ....	157
	Anexo Q: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 2.....	158
	Anexo R: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 3.....	159
	Anexo S: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 4. ....	160
	Anexo T: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 5. ....	161
	Anexo U: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 6.....	162
	Anexo W: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 8.....	165
	Anexo X: Diagrama esquemático do circuito de teste 1- amplificador realimentado série de tensão.....	166
	Anexo Y: Layout da placa do circuito 1 – amplificador realimentado série de tensão.....	166
	Anexo Z: Diagrama esquemático do circuito de teste 2- amplificador inversor de tensão.....	167
	Anexo AA: Layout da placa do circuito 2 – amplificador inversor de tensão.....	167
	Anexo AB: Diagrama esquemático do circuito de teste 3- amplificador não inversor de tensão. ....	168
	Anexo AC: Layout da placa do circuito 3 – amplificador não inversor de tensão. ....	168
	Anexo AD: Diagrama esquemático do circuito de teste 4- filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem. ....	169
	Anexo AE: Layout da placa do circuito 4 – filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem..	169
	Anexo AF: Diagrama esquemático do circuito de teste 5- filtro ativo passa-altas de 1ª ordem.....	170
	Anexo AG: Layout da placa do circuito 4 – filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem..	170

Anexo AH: Diagrama esquemático do circuito de teste 6- filtro passivo configuração em paralelo. ....	171
Anexo AI: Layout da placa do circuito 6 – filtro passivo configuração em paralelo. ....	171
Anexo AJ: Diagrama esquemático do circuito de teste 7- filtro passivo configuração em série.....	172
Anexo AK: Layout da placa do circuito 7 – filtro passivo configuração em série..	172
Anexo AL: Diagrama esquemático do circuito de teste 8- amplificador de potência classe A.....	173
Anexo AM: Layout da placa do circuito 8 – amplificador de potência classe A. ...	173

# 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento do kit didático intitulado CarQuad, o qual funciona como um analisador de resposta em frequência de circuitos sob análise. Fazem parte do desenvolvimento do kit uma interface com o usuário através de um *display* gráfico *touch screen*, o uso de uma placa microcontrolada para o processamento e possibilidade de comunicação com um computador pessoal, uma placa principal com toda a eletrônica analógica de geração de sinal, controle de sinais e aquisição dos sinais, além de incluir 8 circuitos de teste para avaliação e utilização dos resultados para validação do CarQuad. Com o CarQuad são obtidos os parâmetros medidos do circuito e através de um *software*, desenvolvido em linguagem VB (Visual-Basic) para ser utilizado no Excel, da Microsoft, os dados são armazenados em planilhas e construídas as curvas características dos circuitos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Em qualquer instituição, onde haja cursos nas áreas de eletrônica, eletrotécnica, ou outros afins, é comum a existência de disciplinas com parte da carga horária voltada ao ensaio de práticas em laboratório. Nesses laboratórios, o aluno deve testar circuitos, buscando a compreensão de seu funcionamento e a familiaridade com seus parâmetros e características. A aquisição dessa familiaridade é muito importante para a desenvoltura do profissional que este aluno irá se tornar.

Na UTFPR, por exemplo, no mínimo nove disciplinas dos cursos do departamento de eletrônica incitam o aluno a realizar medições de parâmetros de circuitos em laboratório. Durante a graduação em engenharia eletrônica, são pelo menos quatro disciplinas, o curso técnico em eletrônica apresenta três e o curso técnico em sistemas de comunicações apresenta dois. Aqui se destacam disciplinas de circuitos elétricos, sinais e sistemas, amplificadores e comunicações. Aumentando a abrangência de ocorrência, outras universidades de Curitiba como

---

PUC, TUIUTI e UFPR possuem disciplinas semelhantes e devem executar procedimentos similares em suas aulas de laboratório.

Procedimentos para levantamento de dados de curvas de ganho e curvas de impedância são bastante demorados e imprecisos. Essa demora consome um tempo precioso em sala de aula e impede que várias mudanças possam ser propostas a cada levantamento de dados, no sentido de mostrar ao aluno as alterações decorrentes. Também torna difícil ao professor, elaborar práticas mais complexas ou validar, facilmente, o projeto e montagem de circuitos efetuados pelos alunos.

Os programas de simulação de circuitos elétricos são capazes de traçar tais curvas. No entanto, tiram do aluno o contato com o laboratório e a oportunidade de ganhar experiência prática na análise de circuitos e investigação de maus comportamentos ou falhas.

O uso de uma ferramenta que auxiliasse no levantamento dessas informações, tornaria os laboratórios mais proveitosos já que os alunos conseguiriam os dados das curvas mais rápida e eficazmente, permitindo dedicar mais tempo para fazer alterações de parâmetros e observar melhor o funcionamento dos diversos circuitos. O professor também poderia propor o projeto e montagem de circuitos segundo especificações dadas por ele e depois avaliar os resultados alcançados pelos alunos, sem precisar dispor de muito tempo para essa avaliação.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo principal desse trabalho de conclusão de curso era desenvolver um kit didático que servisse como uma ferramenta à obtenção da curva de resposta em frequência, e das curvas de impedância de entrada e de saída de circuitos comuns na engenharia elétrica.

Para tanto, foi necessário alcançar outros objetivos menores como: desenvolver um hardware para geração digital de sinais que sirvam à excitação dos circuitos; desenvolver um sistema microcontrolado que comande a varredura em frequência, gerencie a aquisição de dados com seu envio para um PC e também

gerencie a interface com um display gráfico; implementar uma interface gráfica no PC onde possam ser visualizados os resultados em formas de gráficos, como o diagrama de Bode, e que contenha as funções com algoritmos para tratamento da base de dados adquirida; montar circuitos de exemplo que possam ser utilizados junto ao kit para permitir a compreensão de seu funcionamento e a demonstração de sua utilidade.

### **1.3 APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO**

O documento apresenta, primeiramente, os estudos realizados para uma melhor definição do escopo do produto. Descreve as necessidades dos nossos principais clientes, professores e alunos. Em seguida tem-se um estudo da concorrência que é seguido de informações encontradas na literatura.

Na sequência mostram-se alguns detalhes do desenvolvimento do kit didático tanto as considerações de hardware do projeto, quanto de software e firmware.

Ao final apresentam-se os resultados obtidos com o uso do CarQuad e com a análise manual dos circuitos, fazendo-se uma comparação entre os dados e validando assim o funcionamento do equipamento desenvolvido.

---

## 2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DO PRODUTO

### 2.1 ESTUDO DOS CLIENTES

Tendo em vista que o kit se destina a aplicações em laboratórios nas disciplinas do curso de Engenharia elétrica, a sua principal utilização será pelos alunos na obtenção de parâmetros de circuitos elétricos na configuração de quadripolos.

Quadripolo é uma estrutura com duas portas de acesso, uma de entrada e a outra de saída. Muitos equipamentos e muitas configurações de circuitos podem ser representados por um quadripolo, como exemplos, o transistor, amplificador operacional, linhas de transmissão, entre outros.

No decorrer da graduação o aluno acaba defrontando-se com a montagem prática de diversos circuitos eletrônicos e tendo que utilizar os mais variados tipos de componentes. Partindo dos mais simples como resistores aos mais complexos como circuitos integrados, em geral, apresentam uma enormidade de recursos e restrições de funcionamento conforme especificado no *datasheet* pelo fabricante. Dentre os principais circuitos estudados pode-se relacionar os filtros ativos (passa-faixa, passa-baixa, rejeita-faixa e passa - alta) que são fundamentais no estudo de sistemas de comunicação e instrumentação, amplificadores realimentados de tensão e corrente, amplificador inversor e não inversor de tensão com a utilização de operacionais, filtros passivos e alguns circuitos de potência. A importância do estudo desses circuitos reside no fato de eles servirem como modelo para projetos ou manutenção de equipamentos da área de eletrônica em geral.

Nas aulas práticas, para a análise desses circuitos é requisitado aos alunos obter manualmente através de medições níveis de tensão na entrada e saída do quadripolo em função da frequência, calcular o ganho (razão da tensão de saída pela tensão de entrada) e levantar as curvas de resposta em frequência (Ganho VS frequência). Porém nesses circuitos seria útil a obtenção de impedâncias e admitâncias tanto na entrada quanto na saída porque o aluno pode assim comparar os resultados obtidos com os teóricos esperados. Inclusive, o entendimento desses

---

circuito fica muito mais apropriado com a visualização do diagrama de Bode do circuito analisado. Adicionalmente uma indicação da temperatura durante o levantamento dos dados traria maior riqueza aos resultados.

O kit didático CarQuad será desenvolvido de modo a atender a estes requisitos, prezando pela confiabilidade na obtenção dos dados e na apresentação dos resultados.

## **2.2 ESTUDO DA CONCORRÊNCIA (BENCHMARKING)**

O estudo da concorrência é uma estratégia que traz bons resultados quando estamos especificando as características que o produto em desenvolvimento deverá alcançar. Também traz uma vantagem comercial se soubermos identificar os pontos fracos e fortes dos equipamentos existentes, aproveitando essas informações para gerar um produto de melhor qualidade, ou um produto competitivo por estar dentro de padrões já aceitos, bem conhecidos e de uso comum entre os clientes.

Nossa pesquisa foi realizada inteiramente pela internet. Inicialmente, procurou-se por “caracterizadores de quadripolos” não retornou resultados. O mais eficiente foi buscar por F.R.A. (*Frequency Response Analyzer* – Analisador de Resposta em Frequência). Familiarizados com esse novo termo, e tendo visto as características dos equipamentos, percebeu-se que o termo F.R.A. representa melhor a intenção de projeto e, apesar de o nome CarQuad (Caracterizador de Quadripolos) ser mantido, entende-se que o produto trata-se de um analisador de resposta em frequência.

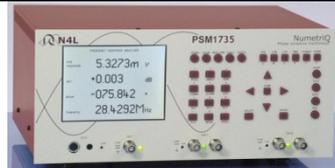
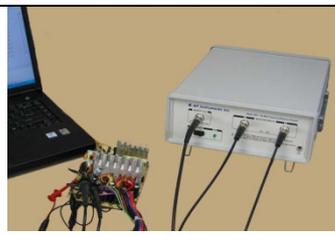
Nossa pesquisa resultou em 10 fabricantes de interesse, sendo eles:

- 1) Ridley Engineering
- 2) DesignSoft
- 3) Solartron (grupo AMETEK)
- 4) Core Technology Group
- 5) NF Corporation
- 6) Powertek
- 7) Newtons 4th Ltd

- 8) AMREL – Power Division
- 9) Venable Instruments
- 10) AP Instruments Inc

Abaixo, o resumo das principais características dos equipamentos:

Ridley Engineering		<a href="http://www.ridleyengineering.com">http://www.ridleyengineering.com</a>	
	Modelo:	AP300	
	Faixa de Frequência:	0.01 Hz to 30 MHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	USB2.0	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	10Vp e 2Ω	
DesignSoft		<a href="http://designsoftware.com/home/English/">http://designsoftware.com/home/English/</a>	
	Modelo:	TINALab II	
	Faixa de Frequência:	DC a 4MHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	USB e RS232	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	10Vp	
Solartron (grupo AMETEK)		<a href="http://www.solartronanalytical.com/index.htm">http://www.solartronanalytical.com/index.htm</a>	
	Modelo:	1255 <sup>a</sup>	
	Faixa de Frequência:	10 μHz to 20 MHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	RS232 e GPIB IEEE-488	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	3Vrms, 50Ω	
Core Technology Group		<a href="http://www.coretechgroup.com/index.html">http://www.coretechgroup.com/index.html</a>	
 "Desktop or Rack Mount" RA-Series	Modelo:	RA-40	
	Faixa de Frequência:	0,1 a 40MHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	USB	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	50Ω	

NF Corporation		<a href="http://www.nfcorp.co.jp/">http://www.nfcorp.co.jp/</a>	
	Modelo:	FRA5097	
	Faixa de Frequência:	0,1mHz to 15MHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	USB ou GPIB	
	Conexão de saída:	-	
	Saída:	10Vp	
Newtons 4th Ltd		<a href="http://www.newtons4th.com/">http://www.newtons4th.com/</a>	
	Modelo:	PSM1735	
	Faixa de Frequência:	10uHz a 35MHz	
	Modo de Varredura:	-	
	Comunicação com PC:	RS232 e GPIO IEEE488.2	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	10Vp 50Ω	
AMREL – Power Division		<a href="http://www.amrel.com/">http://www.amrel.com/</a>	
	Modelo:	AMREL'S FRA	
	Faixa de Frequência:	1Hz a 20kHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	GPIB e RS232 (opcional USB e Ethernet)	
	Conexão de saída:	-	
	Saída:	1Vrms	
Venable Instruments		<a href="http://venablecorp.com/">http://venablecorp.com/</a>	
	Modelo:	3225	
	Faixa de Frequência:	0,01Hz a 25MHz	
	Modo de Varredura:	-	
	Comunicação com PC:	IEEE488 e USB	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	10Vp	
AP Instruments Inc		<a href="http://www.apinstruments.com/">http://www.apinstruments.com/</a>	
	Modelo:	AFRA 300	
	Faixa de Frequência:	0,01Hz a 30MHz	
	Modo de Varredura:	logarítmica ou linear	
	Comunicação com PC:	USB	
	Conexão de saída:	Conector BNC	
	Saída:	10Vp 50Ω	

Powertek	<a href="http://www.powertekuk.com/">http://www.powertekuk.com/</a>	
	Modelo:	GP102
	Faixa de Frequência:	10mHz a 2.4MHz
	Modo de Varredura:	-
	Comunicação com PC:	RS232
	Conexão de saída:	Conector BNC
	Saída:	10Vp 50Ω

**Quadro 1 – Análise dos concorrentes**

Observou-se que os equipamentos variam bastante tanto em apresentação como nos recursos. Alguns permitem visualização de gráficos no próprio equipamento e até impressão, ao passo que outros possuem interface simples quase resumida aos pontos de conexão para o sinal de excitação e os de aquisição.

A partir dessa pesquisa, concluiu-se que pode-se fazer algumas definições para a especificação do projeto, como:

- modo de varredura com escolha entre linear ou logarítmico;
- comunicação com o PC via interface serial;
- conexão de saída e de entrada através de conector BNC;
- tensão de saída de 10Vp;

Para determinação da faixa de frequência, foi preciso analisar qual DDS e clock de referência iriam ser utilizados.

### **2.3 ESTUDO DA LITERATURA**

É comum em eletrônica o uso de circuitos que podem ser vistos como um bloco onde temos uma entrada e uma saída. Componentes eletrônicos passivos e ativos ou mesmo partes de circuitos complexos podem ser encaradas desse modo. A essa estrutura com uma entrada e uma saída, damos o nome de quadripolo.

Os parâmetros definidos para os quadripolos os descrevem completamente em termos de tensão e corrente para cada um de seus acessos (entrada e saída), em outras palavras é a forma de combinação entre os valores de tensão e corrente que determinam os possíveis parâmetros do quadripolo. Os tipos de parâmetros

---

são: Parâmetros de Admitância, Parâmetros de Impedância, Parâmetros Híbridos e Parâmetros de Transmissão.

Para que seja possível então fazer a caracterização de um quadripolo, obrigatoriamente é preciso medir a tensão e corrente na entrada e saída do quadripolo. Além disso, esses parâmetros mudam com a frequência, por conta das características dos componentes internos do quadripolo, o que significa que cada valor de tensão e corrente deve ser medido para uma determinada frequência. Fazendo essas medidas para várias frequências conseguimos os dados necessários para traçar as curvas características do quadripolo.

O diagrama de Bode, por exemplo, é uma curva de valor de ganho numa faixa de frequências. Para que possamos traçar esse diagrama, temos que medir a tensão de entrada do circuito, a tensão de saída, fazer a razão entre elas, obter o valor logarítmico dessa razão e dispor dessa informação em um gráfico.

## **2.4 ESTUDO DE PATENTES**

Para o estudo das patentes utilizou-se o *Google patents* e o site do INPI (Instituto Nacional de Produção Industrial) e como palavra chave, Analisador de Resposta em Frequência (*Frequency Response Analyser*).

Abaixo, é apresentado um quadro com o resumo das patentes que mais se aproximam do nosso projeto, na qual se informam detalhes sobre a publicação da patente e semelhanças e diferenças do documento com a especificação do nosso produto.

<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Número</b>	<b>Origem</b>	<b>Similaridades</b>	<b>Diferenças</b>
<b>Frequency response Analyser</b>	1973	3808536	USA	Sinal excitador	Não usa processamento.
<b>Frequency response Analysis</b>	1990	4916383	USA	Sinal excitador Mostra resultado em display	Trabalha com altas frequências. Não indica o tipo de processamento.
<b>System Frequency Analyser and Plotter</b>	1970	3505738	USA	Sinal excitador	Opção de impressão
<b>Frenquency Response Testing</b>	1969	3445762	USA	Testa resposta em frequência	Circuitos específicos com bandas pequenas

**Quadro 2 – Análise de patentes**

Algo interessante observado durante o estudo das patentes é que boa parte delas é bem antiga. A mais atual encontrada é de 1990. Algo comum a todas elas é o circuito de geração de sinais de entrada, na maioria deles utiliza-se de eletrônica analógica, apenas uma delas utiliza circuitos integrados. Nenhuma delas faz uso de microprocessadores, pelo menos nenhuma delas citam o uso, apenas dizem que as informações são interpretadas.

Ao final do estudo foi possível perceber que nenhuma das patentes encontradas é impeditiva para a continuação do projeto.

## **2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCOPO DO PRODUTO**

Com base nos estudos realizados sobre a concorrência, patentes e cliente foi possível definir algumas características que nortearam o desenvolvimento do produto.

Inicialmente, considerando que será desenvolvido um kit didático e também pelo fato do departamento acadêmico de eletrônica dispor de kits de desenvolvimento para micro-controlador ARM7, será utilizado o kit eAT55 da

ESysTech como núcleo de processamento para aquisição de sinais e controle de comandos para o gerador de sinais.

Serão medidos os sinais de tensão e corrente para a entrada e saída do quadripolo em estudo. Também será necessário monitorar o valor da temperatura para ser possível registrar ao menos um parâmetro do ambiente de teste.

Um display gráfico com *touch screen* como interface com o usuário para setar os parâmetros para a aquisição de dados. A conexão com o PC servirá para transferência de dados e para enviar comandos quando assim que o teste for iniciado.

Um software em micro-PC, trará uma interface gráfica para o usuário onde este poderá carregar os dados salvos e também visualizar os resultados obtidos.

### 3 DESENVOLVIMENTO

O CarQuad é um analisador de resposta em frequência de circuitos elétricos. Tal analisador é composto por uma placa principal que gera um sinal senoidal, faz o condicionamento dos sinais de entrada e saída dos circuitos em análise e realiza a medição das impedâncias desse circuito. O kit desenvolvido também apresenta um *display touch-screen* pelo qual o usuário fornece parâmetros de frequência de varredura e pelo qual o usuário seleciona conforme a sua opção se deseja ou não efetuar as medições de impedância. Como unidade processadora foi utilizada a *evaluation board* eAT55 da eSysTech para o controle das funcionalidades. A figura 1 abaixo apresenta o diagrama de blocos geral do CarQuad.

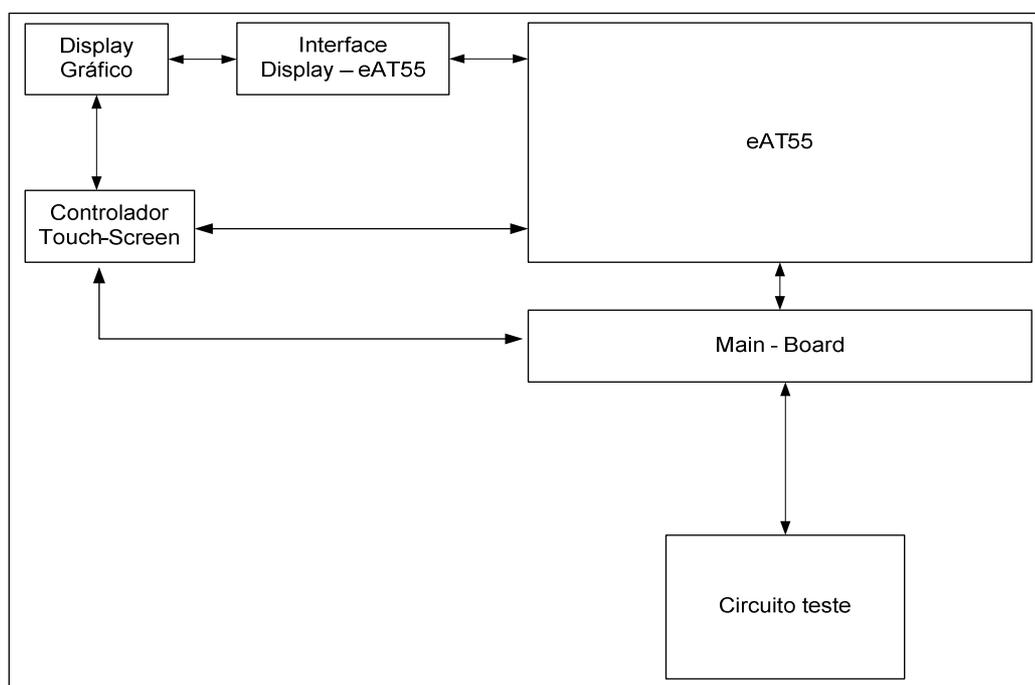


Figura 1: Diagrama em blocos geral do CarQuad.

#### 3.1 HARDWARE

##### 3.1.1 KIT EAT55

O módulo de desenvolvimento do CarQuad foi baseado na arquitetura ARM com a utilização de um módulo desenvolvido pela eSysTech denominado eAT55, como apresentado na figura 3, encontrada no site da eSysTech. Esse módulo

---

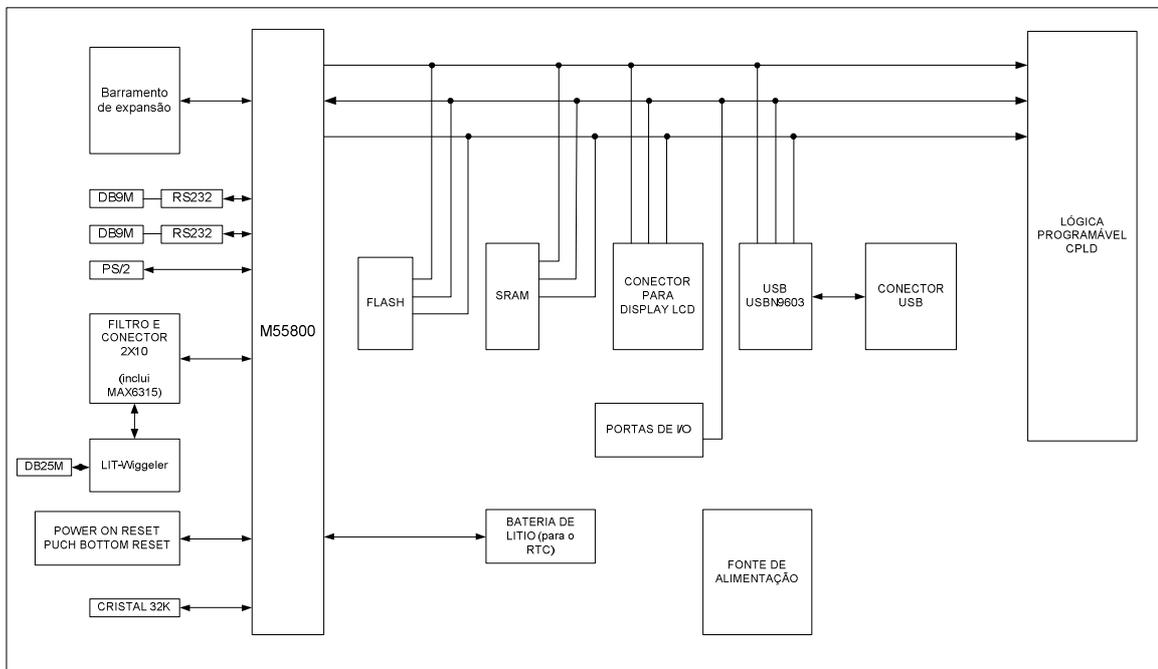
apresenta o processador AT91M55800A, da Atmel cujo *core* é o ARM7TDMI de 32 bits, e tem recursos como SRAM, flash, ADC, DAC, RTC, interfaces como USB, seriais, PS/2 e LCD. A placa disponibiliza barramentos de expansão para I/O e placas externas. A escolha da arquitetura ARM se resume na diversidade de aplicações industriais.

A *evaluation board* eAT55, figura 4 retirada do site da eSysTech, é caracterizada conforme apresentado pelo manual fornecido pela eSysTech e está apresentada na sequência abaixo:

- O processador ATMEL AT91M55800A conta com:
  - core ARM7TDMI,
  - clock programável de 32 MHz (PLL),
  - controlador de barramento para 8 *chip selects*,
  - controlador de interrupções,
  - 58 pinos de I/O,
  - 6 temporizadores de 16 bits,
  - 3 USARTs,
  - 1 SPI Master/slave,
  - ADC – 8 canais de entrada analógica,
  - DAC – 2 canais de saída analógica,
  - Unidade de gerenciamento de energia,
  - RTC.
- Memória SRAM com a opção de escolha entre 256 *KBytes* a 1 *MByte*.
- Memória FLASH com opção de escolha entre 256 *KBytes* a 8 *MBytes*.
- 2 interfaces de comunicação serial, padrão RS-232, para comunicação assíncrona até 2 Mbps.
- Interface USB escrava com controlador USB on-board.
- Interface PS/2.
- Barramento do processador disponível (160 pinos).
- Porta de saída digital de 16 bits para uso geral ou para monitoração via analisador lógico.
- Interface programável (via CPLD Xilinx XC9572/36) para LCD gráfico ou texto.
- Entrada de alimentação de 5 *Volts* e regulação *On-board* de 3.3 *Volts*.

- Bateria de lítio para RTC.
- Interface JTAG (Padrão Xilinx) para programação da CPLD.
- Interface JTAG (padrão ARM-20) para depuração (OCD) e para programação da memória FLASH.
- Interface JTAG no formato DB-25 para conexão direta à porta paralela do PC.
- Variedades de ambientes de programação EWARM (IAR), GCC (GNU), MULTI (Green Hills), ADS (ARM), dentre outros.
- Núcleos de tempo real disponíveis: X (eSysTech) e uCLinux.

A figura 2 é um diagrama de blocos da *evaluation board* eAT55.



**Figura 2 : Diagrama de blocos da eAT55**

Dentre essas características para o desenvolvimento do CarQuad foram utilizados a interface serial assíncrona USART0 para envio das informações da placa principal para o software de comunicação terminal Realterm. O envio é via dispositivo presente na placa RS-232. O Realterm se caracteriza por receber e armazenar em arquivo as informações das medições geradas pela placa principal. Fez-se uso da interface serial síncrona SPI como mecanismo de troca de dados entre o *display* gráfico e a eAT55. Através de controladores de interrupção foi feita a verificação de status tanto da USART quanto da SPI. Os sinais lidos do circuito em análise são digitalizado por um dos canais de conversão disponíveis na placa sendo que a tensão de referência do AD na placa eAT55 é de 2,5 Volts. Tais informações

foram obtidas com maiores detalhes do manual do microcontrolador AT91M55800A da Atmel.



**Figura 3: Kit utilizado da eSysTech**



**Figura 4: Vista ampliada da placa eAT55**

A interface LCD no kit eAT55 é feita por intermédio do conector X7. A pinagem deste conector é descrita a seguir na figura 5, retirada do manual do kit eAT55.

Pino 19	LED+	CS		D6	D4	D2	D0	R/W	contraste	GND	Pino 1
Pino 20	LED-	RST		D7	D5	D3	D1	EN	RS	5V	Pino 2

**Figura 5: pinagem do conector X7 para o LCD na placa eAT55.**

Segundo o manual da eAT55, os sinais de dados do conector X7 são conectados ao barramento de dados (D0 – D7) pela conversão de tensão de 3.3 Volts para 5.0 Volts. Dependendo do modelo do LCD, os sinais de controle de escrita e leitura, gerados pela CPLD, podem ser reprogramados. Os campos *Led+* e

---

*Led*- nesse conector são pinos correspondentes aos sinais que alimentam os *leds* de *backlight* do *display*. Já o sinal RST corresponde ao sinal de *reset* e está ligado no mesmo pino de *RESET* do microprocessador. O sinal de contraste (pino contraste na figura 5) é ligado a um potenciômetro pelo qual é feito o ajuste de contraste do LCD.

Os sinais de EN (*enable*), R/W (*read/write*) e RS são gerados pela CPLD sendo que os sinais R/W e RS estão mapeados como sinais de entrada e saída. O sinal de EN é gerado a partir do sinal CS6 que corresponde à faixa de endereçamento do LCD na placa eAT55. (manual da eAT55)

### 3.1.2 DISPLAY GRÁFICO

O kit didático CarQuad possui uma ISHM por intermédio de um *display* gráfico *touch screen*. Numa vasta gama de opções e prezando pelo melhor custo-benefício foi selecionado um *display*, fornecido pela empresa AGTechnologies Produtos Eletrônicos Ltda., cujo modelo é o AGM-240128A-801 como é mostrado na figura 6. Dentre as características técnicas retiradas do manual fornecido pelo fabricante, o *display* possui área de 240 por 128 *pixels*, os caracteres são dispostos na cor branca, tem cor de fundo em azul, possui *backlight*, apresenta película *touch screen*, porém sem a presença de controlador para a película de toque. Esse *display* possui como controlador da matriz gráfica o circuito integrado T6963C da Toshiba e a interface de trabalho do *display* é paralela. No anexo C segue o *datasheet* com as especificações de operação e a descrição da pinagem do *display* gráfico utilizado.



**Figura 6: Ilustração do display gráfico utilizado no projeto.**

O controlador da matriz gráfica T6963C cujo diagrama interno é apresentado na figura 7 e cuja pinagem está demonstrada na figura 8 retirados do *datasheet* do fabricante, é um circuito integrado que apresenta um barramento paralelo de 8 bits de dados e linhas de controle para leitura e escrita no display que podem ser facilmente conectadas a um microprocessador. Ele tem um gerador de caracteres de 128-palavras de memória de programa, memória ROM, que permite controlar dispositivos de memória RAM externa de até 64 *Kbytes*. Possibilita fazer a alocação de texto, de gráficos e de caracteres gerados da RAM externa de maneira fácil e na janela de exibição podem ser movidos dentro da faixa de memória alocada.

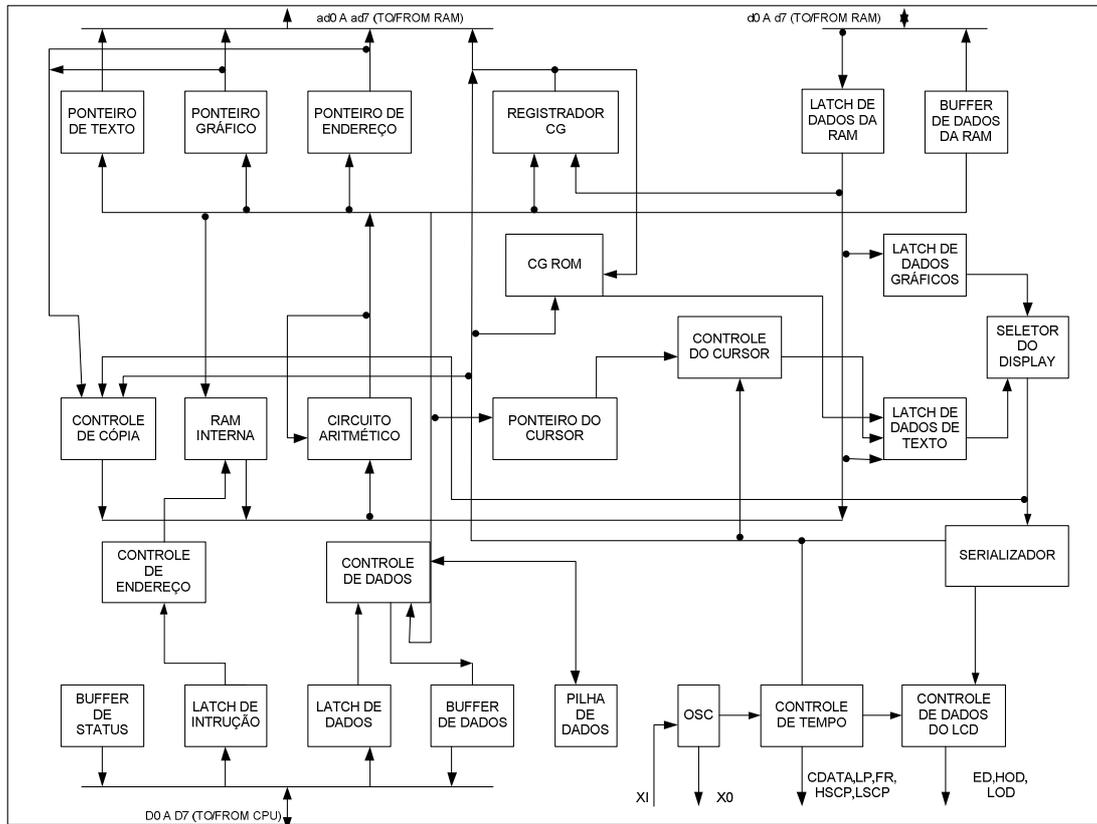


Figura 7: Diagrama interno do controlador da matriz gráfica T6963C.

Segundo o fabricante, o controlador fornece suporte a um amplo número de *displays* LCD, pois permite a seleção de diferentes combinações através das suas entradas programáveis. Ele pode ser utilizado em modo texto, modo gráfico ou ambos.

Nas figuras 9 e 10 retiradas do *datasheet* fornecido pelo fabricante seguem a descrição das funções de cada pino do CI.

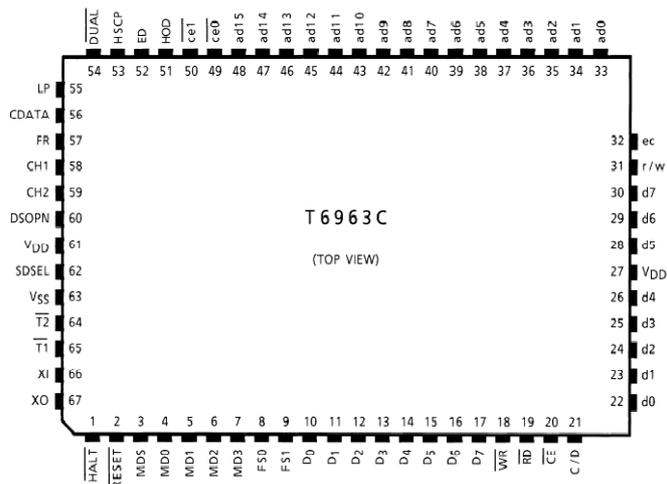


Figura 8: Pinagem do controlador da matriz gráfica do LCD

Pin Name	I / O	Functions																																																																																																																								
MDS MD0 MD1	Input	Pins for selection of LCD size																																																																																																																								
		<table border="1"> <tr> <td>DUAL</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MDS</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>MD1</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MD0</td> <td>H</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>LINES</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>V-DOTS</td> <td>16</td> <td>32</td> <td>48</td> <td>64</td> <td>80</td> <td>96</td> <td>112</td> <td>128</td> <td>32</td> <td>64</td> <td>96</td> <td>128</td> <td>160</td> <td>192</td> <td>224</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td colspan="8">1 SCREEN</td> <td colspan="8">2 SCREENS</td> </tr> </table>	DUAL	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	MDS	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	MD1	H	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	MD0	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	LINES	2	4	6	8	10	12	14	16	4	8	12	16	20	24	28	32	V-DOTS	16	32	48	64	80	96	112	128	32	64	96	128	160	192	224	256			1 SCREEN								2 SCREENS							
		DUAL	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L																																																																																																								
		MDS	L	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H																																																																																																								
		MD1	H	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L																																																																																																								
		MD0	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L																																																																																																								
LINES	2	4	6	8	10	12	14	16	4	8	12	16	20	24	28	32																																																																																																										
V-DOTS	16	32	48	64	80	96	112	128	32	64	96	128	160	192	224	256																																																																																																										
		1 SCREEN								2 SCREENS																																																																																																																
MD2 MD3	Input	Pins for selection of number of columns	<table border="1"> <tr> <td>MD2</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MD3</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>Columns</td> <td>32</td> <td>40</td> <td>64</td> <td>80</td> </tr> </table>	MD2	H	L	H	L	MD3	H	H	L	L	Columns	32	40	64	80																																																																																																								
			MD2	H	L	H	L																																																																																																																			
MD3	H	H	L	L																																																																																																																						
Columns	32	40	64	80																																																																																																																						
FS0 FS1	Input	Pins for selection of font	<table border="1"> <tr> <td>FS0</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>H</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>FS1</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>L</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>Font</td> <td>5 × 8</td> <td>6 × 8</td> <td>7 × 8</td> <td>8 × 8</td> </tr> </table>	FS0	H	L	H	L	FS1	H	H	L	L	Font	5 × 8	6 × 8	7 × 8	8 × 8																																																																																																								
			FS0	H	L	H	L																																																																																																																			
FS1	H	H	L	L																																																																																																																						
Font	5 × 8	6 × 8	7 × 8	8 × 8																																																																																																																						
D0 to D7	I / O	Data I / O pins between CPU and T6963C (D7 is MSB)																																																																																																																								
$\overline{WR}$	Input	Data Write. Write data into T6963C when $\overline{WR} = L$ .																																																																																																																								
$\overline{RD}$	Input	Data Read. Read data from T6963C when $\overline{RD} = L$ .																																																																																																																								
$\overline{CE}$	Input	Chip Enable for T6963C. $\overline{CE}$ must be L when CPU communicates with T6963C.																																																																																																																								

Figura 9: Descrição de alguns dos pinos do CI T6963C.

Pin Name	I / O	Functions
C / D	Input	$\overline{WR} = L$ C / D = H: Command Write C / D = L: Data Write $\overline{RD} = L$ C / D = H: Status Read C / D = L: Data Read
IALT	Input	Normal, L Stops the oscillation of the clock
RESET	Input	H: Normal (T6963C has internal pull-up resistor) L: Initialize T6963C. Text and graphic have addresses and text and graphic area settings are retained
DSPON	Output	Control pin for external DG / DC. DSPON is L when $\overline{HALT}$ is L or $\overline{RESET}$ is L (When DSPON goes H, the column drivers are cleared.)
DUAL	Input	H: Single-Scan L: Dual-Scan
SDSEL	Input	H: Sending data by odd / even separation L: Sending data by simple serial method
ce0 (LOD)	Output	$\overline{ce0}$ at DUAL = H Chip enable pin for display memory in the address range 0000H to 0FFFH LOD at DUAL = L Serial data output for odd columns in lower area of LCD
ce1 (LSCP)	Output	$\overline{ce1}$ at DUAL = H Chip enable pin for display memory in the address range 0800H to 0FFFH LSCP at DUAL = L Shift clock pulse output for column drivers in lower area of LCD
ce	Output	Chip enable pin for display memory of any address
d0 to d7	I / O	Data I / O pins for display memory
ad0 to ad15	Output	Address outputs for display memory (ad15 = L: for upper area of LCD, ad15 = H: for lower area of LCD)
R / W	Output	Read / Write signal for display memory
ED	Output	$\overline{SDSEL} = H$ : Data output for even columns in both upper and lower areas of LCD $\overline{SDSEL} = L$ : Data output for columns in both upper and lower areas of LCD
HOD	Output	Data output for odd columns in upper area of LCD
CDATA	Output	Synchronous signal for row driver
HSCP	Output	Shift clock pulse for column driver of upper area of LCD
LP	Output	Latch pulse for column driver. Shift clock pulse for row driver
FR	Output	Frame signal
XI	Input	Crystal oscillator input
XO	Output	Crystal oscillator output
CI1, CI2	Output	Check signal
$\overline{T1}$ , $\overline{T2}$	Input	Test input. Usually open
VDD	—	Power supply (5.0 V)
VSS	—	Power supply (0 V)

Figura 10: Descrição do restante dos pinos do CI T6963C.

### 3.1.3 INTERFACE DISPLAY-EAT55

No CarQuad o *display* gráfico LCD é controlado pela central de processamento definido pela *evaluation board* eAT55, apresentada no item 3.1.1. A maneira encontrada para realizar a interface entre o *display* e a placa eAT55 foi através do desenvolvimento de uma placa, como pode ser visualizada na figura 11, cuja função principal é adequar a pinagem entre o *display* gráfico e o conector X7, de interface LCD, disponibilizado na eAT55. Adicionalmente, essa placa foi projetada para permitir o ajuste de contraste do *display*, necessário para ajustar a melhor visualização dos textos e gráficos; permitir configurar o tamanho da fonte dos textos, definir o número de colunas e habilitar o pino de leitura; também através dessa placa foi corrigida a lógica de habilitação do *display* já que há uma diferença na lógica existente no conector X7; com essa placa é gerada a tensão regulada de 3.3 Volts através do regulador linear de tensão 78L33; ela indica a presença de tensões reguladas de 5.0 Volts e 3.3 Volts por intermédio de *leds*. Nos anexos D e E seguem o esquemático e o *layout* da placa, respectivamente, de interface entre o *display* e a eAT55.

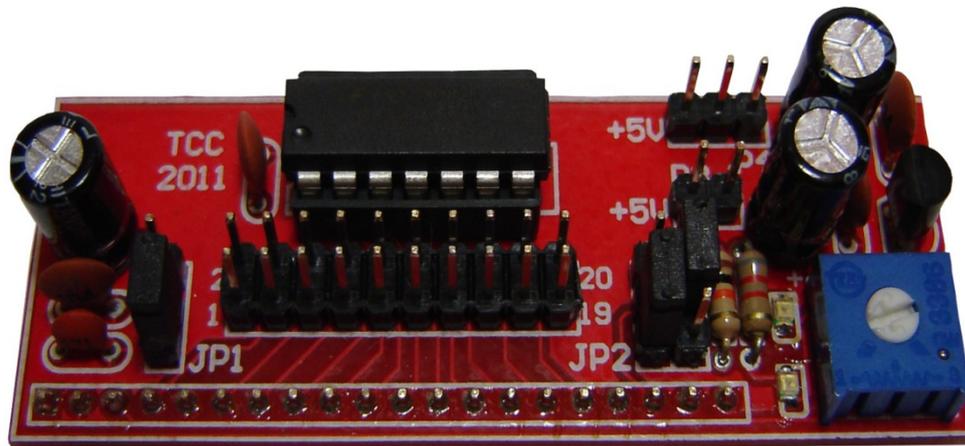


Figura 11: Placa de interface entre *display* gráfico e a *evaluation board* eAT55.

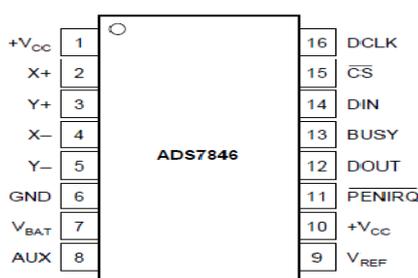
### 3.1.4 CONTROLADOR TOUCH-SCREEN

Como dito anteriormente, o *display* LCD adquirido possui uma película *touch screen*, porém não conta com um controlador para essa funcionalidade. Encontrou-

se, então, disponível no mercado o circuito integrado ADS7846, da Burr-Brown Products, cuja característica principal é intermediar o controle do *touch screen*. Nas figuras 12 e 13 retiradas do *datasheet* do fabricante são apresentados o CI e o diagrama de blocos que caracterizam o componente. A figura 14, também obtida com o fabricante, apresenta a descrição dos pinos.

Para tanto foi necessário projetar uma placa para o controlador *touch screen* que abrangesse o CI encontrado e incluísse outras funcionalidades. Dentre essas funcionalidades existentes na placa desenvolvida estão permitir a interface através do sistema *touch screen*, permitir o acionamento de *backlight* do *display* e permitir o acionamento de um *buzzer* para indicar o funcionamento da película de toque. A placa pode ser visualizada na figura 15. Nos anexos F e G são encontrados o esquemático e layout da placa controladora *touch screen*, respectivamente, projetados via software *Altium Winter Designer*®.

Segundo o *datasheet*, o controlador ADS7846 opera com uma alimentação que varia na faixa de 2.2 V a 5 V, apresenta uma tensão de referência interna de 2.5 V, apresenta um sistema de medição da temperatura interna o qual tem faixa de operação determinada de -40°C a 85°C. Ele possui também um sistema de medição de pressão do toque, funciona via SPI e permite trabalhar com os modos *single end* e *differential*. Segundo o fabricante a melhor *performance* do *touch screen* é obtida no modo *differential*.



**Figura 12: Pinagem do controlador *touch screen*.**



Do *datasheet* retira-se que o funcionamento do ADS7846 baseia-se na conversão analógica – digital por aproximações sucessivas. O fabricante fornece em exemplo da operação básica do controlador utilizado, como é mostrado na figura 16.

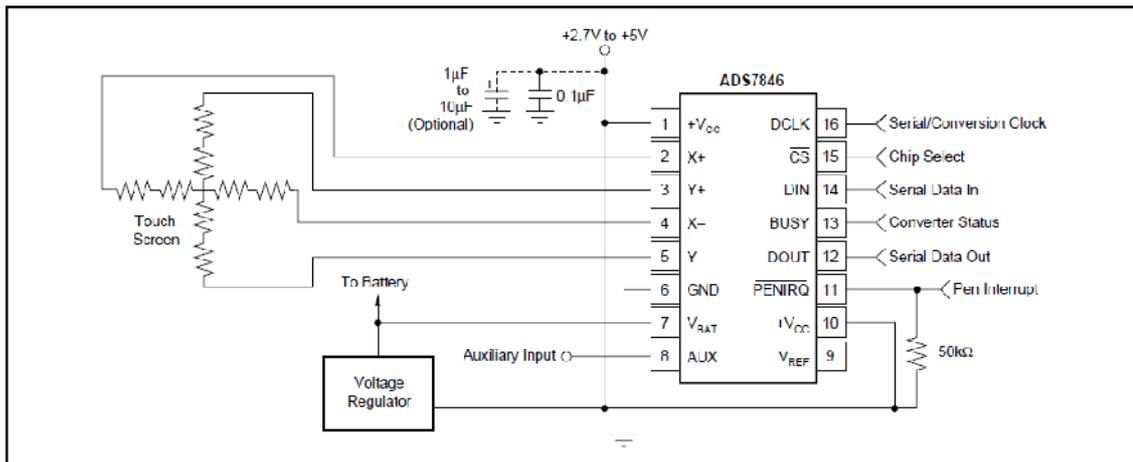


Figura 16: Operação básica do controlador.

O controle das entradas analógicas é feito serialmente através do pino DIN. As entradas analógicas possibilitam a medida da coordenada (x, y ou z) segundo o modo de operação. O *datasheet* do ADS7846 traz informações relevantes quanto à configuração das entradas analógicas para o modo *single-ended* e *differential*, figuras 17 e 18 respectivamente.

A2	A1	A0	V <sub>BAT</sub>	AUX <sub>IN</sub>	TEMP	Y-	X+	Y+	Y-POSITION	X-POSITION	Z <sub>1</sub> -POSITION	Z <sub>2</sub> -POSITION	X-DRIVERS	Y-DRIVERS
0	0	0			+IN (TEMP0)								Off	Off
0	0	1	+IN				+IN		Measure				Off	On
0	1	0											Off	Off
0	1	1									Measure		X-, On	Y+, On
1	0	0				+IN						Measure	X-, On	Y+, On
1	0	1						+IN					On	Off
1	1	0		+IN									Off	Off
1	1	1			+IN (TEMP1)								Off	Off

Figura 17: Configuração dos dados de entrada DIN no modo *single-ended*.

A2	A1	A0	+REF	-REF	Y-	X+	Y+	Y-POSITION	X-POSITION	Z <sub>1</sub> -POSITION	Z <sub>2</sub> -POSITION	DRIVERS ON
0	0	1	Y+	Y-		+IN		Measure				Y+, Y-
0	1	1	Y+	X-		+IN				Measure		Y+, X-
1	0	0	Y+	X-	+IN						Measure	Y+, X-
1	0	1	X+	X-			+IN		Measure			X+, X-

Figura 18: Configuração dos dados de entrada DIN no modo *differential*.

O *byte* de controle do sinal no pino DIN é quem inicializa a conversão, define endereçamento, qual a resolução do AD, quem configura e estabelece o baixo consumo do controlador. No quadro 3 obtido com o fabricante são apresentados os *bits* do *byte* de controle.

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
S	A2	A1	A0	MODE	SER/DFR	PD1	PD0

**Quadro 3: Ordem dos bits de controle do byte de controle.**

Na placa desenvolvida para o controle da película *touch screen* foram implementados alguns filtros capacitivos devido a ruído que segundo o fabricante são provocados pelo circuito de *backlight* e pelo painel LCD.

A figura 19 mostra a tela *touch screen* desenvolvida para o CarQuad. Nela são mostrados os pontos obtidos por testes que referenciam a localização na matriz LCD. Ela representa a tela que serve de interface de apresentação dos dados de entrada e de interação com o usuário através do toque.

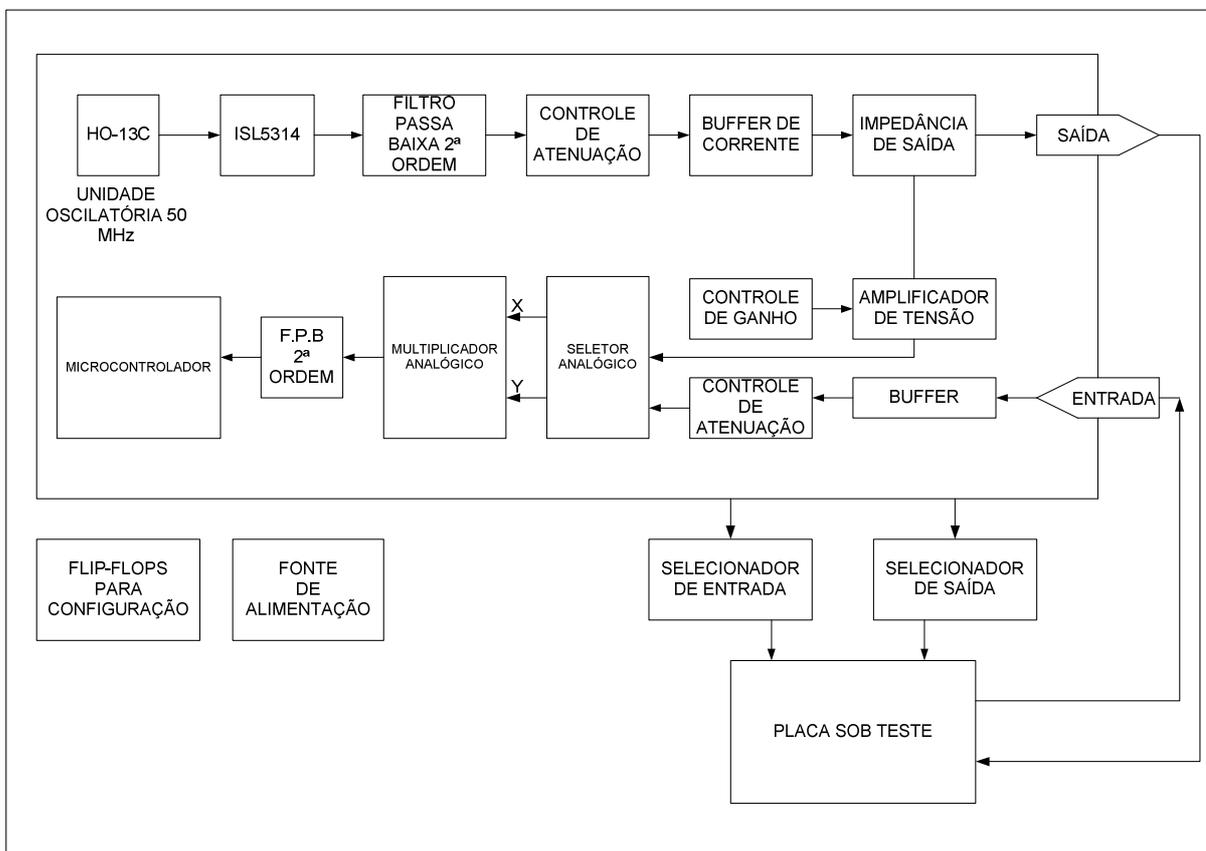
08,23	48,23	55,23	70,23	74,24	82,24	84,24	94,24	96,24	104,24	108,24	116,24	
08,34	48,34	55,34	70,34	>	1	2	3					
08,36	48,36	55,36	70,36									
08,46	48,46	55,46	70,46	74,40	82,40	84,40	94,40	96,40	104,40	108,40	116,40	
Zin:	30,48	41,48	50,48	70,48	74,44	82,44	84,44	94,44	96,44	104,44	108,44	116,44
	30,58	41,58	50,58	70,58		4	5	6				
Zout:	30,61	41,61	50,61	70,61								
	30,72	41,72	50,72	70,72	74,60	82,60	84,60	94,60	96,60	104,60	108,60	116,60
08,76	48,76	55,76	70,76	74,63	82,63	84,63	94,63	96,63	104,63	108,63	116,63	
08,87	48,87	55,87	70,87	□	7	8	9					
R_load:												
Temp:				74,79	82,79	84,79	94,79	96,79	104,79	116,79	116,79	
				74,83	82,83	84,83	94,83	96,83	104,83	108,83	116,83	
				X	C	0	↩					
				74,99	82,99	84,99	94,99	96,99	104,99	108,99	116,99	

**Figura 19: Esquema touch screen.**

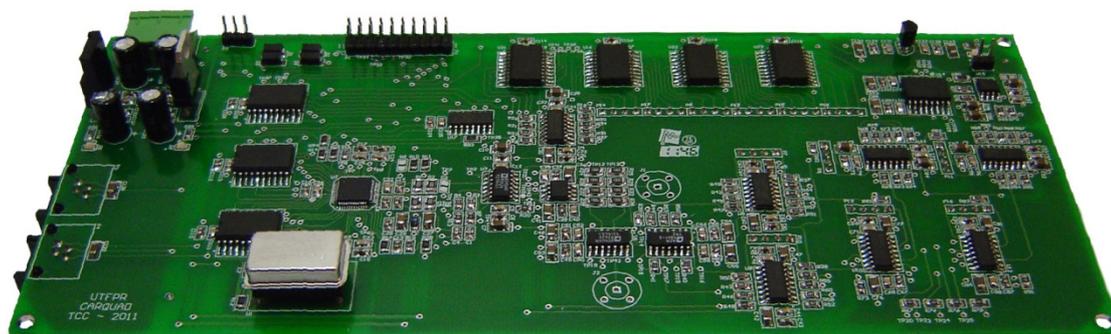
### 3.1.5 PLACA PRINCIPAL

A placa principal desenvolvida corresponde à placa principal do kit didático CarQuad. Ela é responsável por gerar as formas de onda de excitação para os circuitos sob teste e sua operação de frequência foi estipulada variando de poucos Hertz até 10 MHz. O CarQuad funciona como um analisador de resposta em frequência e foi estabelecido, em termos de hardware para o projeto, o desenvolvimento de circuitos para proporcionar medições de amplitude e fase dos sinais de entrada e saída e com capacidade de garantir medições de impedâncias complexas de entrada e saída do circuito analisado. A figura 20 ilustra o diagrama contendo os principais blocos de hardware desenvolvidos para a placa principal e na

figura 21 é apresentada a placa principal. Nos anexos H, I, J, K, L e M seguem os esquemáticos e o layout da placa principal desenhados no software Altium Winter Designer®.



**Figura 20: Diagrama com os principais blocos de hardware que compõem a placa principal.**



**Figura 21: Placa principal do CarQuad.**

A placa principal contém, primeiramente, uma unidade sintetizadora de sinal integrada a uma unidade osciladora. A unidade sintetizadora é responsável por gerar o sinal aplicado ao circuito sob teste.

O sintetizador do sinal digital conhecido como DDS (*Direct Digital Synthesizer*) utilizado é o circuito integrado ISL5314 da Intersil. As figuras 22, 23 e 24 retiradas do *datasheet* do fabricante informam a pinagem, o diagrama interno do circuito integrado e a descrição das funcionalidades de cada pino. Este CI, conforme o *datasheet*, tem opções de taxa de amostragem de saída de 125 MSPS (*mega samples per second*) a uma alimentação digital de 5.0 Volts e uma taxa de 100 MSPS (*mega samples per second*) a 3.3 Volts. Possui 14 bits para conversão de sinal digital para analógico com referência interna de tensão de 1.2 Volts. A frequência pode ser programada em até 48 bits sendo que a configuração e o controle são realizados tanto por interface paralela do processador quanto por interface serial assíncrona na qual os dados podem ser transmitidos em palavras de até 40 bits.

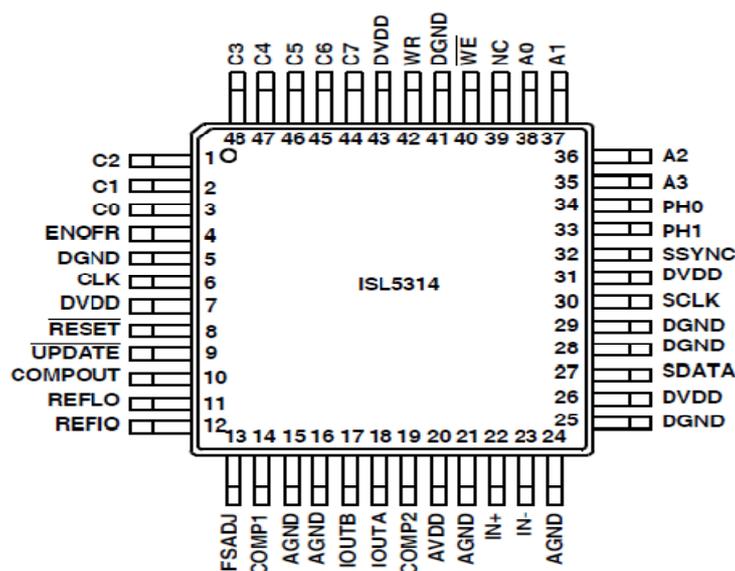


Figura 22: Pinagem do DDS.

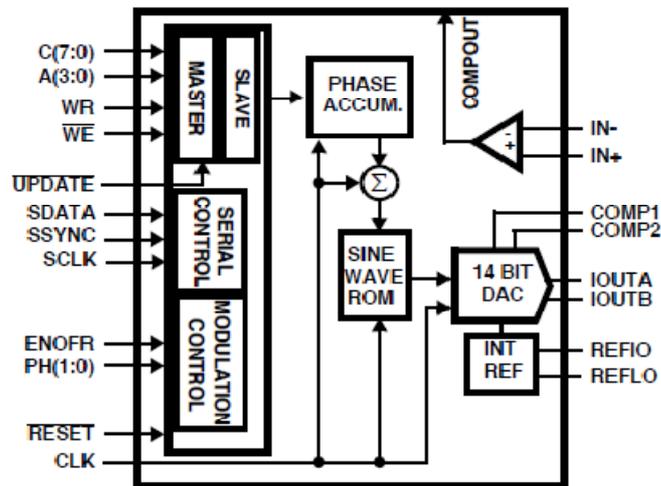


Figura 23: Diagrama de blocos do DDS.

PIN NO.	PIN NAME	TYPE	PIN DESCRIPTION
44-48, 1-3	C(7:0)	Input	8-bit processor input data bus. C7 is the MSB. Data is written to the control register selected on A(3:0) on the rising edge of WR when WF is active
42	WR	Input	Write clock for the processor interface. Parallel data is clocked into the chip on the rising edge of WR.
40	$\overline{WE}$	Input	Write enable. Active low. $\overline{WE}$ must be active when writing data to the chip.
35-38	A(3:0)	Input	Processor interface address bus. These pins select the destination register for data on the C(7:0) bus. A3 is the MSB
6	CLK	Clock	NCO and DAC clock. The phase accumulator and DAC output update on the rising edge of this clock. CLK can be asynchronous to the WR clock.
8	$\overline{RESET}$	Input	Reset. Active low. Resets control registers to their default states (see register description table) and zeroes the feedback in the phase accumulator. UPDATE must be low for Reset to occur.
30	SCLK	Input	Serial clock. Polarity is programmable. See control word 12. May be asynchronous to CLK. If not used, connect to DGND.
27	SDATA	Input	Serial data. See control word 12. If not used, connect to DGND.
32	SSYNC	Input	Serial sync. See control word 12. If not used, connect to DGND.
9	$\overline{UPDATE}$	Input	Active low. Updates the active control registers only. It has no effect on the ENOFR or PH(1:0) pins. This pin is provided for updating an entire frequency word at once rather than byte by byte
33, 34	PH(1:0)	Input	Phase offset bits. The phase of the output is shifted. If not used, these pins should be grounded. 00 – 0° reference 01 – 90° shift 10 – 180° shift 11 – 270° shift
4	ENOFR	Input	Enable offset frequency. Active high. When high, the offset frequency bus is enabled to the phase accumulator. When low, the offset frequency bus is zeroed. This pin does not affect the contents of the offset frequency registers. If not used, the pin should be grounded.
10	COMPOUT	Output	Comparator output.
11	REFLO	Input	Connect to analog ground to enable the DAC's internal 1.2V reference or connect to AV <sub>DD</sub> to disable the internal reference.
12	REFIO	Input	Reference voltage input for the DAC if internal reference is disabled. Recommend the use of a 0.1µF cap to ground from the REFIO pin when a DC reference voltage is used.
13	FSADJ		Full scale current adjust for the DAC. Use a resistor to ground (R <sub>SET</sub> ) to adjust the full scale output current. Full Scale Output Current = 32 x V <sub>FSADJ</sub> /R <sub>SET</sub> , where V <sub>FSADJ</sub> equals the reference voltage
14	COMP1		Noise reduction for the DAC. Connect a 0.1µF cap to AV <sub>DD</sub> plane.
19	COMP2		Noise reduction for the DAC. Connect a 0.1µF cap to AGND plane.
18	IOUTA	Output	DAC current output.
17	IOUTB	Output	DAC complementary current output.
20	AVDD	Power	Analog supply voltage.
15, 16, 21, 24	AGND	GND	Analog ground.
7, 26, 31, 43	DVDD	Power	Digital supply voltage.
5, 25, 28, 29, 41	DGND	GND	Digital ground.
22, 23	IN+, IN-	Input	Comparator inputs. To power down the comparator, connect both of these pins to the analog power supply. This will conserve -4mA of current.
39	NC	NC	No connect.

Figura 24: Descrição dos pinos.

Do *datasheet* retira-se que a freqüência gerada pelo Sintetizador depende dos registradores CF, registrador de freqüência central, OF, registrador de *offset* de freqüência, e SF, registrador de freqüência serial. Na equação 1 obtida com o fabricante,  $f_{clk}$  corresponde à freqüência de clock do DDS e  $f_{out}$  a freqüência de saída gerada.

$$f_{out} = f_{clk} \cdot \frac{(CF + OF + SF) \bmod(2^{48})}{2^{48}}$$

**Equação 1: Freqüência de saída gerada pelo DDS**

A interface paralela com o processador se resume em 8 bits de escrita apenas. São 8 bits de dados (C7:C0), 4 bits de endereço (A3:A0), um sinal de escrita (WR) e sinal de ativação da escrita (WE\). Essa interface é do tipo *master/slave*. Assim sendo, o usuário escreve a freqüência desejada nos registradores no mestre (*master*) e através do pino (UPDATE\) é atualizada a freqüência no dispositivo escravo (*slave*). (Datasheet do ISL5314)

As saídas analógicas do DDS correspondem aos pinos IOUTA e IOUTB, sendo saídas em corrente. Para obter a saída em tensão é desejável adicionar resistores na saída. Já com relação ao clock do conversor se trata do mesmo utilizado pelo DDS.

Integrado à sintetização do sinal tem-se uma unidade osciladora que é composta pelo circuito integrado Ho - 13C/ 16C da Hosonic Industrial do Brasil Ltda. A figura 25 obtida com o fabricante ilustra esse componente. Segundo as características retiradas do *datasheet*, caracteriza-se de um oscilador que opera com uma freqüência de 50 MHz, funcionando a 5 Volts, e operando dentro da faixa de temperatura de 0°C a 70°C. Ainda, segundo o fabricante, o oscilador apresenta uma tolerância de  $\pm 100$  ppm.



**Figura 25: Unidade osciladora.**

Após o sinal ser gerado ele é transmitido ao circuito sob teste representado pelo bloco de saída na figura 20, porém o sinal passa anteriormente por estágios de amplificação, filtragem por filtro passa-baixa de ordem 2, por controle de atenuação e através de um buffer de corrente. Nesses estágios foram utilizados os seguintes circuitos integrados apropriados para cada finalidade.

- AD8040: é um circuito integrado amplificador operacional da Analog Devices. Está apresentado na figura 26, retirada do *datasheet* do componente. Segundo as características apresentadas pelo fabricante, trata-se de um componente de baixo consumo cujo diferencial é contar com uma rápida resposta de saída. Sua entrada é do tipo *rail-to-rail* e sua banda de operação é de 125 MHz. Foi utilizado na placa principal nas configurações como seguidor de tensão, como filtro ativo passa-baixa de segunda ordem, na configuração básica de inversor de tensão e como integrante na montagem amplificador de instrumentação.

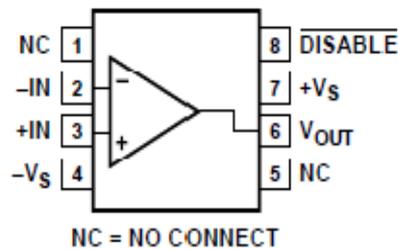


Figura 26: Pinagem do AD8040.

- M74HC4051: é um circuito integrado multiplexador analógico da STMicroelectronics. As figuras 27, 28 e 29 obtidas com o fabricante trazem informações da pinagem, tal como a descrição e tabela das configurações do CI. Tem como características, retiradas do *datasheet*, baixa dissipação de potência, apresenta larga faixa de tensões possíveis na entrada, sendo especificada pelo fabricante a faixa de  $\pm 6$  Volts, possui chaveamento de 15 ns, além de alta imunidade a ruído e baixa distorção. Este Multiplex/Demultiplex conta com 8 interruptores analógicos bidirecionais e cujo controle pode ser digital, mas é necessário uma resistência em torno de 700  $\Omega$  para concretizar a comutação.

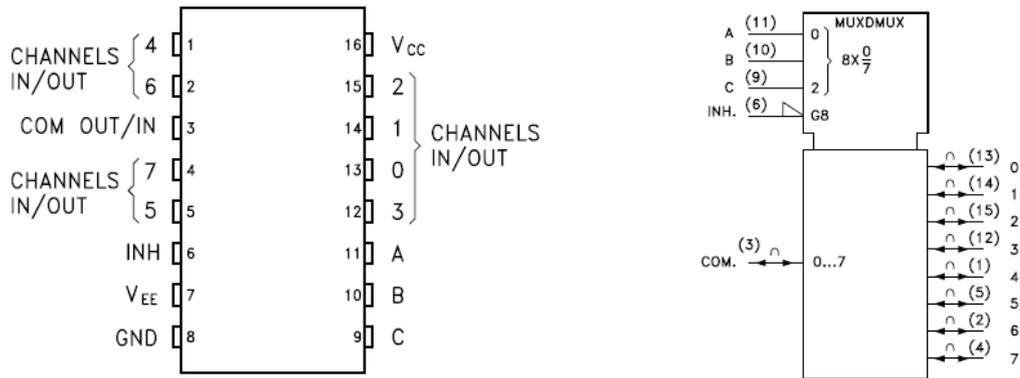


Figura 27: Pinagem do multiplexador M74HC4051.

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
3	COM OUT/IN	Common Output/Input
6	INH	INHIBIT Input
7	$V_{EE}$	Negative Supply Voltage
11, 10, 9	A, B, C	Select Inputs
13, 14, 15, 12, 1, 5, 2, 4	0 to 7	Independent Input/Outputs
8	GND	Ground (0V)
16	$V_{CC}$	Positive Supply Voltage

Figura 28: Descrição dos pinos.

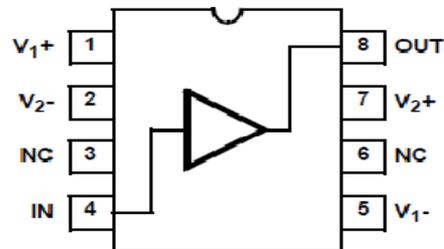
INPUT STATE				ON CHANNEL
INH	C	B	A	
L	L	L	L	0
L	L	L	H	1
L	L	H	L	2
L	L	H	H	3
L	H	L	L	4
L	H	L	H	5
L	H	H	L	6
L	H	H	H	7
H	X	X	X	NONE

X: Don't care

Figura 29: Tabela verdade das saídas do multiplexador.

- HA-5002: é um circuito integrado amplificador tipo buffer da Intersil. Esse amplificador, mostrado na figura 30 obtida do *datasheet* do componente, foi utilizado na placa principal como um buffer de corrente, pois dentre suas características também obtidas do *datasheet* estão a alta faixa de operação,

em torno de 110 MHz, alta saída de corrente e elevado *slew rate*. Segundo o fabricante, esse componente tem capacidade de fornecer até  $\pm 200$  mA de corrente de saída com uma impedância de saída de  $3 \Omega$ .



**Figura 30: Pinagem do buffer de corrente utilizado HA-5002 da Intersil.**

Na sequência, a placa principal apresenta o hardware responsável pela detecção de amplitude, de fase e medição de impedâncias, os quais os sinais são enviados para a placa eAT55 onde são processados. Para definição desse *hardware* foram utilizados circuitos integrados de modo a satisfazer as necessidades do condicionamento adequado do sinal. Do sinal que é enviado para o circuito sob análise, ou seja, do qual são obtidos as informações de entrada do circuito, verificou-se a necessidade de amplificar o sinal, controlar o ganho, selecionar uma das entradas analógicas, realizar a multiplicação e por fim a fazer a filtragem antes de enviar ao processador. Já o sinal que é obtido da saída do circuito sob teste passa, primeiramente, por um buffer de corrente, depois por uma atenuação, em seguida pela sequência de seleção, multiplicação e filtragem e por fim é enviado ao processador. Além do hardware de condicionamento e ajustes dos sinais foram utilizados alguns flip-flops para registrar as configurações iniciais e como chaves para a escolha da frequência de entrada e saída adequada. Abaixo estão apresentados os circuitos integrados utilizados no desenvolvimento dos blocos citados.

- ADA4861-3: é um circuito integrado com três amplificadores operacionais da Analog Devices. A pinagem está apresentada na figura 31, obtida do *datasheet* do componente. Conforme o fabricante especifica no *datasheet*, trata-se de um operacional com rápida resposta de saída, com ampla faixa de alimentação aceitando a faixa de valores de 5 Volts a 12 Volts, apresenta baixo consumo e alta corrente de saída, em torno de 25 mA. Tem banda de operação de 730 MHz. Esse componente foi utilizado na placa principal na

configuração amplificador de instrumentação para condicionamento e na configuração básica inversora para produzir ganho de sinal.

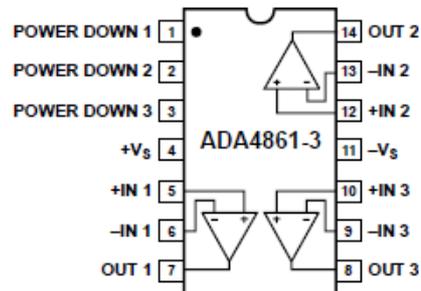


Figura 31: Pinagem do ADA4861-3.

- M74HC374: é um circuito integrado Flip-flop octal do tipo D com saída não inversora *tri-state* da STMicroeletronics. A pinagem do CI segue descrita na figura 32, retirada do datasheet do componente. Pelo *datasheet*, ele é controlado por um sinal de clock (pino CK). Na transição positiva do clock as saídas Q assumem os estados lógicos presentes nas entradas D. O pino (OE) ativa as saídas.

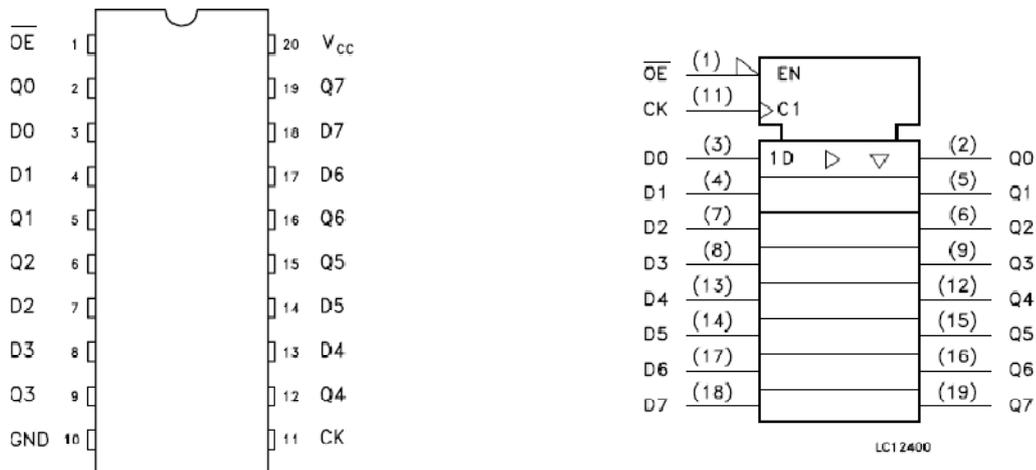


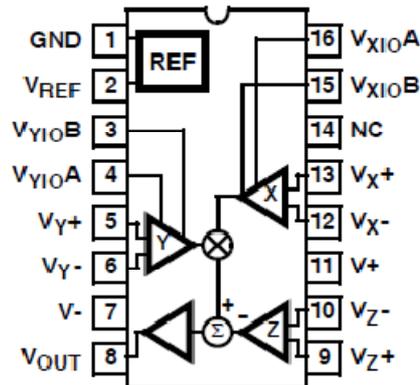
Figura 32: Pinagem do M74HC374.

- HA-2556: é um circuito integrado multiplicador analógico de tensão da Intersil. Nas figuras 33 e 34, obtidas com o fabricante, estão apresentadas a pinagem do componente e o diagrama interno de funcionamento do multiplicador, respectivamente. Nas características técnicas descritas pelo fabricante, ele apresenta rápida resposta de saída, possui banda de operação de 57 MHz e conta com 4 canais de entrada. Seu funcionamento fornece uma saída que corresponde à multiplicação das entradas divididas por um fator constante de

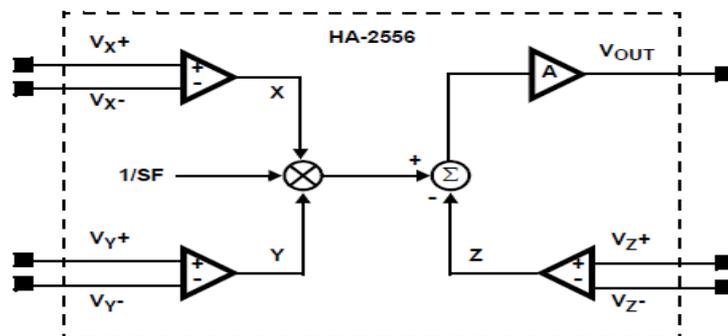
5 Volts, como é apresentado na equação 2. O resultado da operação tem a polaridade conforme a polaridade dos sinais aplicados às entradas X e Y. Tal componente foi utilizado na placa principal para fazer a detecção de fase dos sinais de entrada e saída do circuito sob teste.

$$V_{out} = Z = \frac{(X \cdot Y)}{5}$$

**Equação 2: Valor de saída do HÁ-2556**



**Figura 33: Pinagem do multiplicador HA-2556.**



**Figura 34: Diagrama de blocos do multiplicador analógico.**

- M74HC138: é um circuito integrado decodificador de 3 para 8 da STMicroelectronics. A figura 35 retirada do datasheet do componente apresenta a pinagem do decodificador. Segundo o *datasheet*, esse CI apresenta baixo consumo, alta imunidade a ruído e larga faixa de operação de tensão, além de funcionar na faixa de tensão que vai de 2.0 Volts a 6.0 Volts. Na placa principal ele foi utilizado como selecionador de frequências.

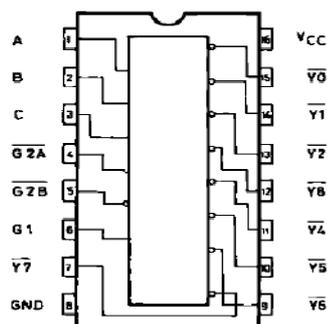


Figura 35: Pinagem do decodificador M74HC138.

Conforme apresentado na figura 20, existem dois selecionadores para o circuito sob análise, um para a entrada e outro para a saída. Foi projetada uma placa, mostrada na figura 36, para fazer esse seccionamento de entrada e saída dos circuitos sob teste. Nos anexos N e O seguem apresentados o diagrama esquemático e o *layout* da placa, respectivamente.

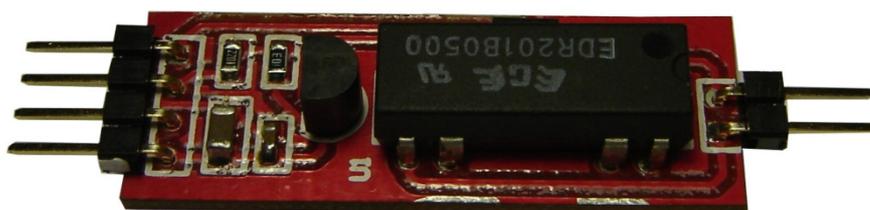
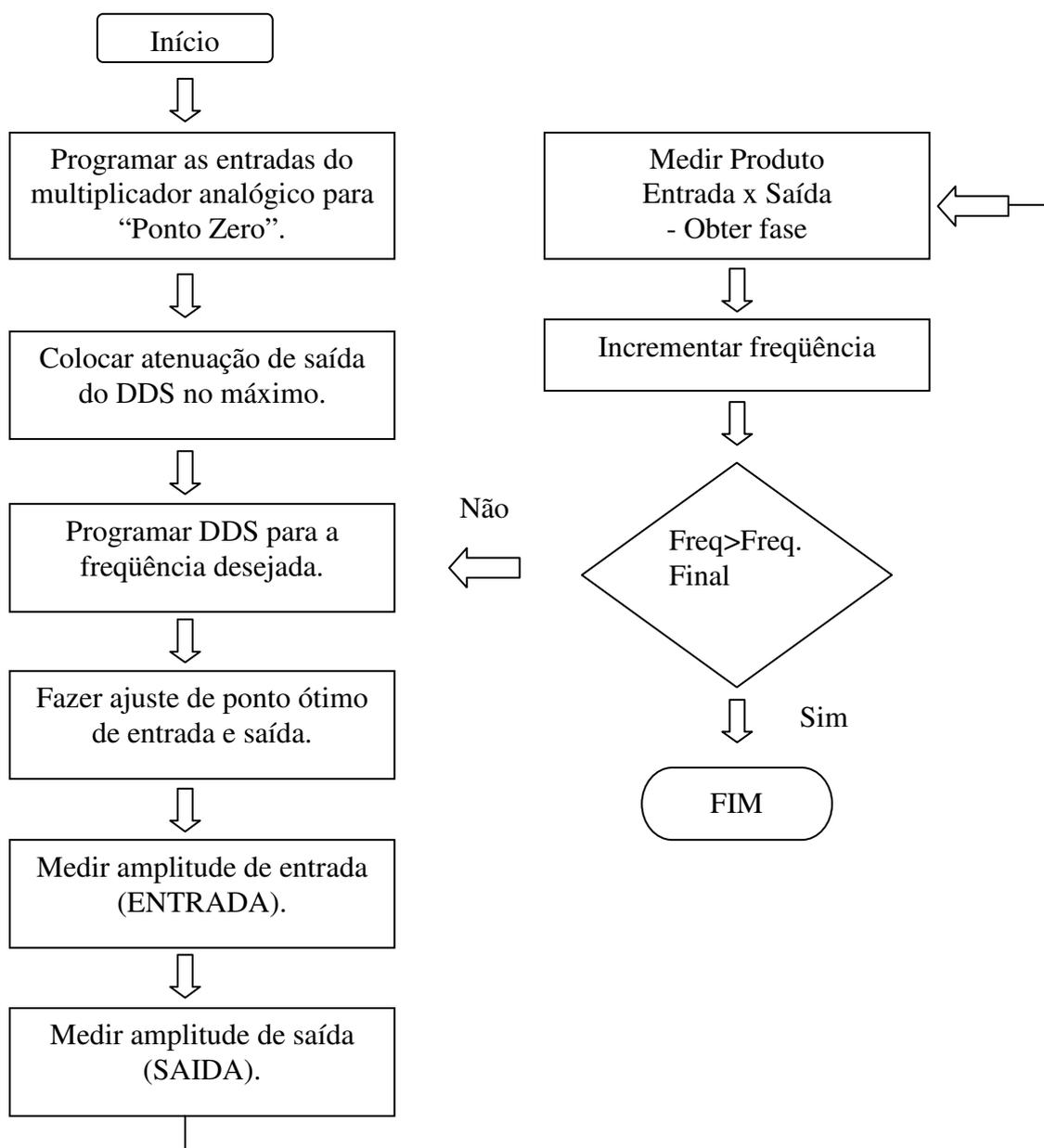


Figura 36: Placa do relé

## 3.2 FIRMWARE

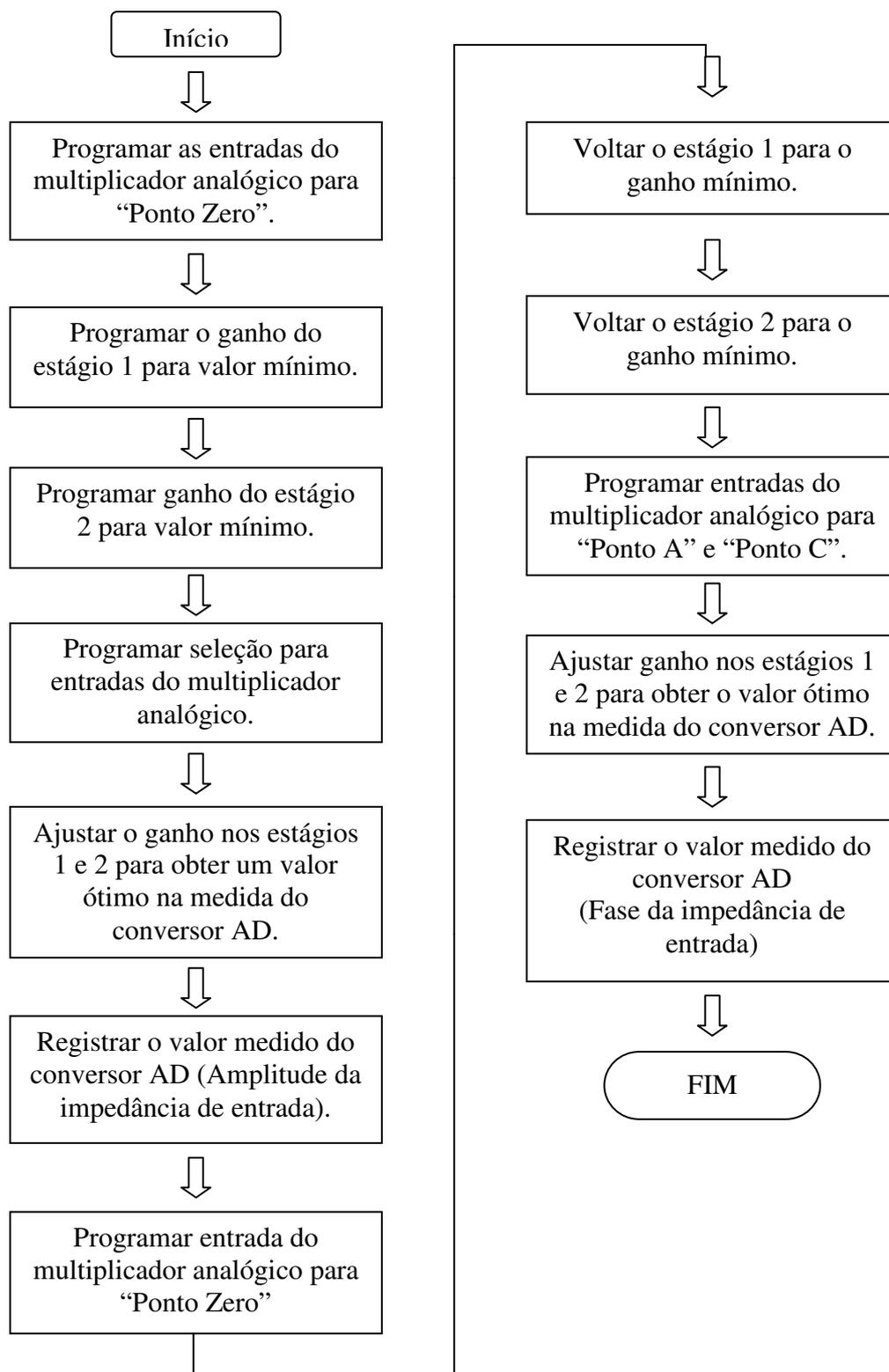
O firmware do CarQuad foi implementado na interface de desenvolvimento IAR Embedded Systems®. Ele inclui todas as funcionalidades e comandos para acesso ao *display touch screen* via SPI na placa eAT55 e todo o controle da placa principal como a geração de sinal por intermédio do DDS, a medição de amplitude e fase pelos multiplicadores analógicos, medição da impedância de entrada e a medição da impedância de saída. Nas figuras abaixo seguem os fluxogramas do firmware para cada controle efetuado na placa principal. Para melhor compreensão dos fluxogramas é necessário analisar os esquemáticos da placa principal que seguem nos anexos H, I, J, K e L já comentados.

A figura 37 apresenta o fluxograma básico para medição das amplitudes dos sinais de entrada e saída e para medição da fase desses sinais.



**Figura 37: Fluxograma para medição de fase e amplitude dos sinais do circuito sob teste**

O CarQuad também realiza a medição de impedâncias complexas do circuito sob teste. Na sequência, a figura 38 apresenta o fluxograma básico para medição da impedância de entrada.



**Figura 38: Fluxograma para medição de impedância de entrada**

Já a figura 39 apresenta o fluxograma básico para medição da impedância de saída.

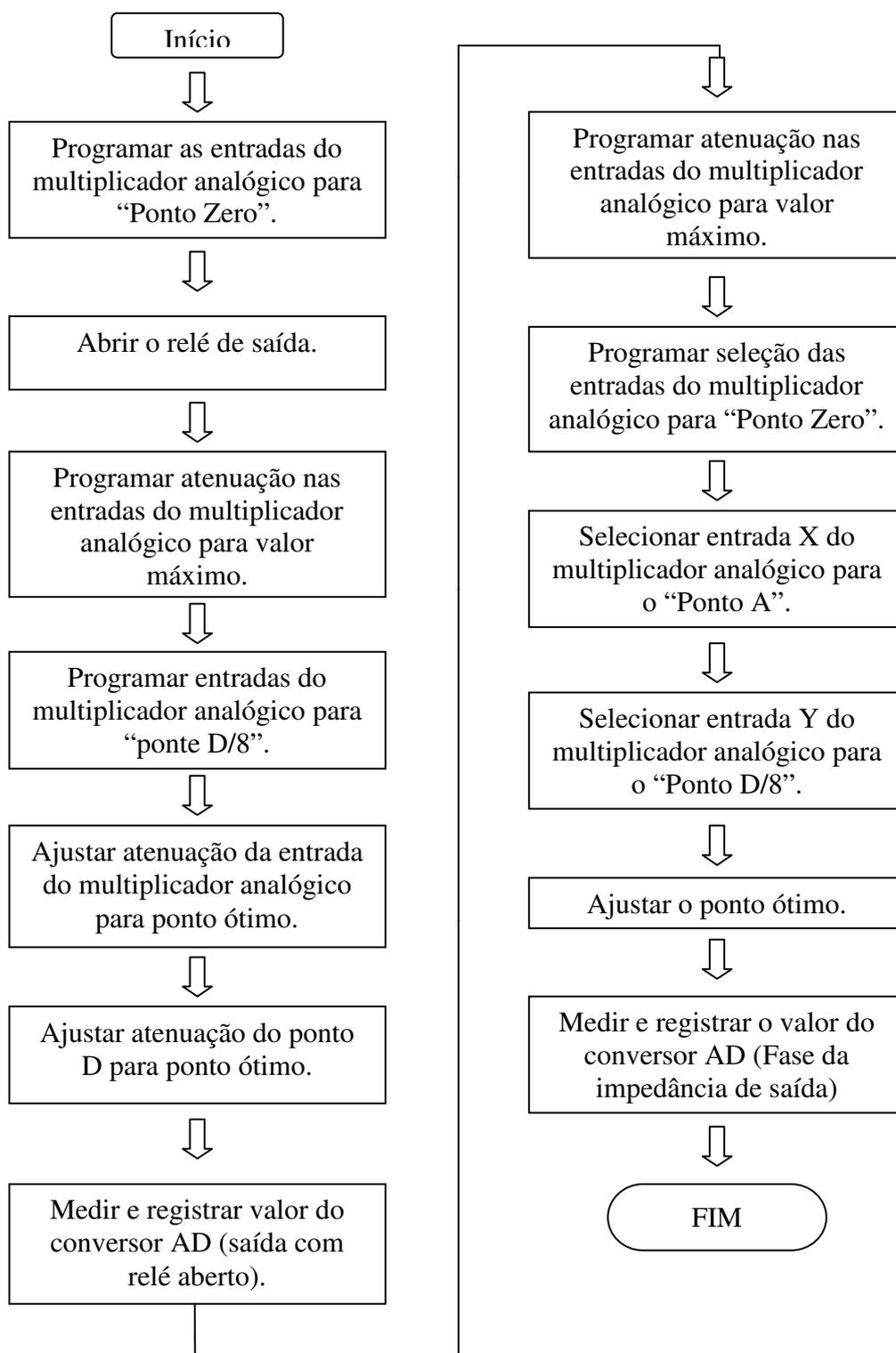


Figura 39: Fluxograma para medição de impedância de saída.

---

### **3.3 SOFTWARE**

Na elaboração da proposta do projeto levantou-se a possibilidade de utilizar o Visual Studio da Microsoft, já que durante a graduação fizemos uso desse ambiente de desenvolvimento em diversas disciplinas.

No entanto com o desenrolar do projeto, percebeu-se que a utilização dessa ferramenta aumentaria muito a complexidade da implementação do software. O motivo disso é que para obter os parâmetros necessários são necessárias diversas operações aritméticas com os dados recebidos da plataforma e muitas dessas operações não estão presentes nas bibliotecas existentes tendo que ser desenvolvidas do início.

Outro ponto que contribui para a busca de uma nova ferramenta de desenvolvimento foi a questão de armazenagem dos dados recebidos e também da geração dos gráficos. A idéia era possuir uma ferramenta que disponibilizasse aos usuários os gráficos prontos, mas que também possibilitasse que ele trabalhasse com os dados obtidos por conta própria, possibilitando análises mais aprofundadas, se necessário.

Devido a todos os motivos citados acima, optou-se por utilizar o Visual Basic Applications (VBA), que consiste em uma plataforma de desenvolvimento que possibilita que sejam desenvolvidas aplicações que são executadas sobre o Pacote Office da Microsoft. Para o nosso caso, optamos por desenvolver o software para o CarQuad utilizando o VBA e o Excel.

Dessa maneira, foi possível resolver todas as questões levantadas acima já que o Excel pode ser utilizado como um banco de dados, pois possui todas as ferramentas necessárias para a realização de operações aritméticas e lógicas, além de disponibilizar também várias opções de gráficos e com a utilização do Visual Basic foi possível realizar a comunicação entre o PC e o kit e também criar uma interface entre o usuário e o software.

Para aprender como programar em VBA utilizou-se um tutorial disponível no site do Julio Battisti (<http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais>) e o livro “Visual Basic for Electronics Engineering Applications Second Edition” do autor Vicent Himpe.

Abaixo, temos a figura 40 que mostra a tela de abertura do CarQuad, que possui uma tabela à esquerda com os parâmetros obtidos nas medições realizadas

com o hardware e à direita possui um botão, que serve para acionar a interface do usuário com o software, que é mostrada na figura 41.

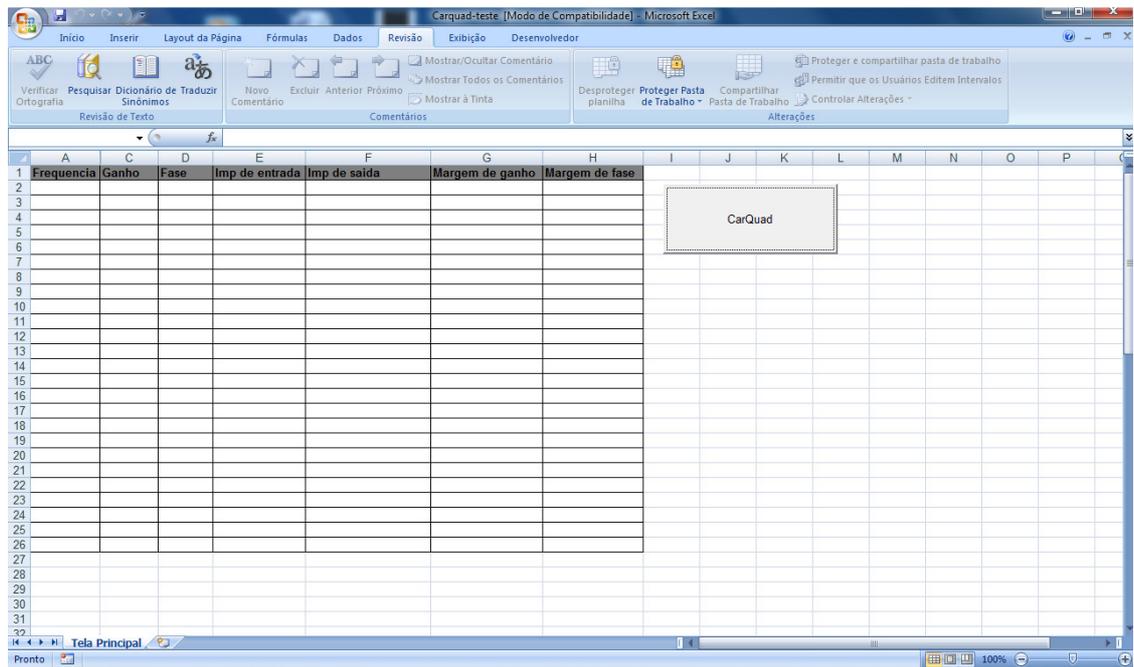


Figura 40: Tela de abertura do software do CarQuad

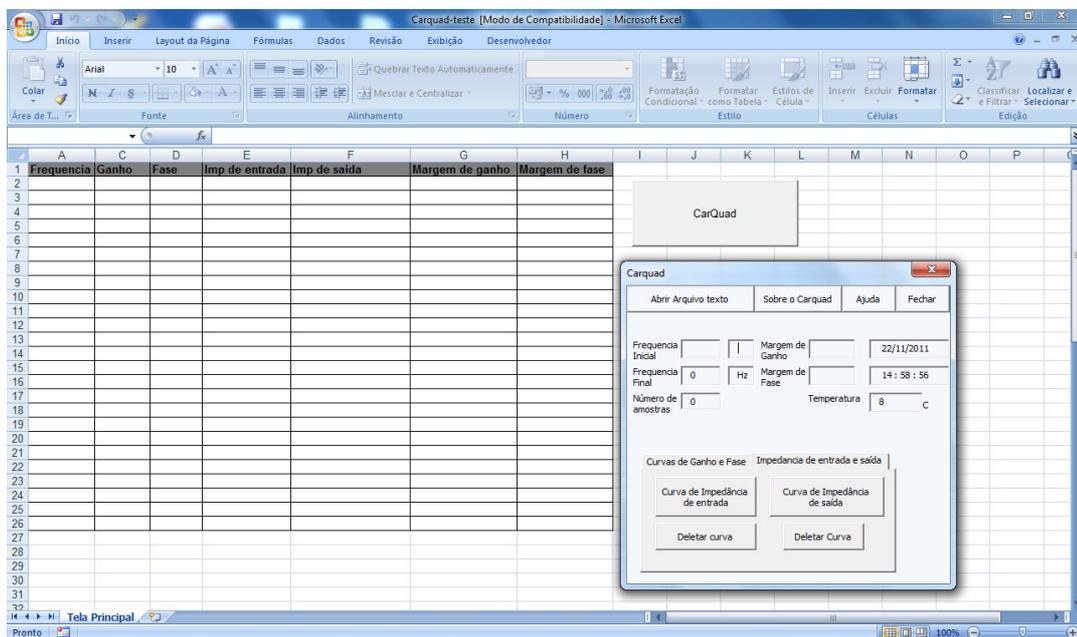


Figura 41: Interface com o usuário

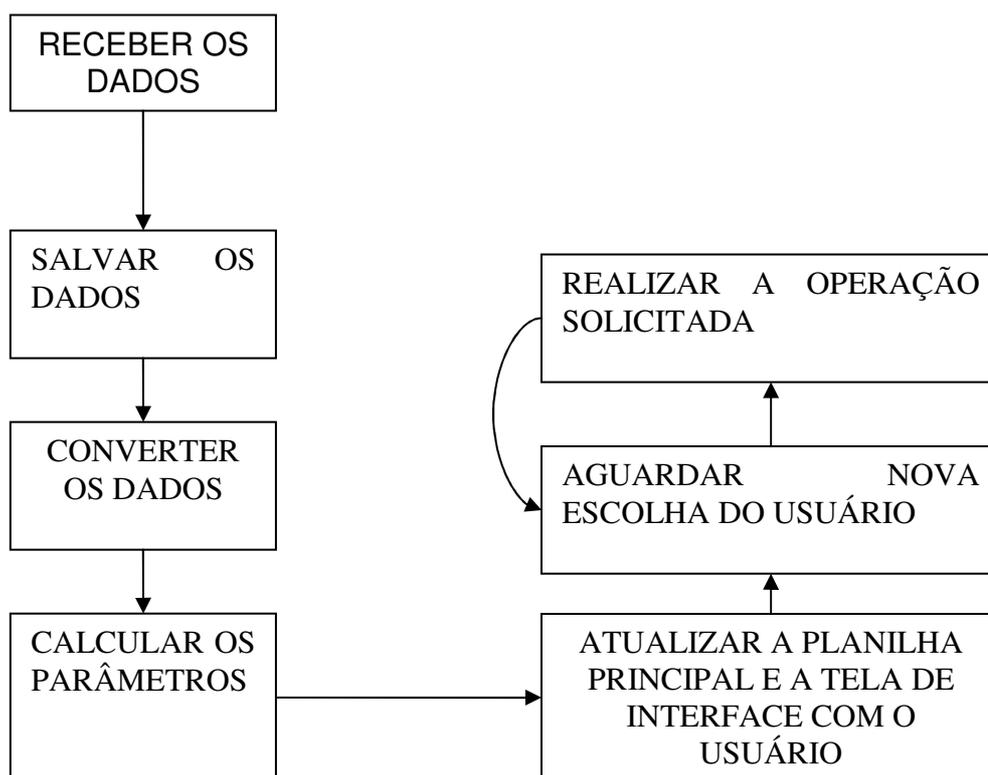
Através do *userform* de interface entre o usuário e o software, o aluno será capaz de visualizar os parâmetros que definiu ao solicitar a medição do circuito-teste, sendo eles: frequência inicial, frequência final, solicitação de medição ou não

da impedância de entrada e saída. Além disso, apresentam-se: data, hora, número de amostras coletadas e temperatura ambiente no momento das medições.

Através dessa janela, o usuário solicitará a abertura do arquivo com os dados enviados pelo hardware e escolherá os gráficos que ele deseja obter tendo como opção: curva de ganho, curva de fase, curva de impedância de entrada e de impedância de saída. E ainda, a opção de calcular a margem de fase e a de ganho.

Além dos itens citados acima, o usuário pode ter informações sobre o CarQuad, clicando no botão “Sobre” e também ter acesso ao manual de utilização clicando no botão “Ajuda”.

Para explicar de maneira mais clara como o software funciona, abaixo, na figura 42, se tem um fluxograma. Esse fluxograma foi feito partindo-se do ponto que o usuário abriu o arquivo Excel, clicou no botão “CarQuad” e irá importar os dados obtidos pela plataforma.



**Figura 42 – Fluxograma da lógica de funcionamento do software**

As informações obtidas do CarQuad são enviados via uma interface serial (USART0) da placa eAT55 e são armazenadas em um arquivo através do software Realterm®.

O Realterm é um programa que funciona como um terminal serial. A figura 43 apresenta a interface principal do programa. Ele tem a função de capturar dados binários, realizar o controle do fluxo de dados e depurar as informações recebidas. Tem vantagens como apresentação dos dados em diversos formatos como Ascii, ANSI, Hexadecimal, inteiro de 8 bits, inteiro de 8 bits sem sinal, inteiro de 16 bits, inteiro de 16 bits sem sinal, binário, em ponto flutuante. Além disso, fornece diversas opções de seleção de *baud rate*, seleção de tamanho de dados, e conta com indicadores em tempo real de recepção e transmissão.

Para salvar as informações enviadas pelo hardware foi utilizado o modo de captura do Realterm. Nesse modo, como mostrado na figura 44, determina-se o local do arquivo, o tipo de dados recebidos e a forma como serão armazenados os dados no arquivo, por exemplo com espaço entre cada dado ou com uma vírgula. Isso é de relevância, pois deve estar sincronizado com o formato estabelecido pelo software no Excel.

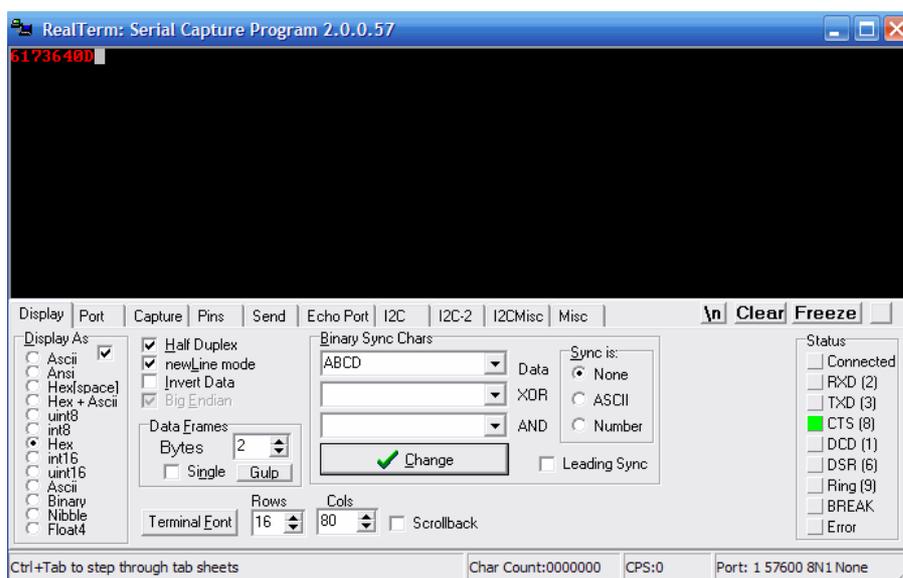


Figura 43: Interface principal do Realterm

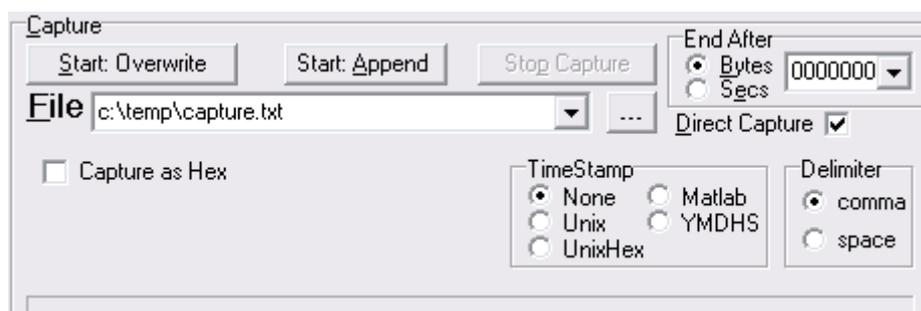


Figura 44: Modo de captura do software Realterm.

Na seqüência tem-se uma descrição dos *bytes* enviados e explicações de como os parâmetros desejados serão obtidos a partir dos dados enviados pelo hardware.

Os primeiros 20 *bytes* enviados correspondem aos parâmetros do teste, listados abaixo e que seguem a seqüência mostrada no quadro 4.

- Frequência Inicial
- Frequência Final
- Número de amostras
- Medição de Zin ( Sim/Não)
- Medição de Zout (Sim/Não)
- Valor do resistor RL
- Temperatura

<b>Parâmetro</b>	Freq. inicial		UND	Freq. final		UND	Nr. de amostras		Zin ?	Zout?
<b>Byte</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Parâmetro</b>	Valor de RL		UND	Temp	RESERVADO					
<b>Byte</b>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

**Quadro 4: Parâmetros de teste**

Além dos *bytes* das unidades e de medição de Zin e Zout, impedância de entrada e saída, respectivamente, que são convertidos de acordo com o quadro 5, os demais *bytes* a serem recebidos são convertidos para decimais.

		Unidade de Frequência		
<b>Valor</b>		0x00	0x03	0x06
<b>Conversão</b>		Hz	MHz	MHz
		Unidade de Resistência		
<b>Valor</b>		0x00	0x03	0x06
<b>Conversão</b>				
		Escolha de medição de Zin e Zout		
<b>Valor</b>		0x00		0xFF
<b>Conversão</b>		NÃO *		SIM**

\*Dados serão enviados como zero

\*\*Dados serão enviados segundo medidas

**Quadro 5 – Regras de conversão para as unidades de frequência e resistência e para escolha de medição ou não de Zin e Zout**

Do *byte* 21 ao 40, serão enviadas informações para obter o valor da amplitude de entrada, da amplitude de saída e da fase de saída em relação à entrada para os valores de frequência dentro do intervalo de medição determinado. Abaixo, o quadro 6 mostra o conteúdo de cada um dos *bytes*.

Parâmetro	Freq.		UND	Valor AD (in)		MXA/ MYA	Valor AD(out)			MXS/ MYS	MXA/ MYA		
<b>Byte</b>	21	22	23	24		25	26			27	28		
<b>Parâmetro</b>	Valor AD(fase)		MXS	MYS	MXA	MYA	RESERVADO						
<b>Byte</b>	29		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

**Quadro 6: Parâmetros para cálculo da amplitude de entrada, de saída e de fase**

O cálculo da amplitude de entrada está apresentado abaixo, na equação 3. A unidade de frequência segue a regra de conversão mostrada no quadro 5, já os *bytes* 21, 22, 24, 26 e 29 serão convertidos pra decimal e os demais seguem as regras descritas nas tabelas 1 e 2:

$$\text{Amp\_in} = \frac{\sqrt{\text{Byte}_{24} * 10 * \text{Res\_AD}}}{\text{Conversão Byte}_{25}}$$

**Equação 3: Fórmula para cálculo da impedância de entrada**

**Tabela 1: Codificação do MXA ou MYA**

Valor em binário	Atenuação
000	1
001	0,875
010	0,75
011	0,625
100	0,5
101	0,375
110	0,25
111	0,125

**Tabela 2: Codificação do MXS ou MYS**

Valor em binário	Atenuação
000~011	1
100	0,75
101	0,5
110	0,25

Abaixo as equações 4 e 5 são utilizadas para o cálculo da amplitude de saída e do ângulo da saída em relação à entrada, respectivamente:

$$\text{Amp\_out} = \frac{\sqrt{\text{Byte}_{26} * 10 * \text{Res\_AD}}}{\text{Conversão Byte}_{27} * \text{Conversão Byte}_{28}}$$

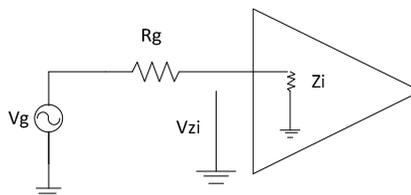
**Equação 4: Fórmula para cálculo da amplitude de saída**

$$\text{Ang\_out} = \text{acos} \left( \frac{\text{Byte}_{29} * \text{Res}_{AD} * 10}{\text{Amp}_{in} * \text{Amp}_{out} * \text{MXS} * \text{MXA} * \text{MYS} * \text{MYA}} \right)$$

**Equação 5: Fórmula para cálculo do ângulo de saída**

Para cálculo da impedância de entrada, utilizou-se o esquema mostrado na figura 45 e levou-se em conta as considerações listadas na sequência:

- Rg é fixo e igual a 50 Ω;
- Izi é comum a fonte, a Rg e a Zi por isso, o valor desta refletivo através de Rg ( resistivo puro) pode ser usado na determinação do ângulo de Zi;
- O cos φ, é o cosseno do ângulo entre Vzi e Izi;
- O módulo de Vzi é igual à amplitude de entrada.



**Figura 45: Esquema para cálculo da impedância de entrada**

No quadro 7 temos os bytes transferidos para que seja possível efetuar os cálculos:

Parâmetro	Valor AD(Vrg)	IRG1	IRG2	MXA/MYA	Valor AD ( fase Zin)	IRG1	IRG2	MXA	MYA	
Byte	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

**Quadro 7: Parâmetros para cálculo da impedância de entrada**

Determinando o valor do módulo de Vrg, com a equação 6, pode-se obter o valor em módulo de Izi, utilizando-se a lei de ohm:  $|Izi| = |Vrg| / Rg$ .

$$|Vrg| = \frac{\sqrt{\text{Byte}_{41} * \text{Res}_{AD} * 10}}{\text{Byte}_{44} * \text{Byte}_{43} * \text{Byte}_{42} * 10}$$

**Equação 6: Cálculo do módulo de Vrg**

Tendo-se o módulo de Izi consegue-se também com a utilização da lei de ohm obter o valor em módulo de Zi, como visto abaixo, na equação 7:

$$|Zi| = \frac{\text{Amp}_{in}}{|Izi|}$$

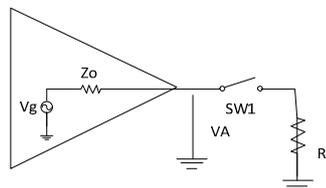
**Equação 7: Cálculo do módulo da impedância de entrada**

O ângulo de Zi, é o ângulo entre Vzi e Izi e é calculado como apresentado pela equação 8:

$$\text{Ang}_{Zin} = \text{acos} \left( \frac{\text{Byte}_{45} * \text{Res}_{AD} * 10}{|Vrg| * \text{MXA} * \text{Amp}_{in} * \text{MYA}} \right)$$

**Equação 8: Cálculo do ângulo da impedância de entrada**

Para calcular a impedância de saída utilizamos o esquema apresentado na figura 46:



**Figura 46: Esquema para cálculo da impedância da saída**

Do esquema acima conseguimos definir as equações abaixo:

- $Zo = Vzo / Izo$
- $Vzo = Vg - Vrl$ 
  - $Vg = Va$  para SW1 aberta
  - $Vrl = Va$  para SW1 fechada
- $Izo = Irl$
- $Izo = Vrl / RL$

Lembrando que RL é resistivo puro e que as fases das grandezas são determinadas em relação ao sinal de entrada.

Para obter o valor de todos esses parâmetros será feito o procedimento abaixo:

- 1) Medir a saída com a SW1 aberta, obtendo-se  $|Vg|$ ;
- 2) Colocando no multiplicador amplitude de entrada e amplitude de saída ( com relé aberto), obtem-se o ângulo de  $Vg$ ;
- 3) Com 1 e 2 temos o módulo e o argumento de  $Vg$ ;
- 4) Medir saída com relé fechado, obtem-se  $|Vrl|$  ( Esse valor já foi calculado e é igual a amplitude de entrada);
- 5) O ângulo relativo de  $RI$ , é aquele já medido entre amplitude de entrada e amplitude de saída.

Com isso essas informações realizar as operações abaixo:

- $Vzo = (|Vg|, \text{Ang}(Vg)) - (|Vrl|, \text{Ang}(Vrl))$
- $Irl = (|Vrl|, \text{Ang}(Vrl)) / RL$
- $Zo = Vzo / Irl$

Para que o software seja capaz de fazer os cálculos, os *bytes* abaixo são necessários:

Parâmetro	Valor AD (Saída com SW1 aberta)	MXS/ MYS	MXA/ MYA	Valor AD (fase $Vg$ )	MXS	MYS	MXA	MYA	RESERVADO	
Byte	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

**Quadro 8: Parâmetros para cálculo da impedância de saída**

E as equações abaixo são utilizadas para calcular o módulo e o argumento de  $Vg$ :

$$|Vg| = \frac{\sqrt{\text{Byte}_{51} * \text{Res}_{AD} * 10}}{\text{Conversão Byte}_{52} * \text{Conversão Byte}_{53}}$$

**Equação 9: Cálculo módulo de  $Vg$**

$$\text{Ang}_{Vg} = \text{acos} \left( \frac{\text{Byte}_{54} * \text{Res}_{AD} * 10}{\text{Amplitude de entrada} * \text{MXS} * \text{MXA} * |Vg| * \text{MYS} * \text{MYA}} \right)$$

**Equação 10: Cálculo do argumento de  $Vg$**

### 3.4 KITS DE DEMONSTRAÇÃO

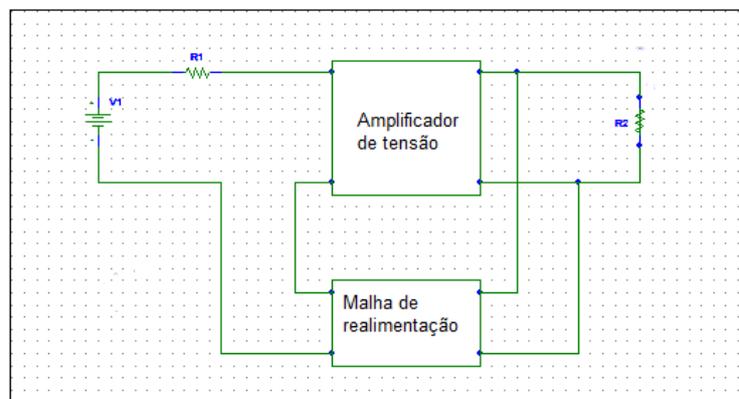
Os circuitos teste foram definidos com a orientação do professor Joaquim Miguel Maia do Departamento de Eletrônica e engloba circuitos definidos por ele para as aulas práticas da disciplina de Amplificadores. Os circuitos serão simulados no programa PSPICE Orcad e posteriormente montados em placas de circuito impresso. Dentre os circuitos definidos, seguindo as notas de aula ministradas pelo professor Joaquim na disciplina de amplificadores, estão um amplificador de tensão realimentado em malha fechada, um amplificador não-inversor de tensão com operacional, um amplificador inversor de tensão com operacional, dois filtros ativos, sendo um passa-baixas de 2ª ordem, um passa - alta de 1ª ordem, dois filtros passivos RLC e um circuito de potência.

#### 3.4.1 AMPLIFICADORES DE TENSÃO POR REALIMENTAÇÃO

Os amplificadores de tensão apresentam como característica amplificar um sinal de tensão na entrada e fornecer um sinal de tensão na saída amplificado.

Estes circuitos têm uma alta impedância de entrada e uma baixa impedância de saída e apresentam uma realimentação em malha fechada que serve para amostrar a tensão de saída. (Millman,J. Halkias,C.C., volume 2,1981)

Uma topologia para esses amplificadores é representada como na figura 47.



**Figura 47: Amplificador série de tensão ou tensão-série. Esse amplificador amostra tensão (paralelo) e compara tensão (série).**

A realimentação é utilizada em projetos de amplificadores, pois deseja-se obter a dessensibilização do ganho, redução de distorção, redução dos efeitos do

ruído, controle das impedâncias de entrada e saída e maior largura de banda do amplificador. No entanto, essas propriedades são obtidas à custa da redução do ganho. (Pedroni, Volnei A., 1986; Millman, J. Halkias, C.C., volume 2, 1981)

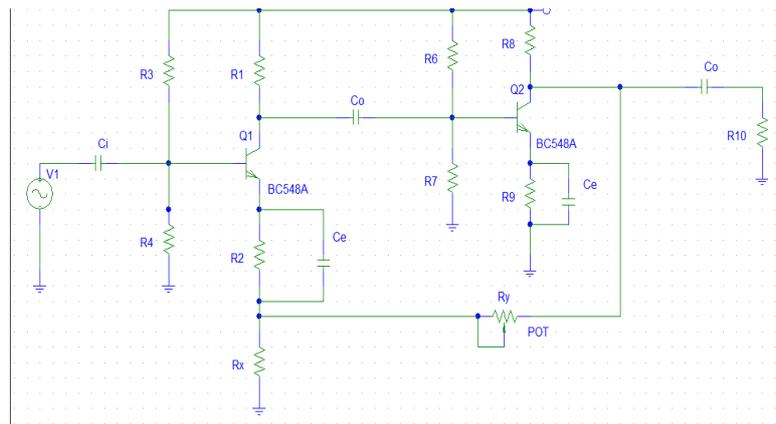
O amplificador de tensão apresentado na figura 48 tem um coeficiente de realimentação  $\beta$ , e ao qual o ganho do amplificador é inversamente proporcional, que permite ajustar o amplificador com a finalidade de mantê-lo estável. O Coeficiente de realimentação e o ganho estão descritos nas equações 11 e 12, respectivamente, retiradas das notas de aula do Prof. Doutor Joaquim .

$$\beta = \frac{R_y}{R_x + R_y}$$

**Equação 11: Coeficiente de realimentação**

$$A_{vf} = \frac{1}{\beta} = \left( \frac{R_x}{R_y} \right) + 1$$

**Equação 12: Ganho**



**Figura 48: Amplificador de tensão realimentado em malha fechada.**

### 3.4.2 CIRCUITOS COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

Um amplificador operacional (AmpOp) tem como característica apresentar um alto ganho, sendo que a entrada é descrita por uma resistência de alto valor e a saída por uma resistência em série com uma fonte de tensão. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

Em um AmpOp prático muitas limitações afetam o projeto dos circuitos. A resposta dos amplificadores a corrente contínua, por exemplo, tem limitação de ganho finito, nem sempre é possível obter o ganho especificado pelo ampop, tem impedância de entrada finita, tem impedâncias de saída maior que zero, apresentam

uma pequena corrente de entrada, e inclusive offset de tensão gerado na saída. Já a resposta dos operacionais à corrente alternada tem limitações como largura de banda finita, pois eles fazem compensação de frequência interna de modo a reduzir a realimentação positiva, além de necessitar de uma capacitância de entrada para permitir a operação em altas frequências. Apresenta também limitações não lineares como saturação, na qual a tensão de saída é limitada a um valor de pico levemente menor do que o valor da tensão de alimentação, inclusive limitações em termos de potência. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988; Pedroni, Volnei A., 1986; Millman, J. Halkias, C.C., volume 2, 1981)

Os circuitos com amplificadores operacionais têm diversas aplicações na área da eletrônica como no processamento de sinais, na filtragem, na amplificação, retificação de sinais, conversão de tensão- corrente e corrente- tensão, entre diversas outras.

### 3.4.2.1 AMPLIFICADOR INVERSOR DE TENSÃO

A montagem inversora de tensão, mostrada na figura 49, é uma montagem simples com amplificadores operacionais que apresenta limitações em ganho, frequência, impedâncias de entrada e saída. O ganho de tensão é negativo e obtido pela razão entre  $R_1$  e  $R_2$ . (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

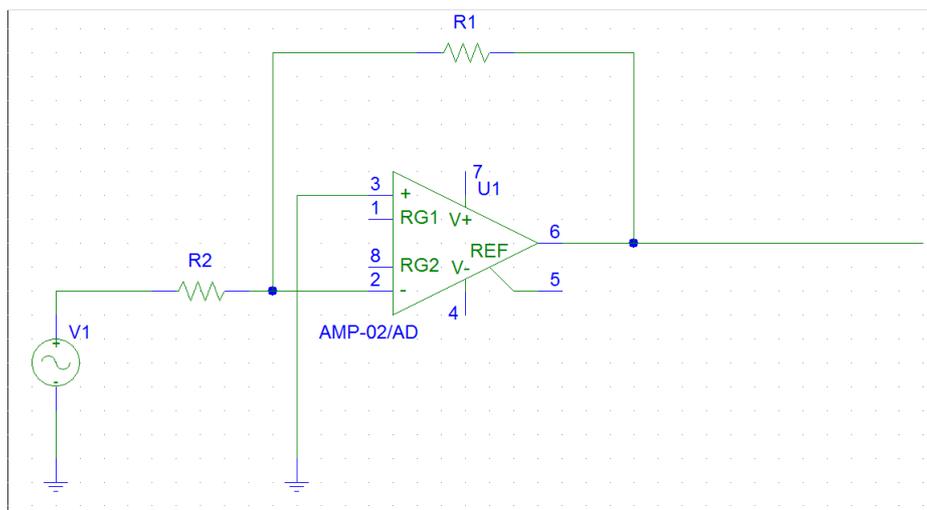


Figura 49: Amplificador inversor de tensão.

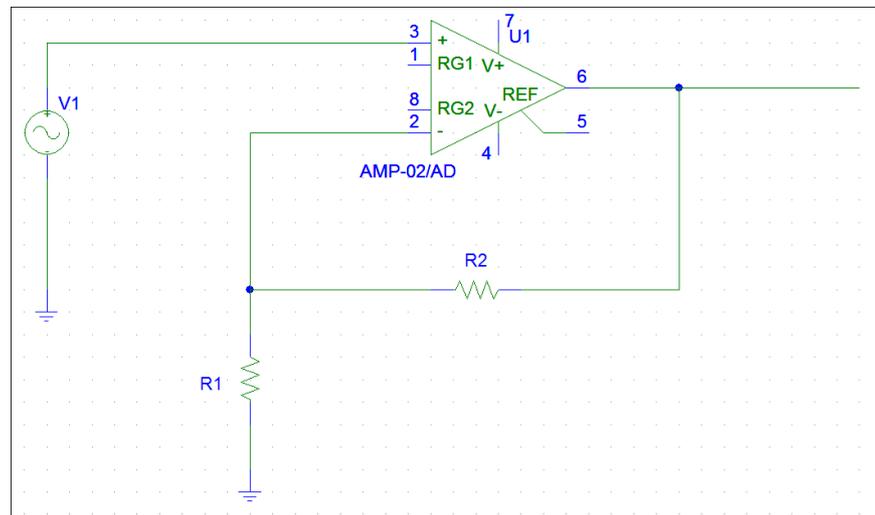
O ganho de tensão teórico é dado pela equação 13. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$Av = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

**Equação 13: Cálculo do ganho teórico**

### 3.4.2.2 AMPLIFICADOR NÃO-INVERSOR DE TENSÃO

A montagem do amplificador não-inversor de tensão, figura 50, é mais uma montagem simples com amplificador operacional. Nesta configuração o ganho de tensão é positivo e dependente da razão entre os resistores  $R_1$  e  $R_2$ . (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)



**Figura 50: Amplificador não-inversor de tensão.**

O ganho do amplificador é definido como na equação 14. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$Av = \frac{V_o}{V_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

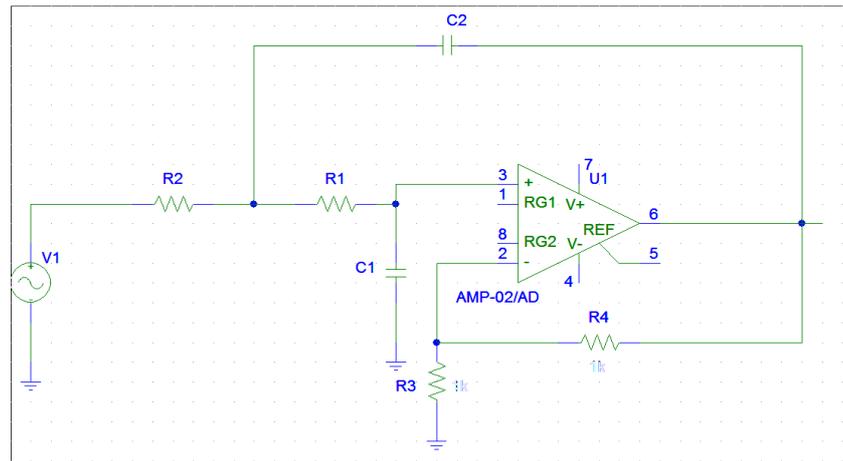
**Equação 14: Cálculo do ganho**

### 3.4.2.3 FILTROS ATIVOS

Filtros ativos diferenciam-se de filtros passivos pelo fato de utilizarem elementos ativos como amplificadores operacionais e transístores. Os filtros ativos definidos para integrar o CarQuad utilizam os amplificadores operacionais como

elementos ativos, pois além das suas características já citadas nos itens anteriores permitem a implementação de filtros com boas qualidades. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

Os filtros ativos podem assumir as configurações de passa-baixa, passa - alta, rejeita-faixa e passa-faixa. A Figura 51 mostra a montagem de um circuito passa-baixa de 2ª ordem do tipo Sallen Key.



**Figura 51: Filtro Ativo passa-baixa de 2ª ordem.**

O ganho desse filtro depende dos resistores R3 e R4 e é calculado como na equação 15. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$A_v = 1 + \frac{R4}{R3}$$

**Equação 15: Cálculo do ganho**

A característica desse filtro é permitir a passagem de baixas frequências e atenuar as altas. A frequência de corte é a frequência que, no caso de um filtro ideal cortaria a passagem do sinal ou para um filtro prático corresponde à frequência cuja atenuação é 3 dB, e que o sinal será atenuado cerca de 10dB por década. A frequência de corte é calculada como apresentado na equação 16. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2)}}$$

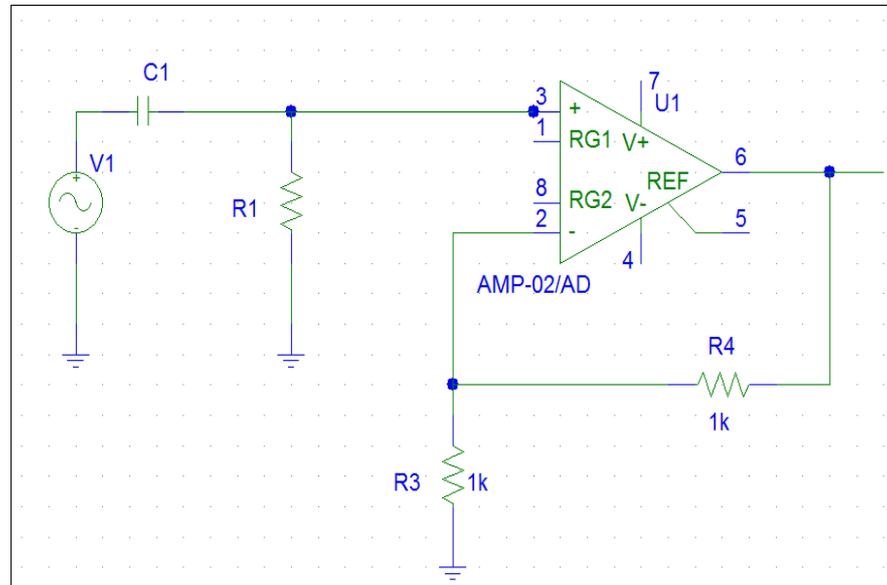
**Equação 16: Cálculo da frequência de corte**

Já a figura 52 mostra a montagem de um filtro passa - alta de 1ª ordem. Esse filtro tem como característica permitir a passagem de sinais em altas frequências e cortar a passagem em baixas. O ganho desse filtro ativo é expresso em função de

R3 e R4. Na equação 17 é apresentado o cálculo do ganho. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$A_v = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

**Equação 17: Cálculo do ganho**



**Figura 52: Filtro ativo passa - alta de 1ª ordem.**

A frequência de corte desse filtro é a frequência a partir da qual o sinal é transmitido e é calculada como mostrado na equação 18. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_1}$$

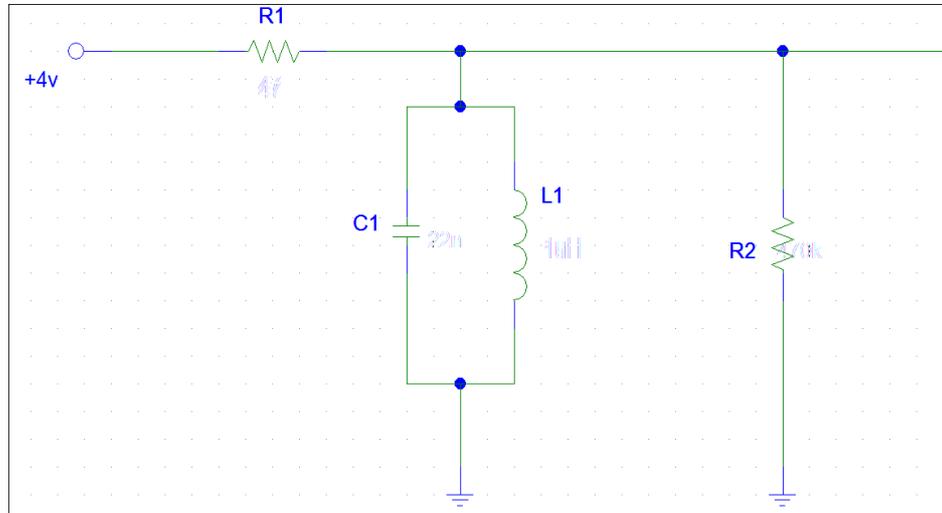
**Equação 18: Cálculo da frequência de corte**

A partir de filtros passa-baixa e passa - alta é possível projetar filtros rejeita-faixa e passa-faixa. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

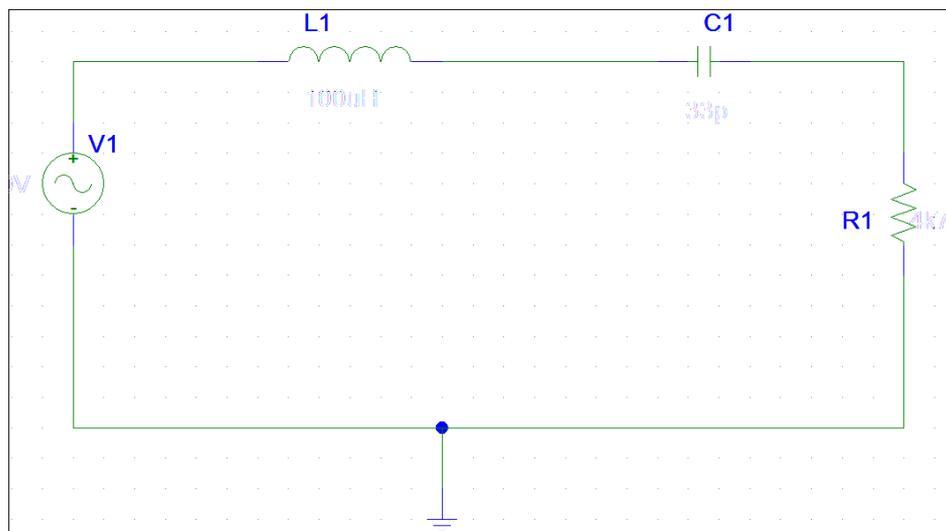
### 3.4.3 FILTROS PASSIVOS

Os filtros passivos são circuitos constituídos por resistores, capacitores e indutores. Esses circuitos podem ser encontrados em configurações série e paralelo. A sua característica de resposta conduzem a circuitos do tipo sobre-amortecidos, sub-amortecidos e criticamente amortecidos. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

Na figura 53 é apresentado o circuito de um filtro passivo numa configuração em paralelo. E na figura 54 um filtro passivo em configuração série.



**Figura 53: Filtro passivo 1**



**Figura 54: Filtro passivo 2**

Os filtros passivos RLC apresentados funcionam como filtros passa-faixa que oscilam numa frequência conhecida como frequência de ressonância. Nessa frequência o circuito se comporta como uma carga puramente resistiva, ou seja, toda a tensão de entrada estará sobre o resistor de saída. Segue na equação 19 o cálculo para determinação da frequência de ressonância para os circuitos apresentados. (Fernando Luis Rosa Mussoi, 2004)

$$\omega r = \sqrt{\frac{1}{L1 \cdot C1}} \text{ (rad/s)} \quad \text{ou} \quad fr = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L1 \cdot C1}}$$

**Equação 19: Cálculo da frequência de ressonância**

A partir do circuito é possível obter a função de transferência que é um número complexo. Da função de referência retiram-se o ganho de tensão (módulo da função de transferência) e a Fase (ângulo da função de transferência). As equações 20 e 21 mostram o cálculo do ganho de tensão e de fase, respectivamente, para o circuito RLC em paralelo. (Fernando Luis Rosa Mussoi, 2004)

$$Av = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{R1 - \omega^2 \cdot R1 \cdot L1 \cdot C1}{\omega \cdot L1}\right)^2}}$$

**Equação 20: Cálculo do ganho de tensão para circuito RLC paralelo**

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{R1 - \omega^2 \cdot R1 \cdot L1 \cdot C1}{\omega \cdot L1}\right)$$

**Equação 21: Cálculo da fase para o circuito RLC paralelo**

As equações 22 e 23 mostram o cálculo do ganho de tensão e de fase, respectivamente, para o filtro RLC em série. (Fernando Luis Rosa Mussoi, 2004)

$$Av = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \omega^2 \cdot L1 \cdot C1}{\omega \cdot R1 \cdot C1}\right)^2}}$$

**Equação 22: Cálculo do ganho de tensão para circuito RLC série**

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{1 - \omega^2 \cdot L1 \cdot C1}{\omega \cdot R1 \cdot C1}\right)$$

**Equação 23: Cálculo da fase para o circuito RLC série**

### 3.4.4 CIRCUITOS DE POTÊNCIA

Amplificadores de potência tem a característica de fornecer grandes sinais para que apresentem uma baixa impedância, ou seja, gerando nessa carga grandes correntes. Em circuitos de potência os limites de operação dos transístores são

fundamentais em aplicações nas quais deseja-se maximizar o rendimento. No circuito apresentado na figura 55, será utilizado transistor classe A de operação. Embora essa classe apresente o menor rendimento, não passando de 50%, ela é a que apresenta características de resposta linear mais adequada que as outras classes. Um amplificador do tipo classe A amplifica ambos os semiciclos do sinal. O ângulo de condução é igual a  $360^\circ$ . Um amplificador classe A apresenta em termos de consumo um nível de sinal constante e em termos de potência no transistor uma queda no nível de sinal. (Pedroni, Volnei A., 1986)

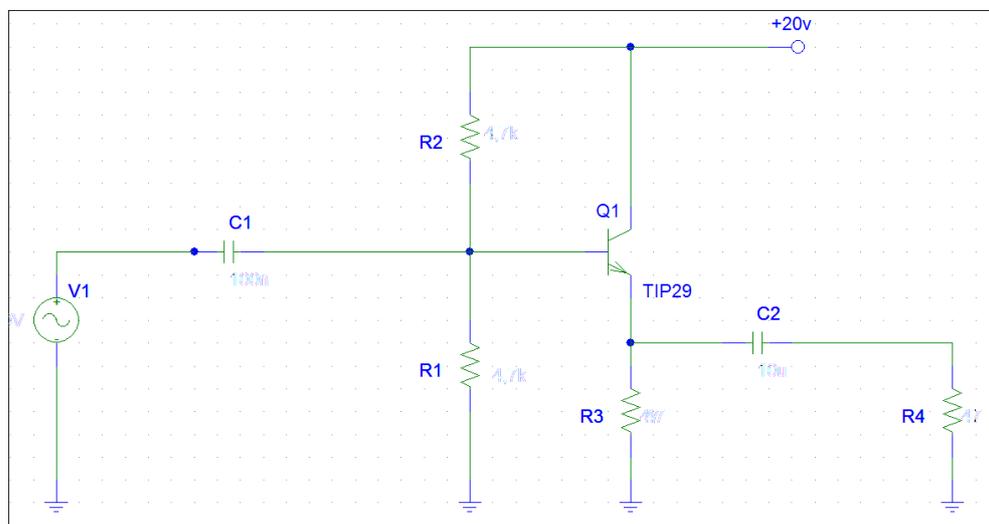


Figura 55: Circuito de potência com transistor classe A

### 3.4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o CarQuad, no que tange o desenvolvimento de hardware, os blocos definidos foram implementados de forma satisfatória. Para adequações necessárias encontradas e para a disposição do circuito da placa principal e dos circuitos de teste foram projetadas placas de circuito impresso que apresentaram um bom funcionamento.

Em termos de firmware, devido a utilização da placa eAT55 da eSysTech foi utilizado o ambiente de desenvolvimento *IAR Embedded Workbench IDE*. Isso facilitou, pois é um ambiente com o qual já se teve um conhecimento prévio.

Já o software funcionou perfeitamente. A vantagem do software desenvolvido é a criação de um banco de dados dispostos em planilhas do Excel que facilitam ao

usuário do kit realizar o tratamento das informações sobre os circuitos. E também o uso das ferramentas de edição de gráficos existente no Excel as quais permitem ao usuário obter novas perspectivas das curvas obtidas com o CarQuad.

Os circuitos de teste foram estabelecidos baseados na disciplina de Amplificadores. São circuitos muito utilizados em circuitos de equipamentos eletrônicos e que serviram muito bem ao papel de avaliar a resposta do CarQuad.

---

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 SIMULAÇÃO E TESTES EM LABORATÓRIO DOS KITS DE DEMONSTRAÇÃO

Os circuitos de teste que foram desenvolvidos para o CarQuad foram previamente projetados e montados em placas de circuito impresso. Optamos por escolher os mesmos circuitos estudados e avaliados na disciplina de Amplificadores, já que a intenção de desenvolver o CarQuad seria obter os mesmos resultados, mas de maneira mais eficaz e de maneira mais clara ao aluno. Após a montagem dos 8 circuitos selecionados, eles foram avaliados de forma prática, tal qual ocorre nos laboratórios para que fossem obtidas as curvas de resposta em frequência de ganho e de fase de cada circuito, e para que fosse levantado o tempo médio de cada medição.

Os circuitos definidos foram avaliados com a utilização do simulador PSPICE Orcad 9.2®. Nesse simulador, com o programa Schematics foram desenhados todos os circuitos definidos previamente, e para cada circuito foi estabelecido um valor da tensão aplicada à entrada  $V_{in}$ , uma amplitude  $V_{ampl}$  e uma frequência para o sinal (Freq). Após de os desenhos esquemáticos ficarem prontos foram configurados na simulação do programa os pontos de medição para a obtenção das curvas simuladas do circuito. Para levantar as curvas de resposta em frequência mede-se a tensão na entrada em  $V_{in}$  e a tensão na saída  $V_{out}$  dos circuitos. Escolhendo esses dois pontos no esquemático usando indicadores de tensão do Schematics foram geradas as curvas de simulação: resposta AC, transiente (foram definidos para todos os circuitos desenhados um *print step* igual a  $3e-7s$  e *final time* de  $3e-6s$  no simulador, parâmetros de visualização das curvas simuladas), magnitude da tensão e de fase para cada circuito.

A resposta em magnitude  $A_v$  ou Ganho de tensão corresponde à razão da tensão de saída pela tensão de entrada. Esse valor também é expresso em decibel, fazendo-se  $A_v \text{ (dB)} = 20 * \log (A_v)$ . Já a resposta em fase corresponde ao deslocamento de fase medido da onda de tensão da saída em relação à onda de tensão de entrada. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

Após a montagem, cada circuito foi avaliado manualmente com a utilização de osciloscópio para visualização das ondas, gerador de funções para geração do sinal senoidal de entrada aplicado aos circuitos, fonte DC para suprimento de tensão para alguns dos circuitos e Varivolt utilizado para gerar sinais de alta frequência. Foram medidos valores de tensão na entrada, na saída, e com auxílio da ferramenta cursor do osciloscópio foi medido o intervalo de tempo entre os picos das ondas. Foi levantado, para cada circuito, um número suficiente de pontos que apresentassem as características de resposta de tensão e fase em função das diferentes frequências de varredura. A fase foi calculada para os circuitos avaliados considerando-se o deslocamento  $\Delta t$ (s) medido entre os picos das ondas de tensão na entrada e na saída. A Fase em graus é calculada multiplicando-se esse deslocamento por 360 e dividindo-se pelo período do sinal no ponto de frequência avaliado ou como apresentado na equação 24, na qual  $f$  é a frequência de análise.

$$\theta (^{\circ}) = \Delta t .360. f$$

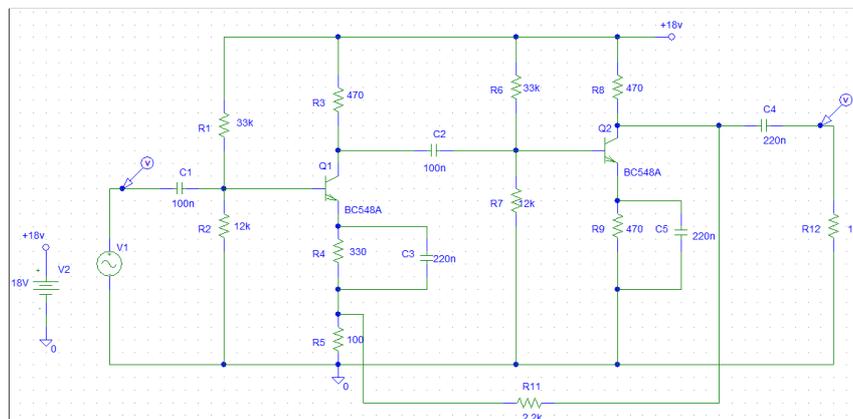
**Equação 24: Cálculo da fase para os circuitos analisados**

Foi realizada uma comparação dos resultados obtidos na prática com os resultados obtidos com as simulações os quais são apresentados na sequência.

Os esquemáticos e os layouts das placas montadas foram feitos no software Altium Winter Designer®.

Verificou-se uma duração média da medição prática dos circuitos em torno de 3 horas e meia para cada circuito analisado.

#### 4.1.1 CIRCUITO 1:AMPLIFICADOR REALIMENTADO SÉRIE DE TENSÃO



**Figura 56: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.**

Para o circuito 1 apresentado figura 56 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes para simulação:

**- Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1**

DC = 0

AC = 0.1V

Vampl = 0.1V

Freq = 1e6

**- Configurações da simulação AC:**

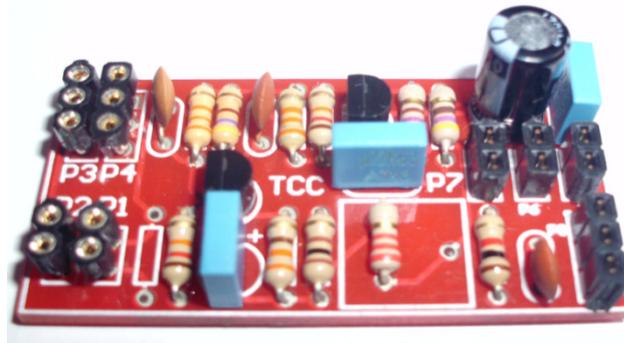
- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101

- Frequência de partida = 10 Hz

- Frequência final = 100GHz

Na figura 57 é apresentada a placa montada para o circuito 1. Nos anexos X e Y estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.



**Figura 57: Placa montada correspondente ao circuito amplificador realimentado série de tensão.**

Foi obtida uma tabela com os pontos de resposta em frequência do circuito montado, a qual segue no anexo P.

Segundo os parâmetros do circuito, seguindo as notas de aula do professor Joaquim, chegou-se ao valor de ganho aproximado de 22. Com os dados levantados do circuito prático e fazendo-se a razão da tensão de saída pela tensão de entrada, nas frequências analisadas, obteve-se um ganho prático máximo de 21,714.

Dos dados obtidos na tabela retira-se que as frequências de corte para o circuito quando ganho é igual a 15,35 (0,707 do ganho máximo) (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988) são uma frequência de corte inferior em torno de 15 kHz e uma frequência de corte superior em torno de 23 MHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

a) Resposta AC (Tensão em V x Frequência)

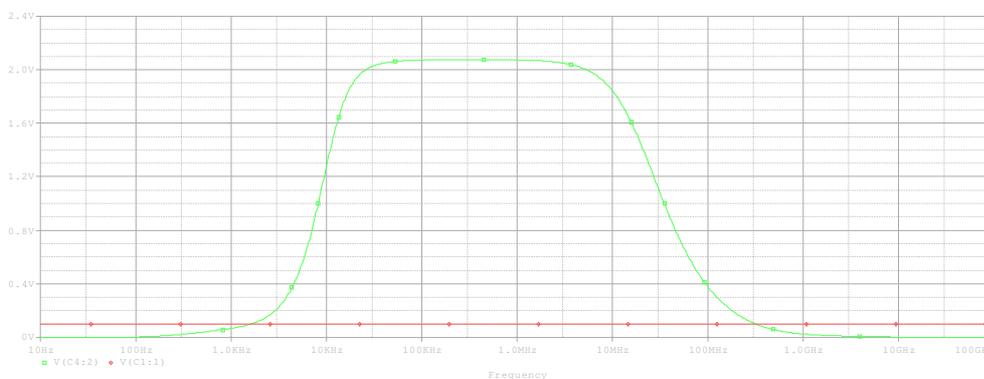


Figura 58: Simulação resposta AC.

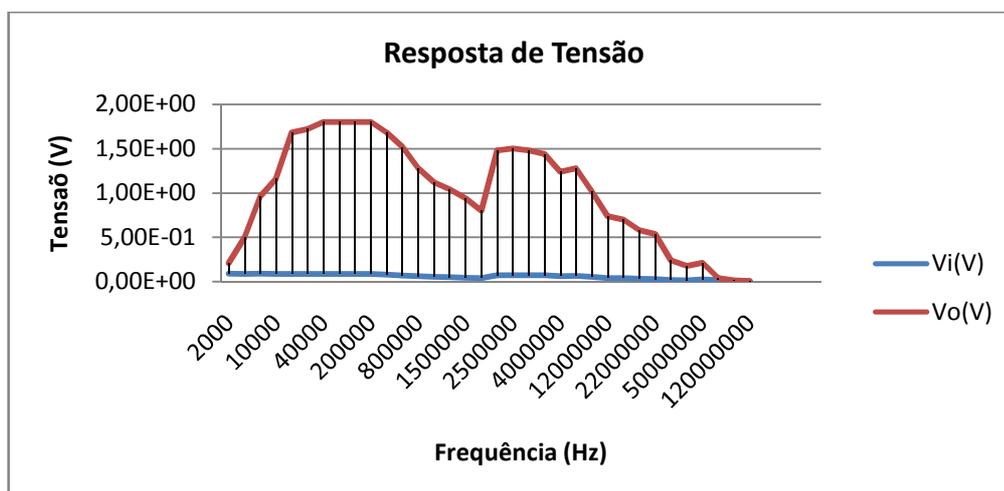


Figura 59: Curva de resposta em frequência real.

b) Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

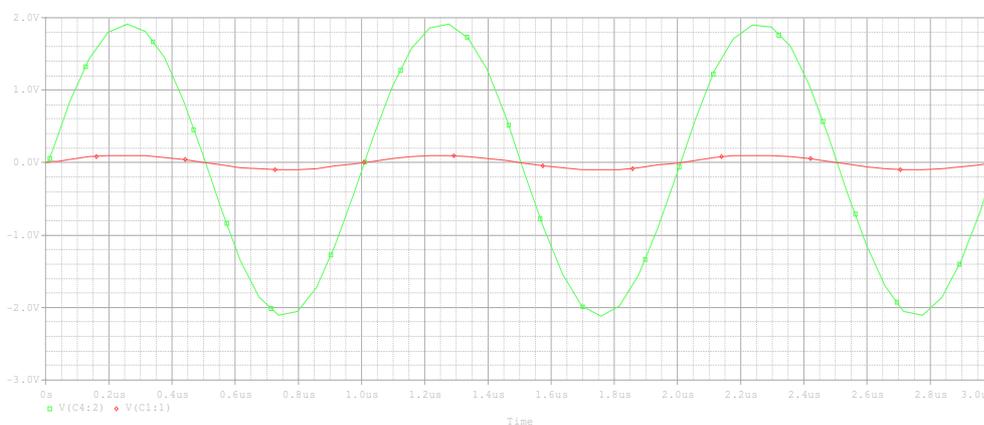


Figura 60: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x frequência (Hz)).

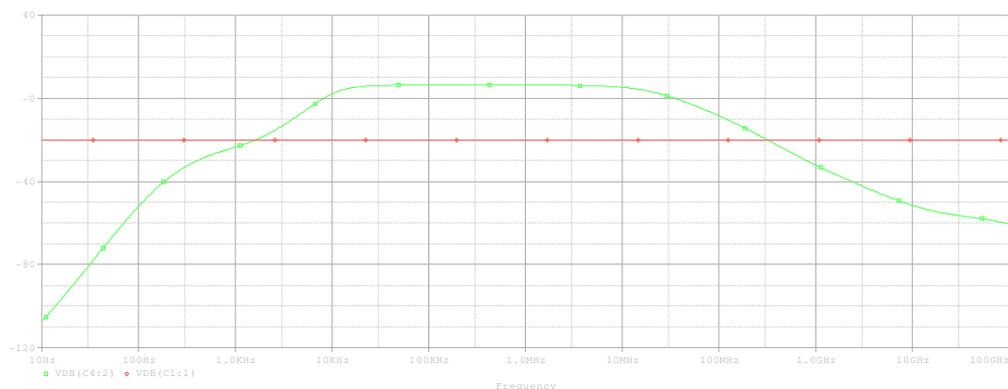


Figura 61: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

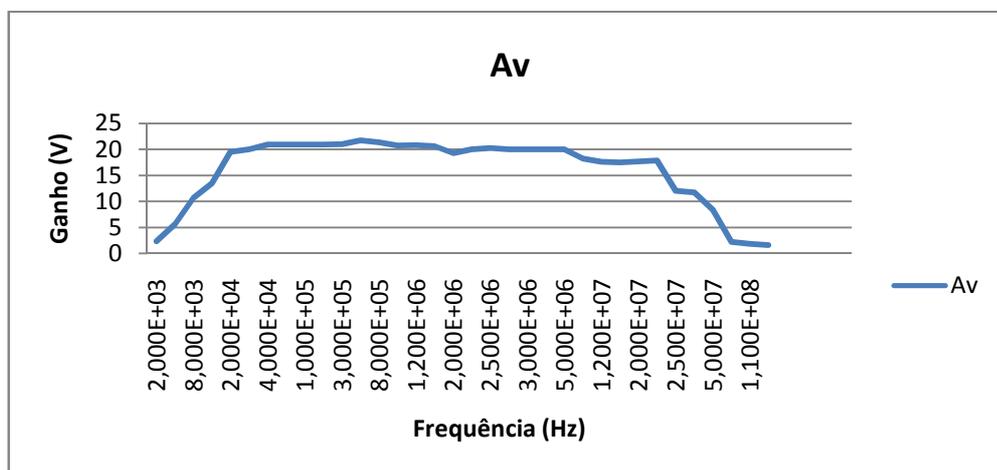


Figura 62: Curva real de ganho em volts.

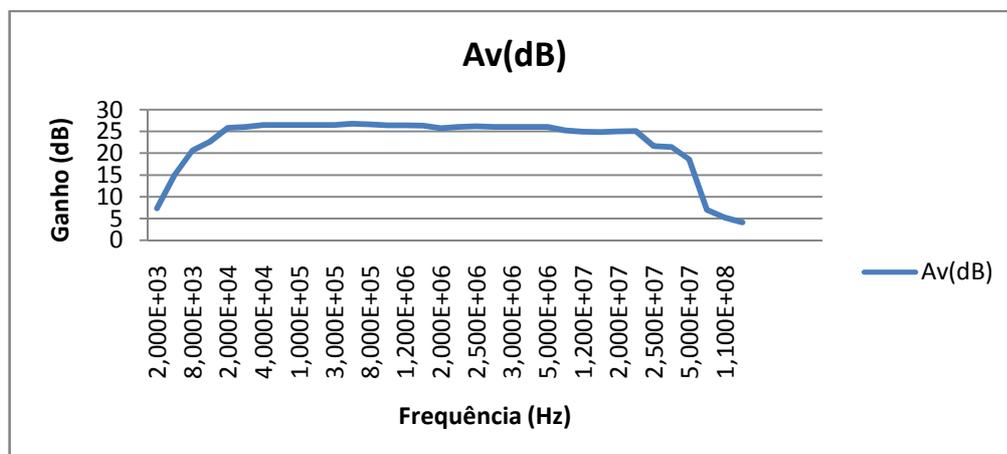


Figura 63: Curva real de ganho em dB.

- d) Resposta em fase: Encontrou-se uma defasagem diferente da esperada conforme a simulação.

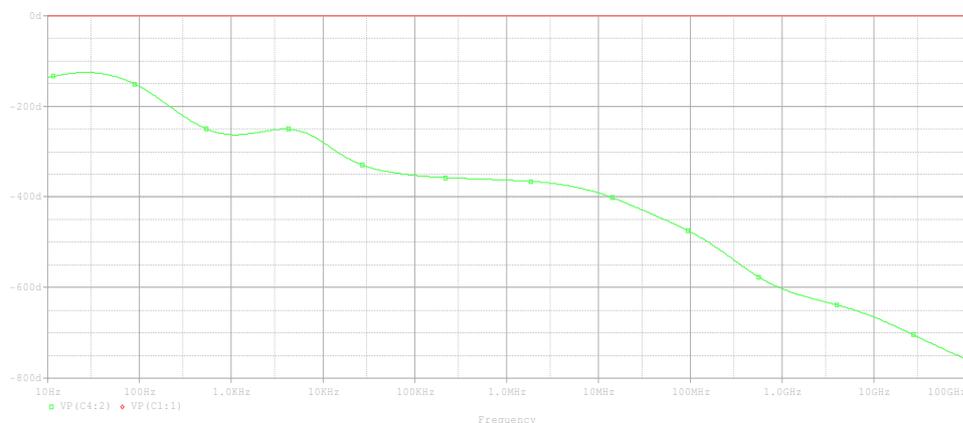


Figura 64: Curva simulada de fase.

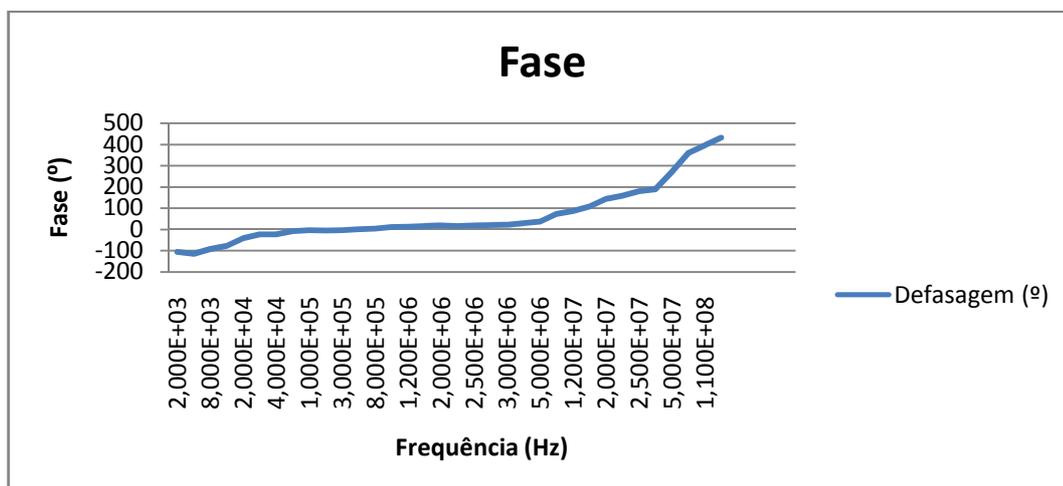


Figura 65: Curva real de fase.

Numa análise teórica de impedâncias fez-se os cálculos (Millman, J. Halkias, C.C., volume 2, 1981) e chegou-se a uma impedância de entrada para o circuito realimentado série de tensão próxima de 280 k $\Omega$  e um valor aproximado de impedância de saída para o circuito de 45  $\Omega$ .

#### 4.1.2 CIRCUITO 2: AMPLIFICADOR INVERSOR DE TENSÃO

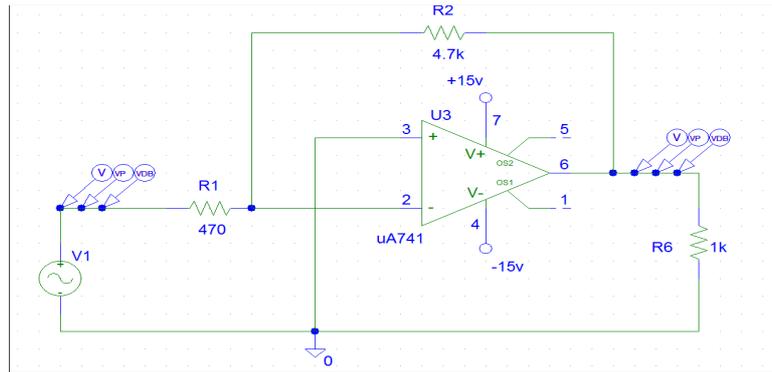


Figura 66: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.

Para o circuito 2 apresentado na figura 66 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

**- Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1**

DC = 0

AC = 0.1V

Vampl = 0.1V

Freq = 1e6

**- Configurações da simulação AC:**

- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101

- Frequência de partida = 10 Hz

- Frequência final = 2MHz

Na figura 67 é apresentada a placa montada para o circuito 2. Nos anexos Z e AA estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.

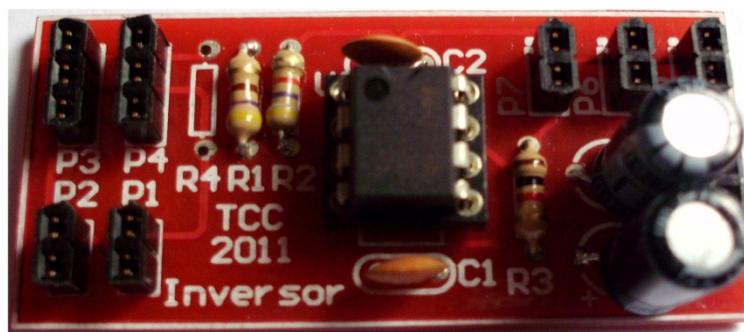


Figura 67: Placa montada correspondente ao circuito amplificador inversor de tensão.

Foram analisados os pontos de resposta em freqüência do circuito montado como apresentado no anexo Q.

O ganho teórico para o circuito foi definido como apresentado na equação 13 e é igual a -10. A partir dos dados levantados do circuito prático, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na freqüência obteve-se um ganho prático de 10,153.

Dos dados obtidos da curva prática retira-se que a freqüência de corte para o circuito inversor de tensão quando ganho igual a 7,178 (0,707 do ganho máximo) (Pertence Júnior, Antônio, 2<sup>a</sup>ed. 1988) é de aproximadamente 61 kHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

a) Resposta AC (Tensão em V x Freqüência)

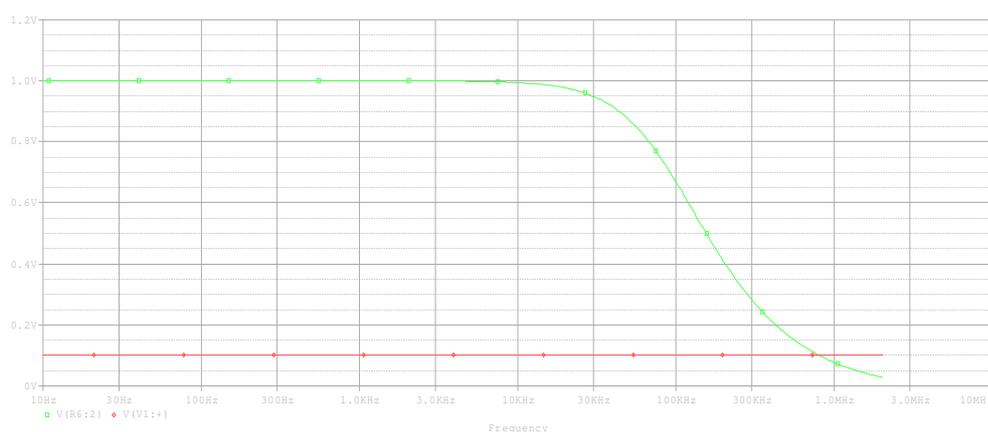


Figura 68: Simulação resposta AC.

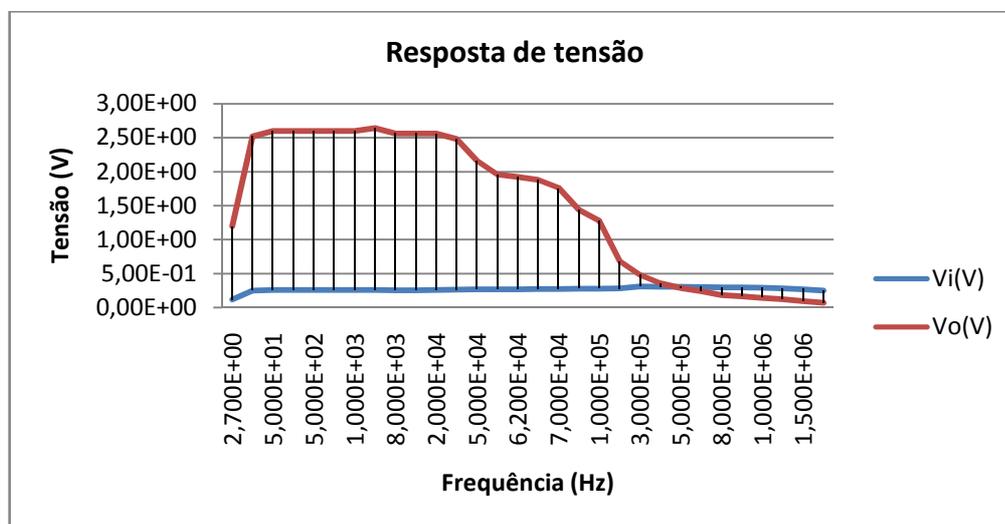


Figura 69: Curva de resposta em freqüência real.

b) Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

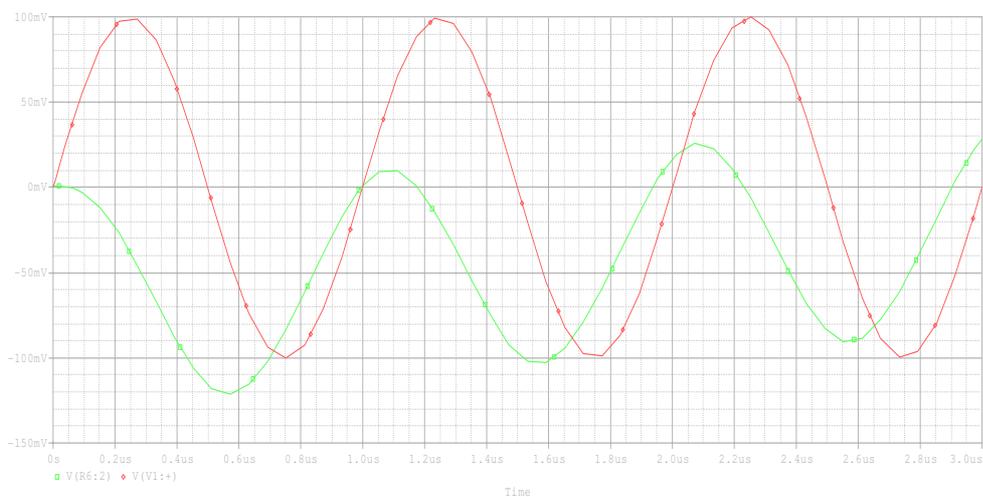


Figura 70: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x freqüência (Hz)).

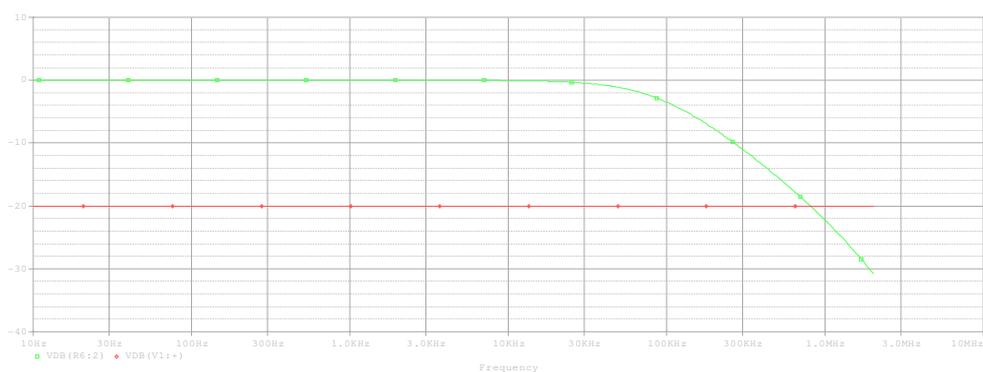


Figura 71: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

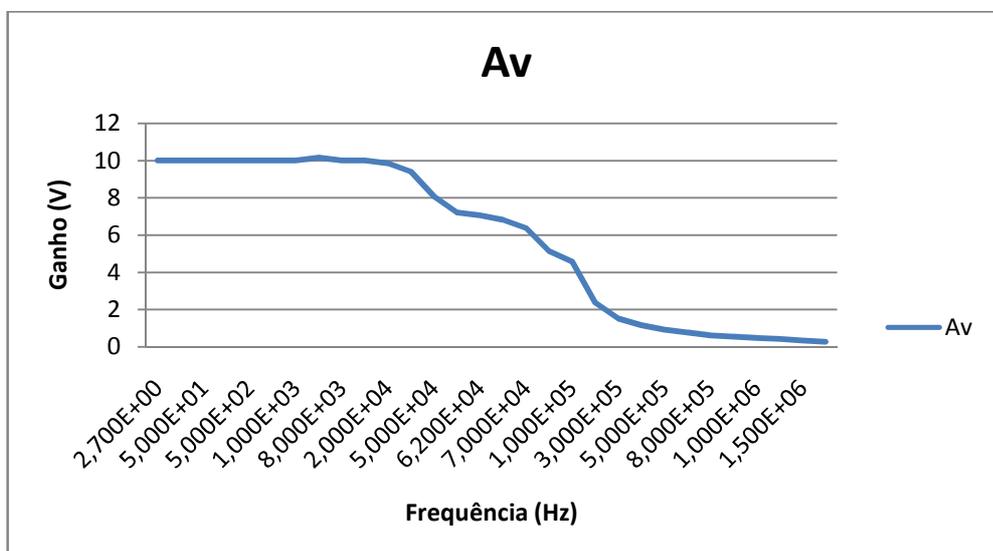


Figura 72: Curva real de ganho em volts.

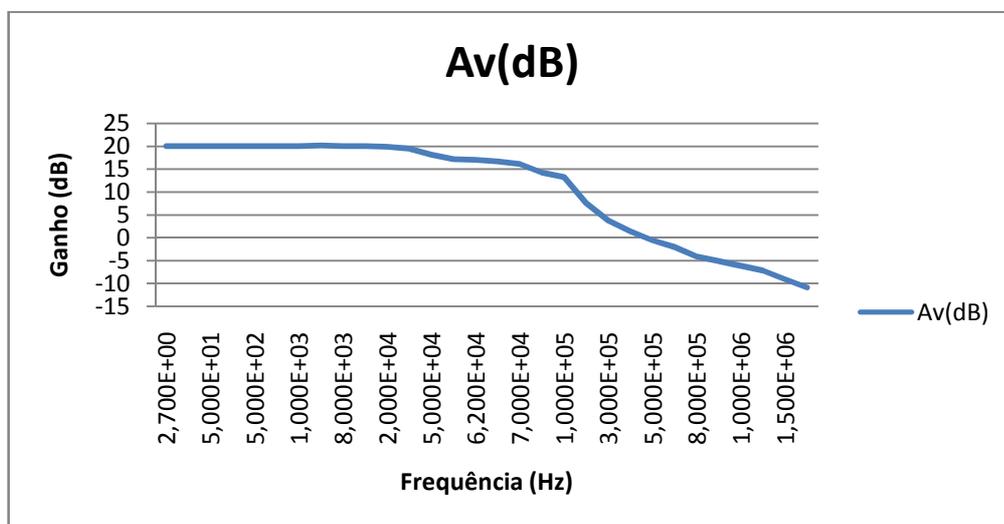


Figura 73: Curva real de ganho em dB.

d) Resposta em fase: (fase x frequência (Hz))

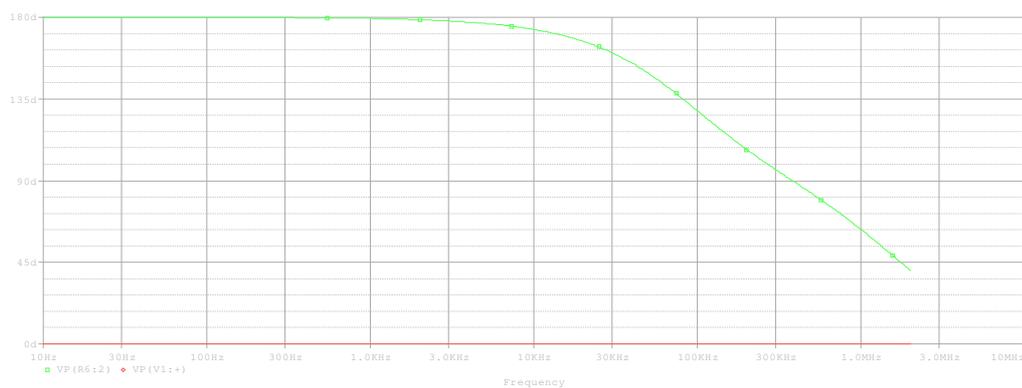


Figura 74: Curva simulada de fase.

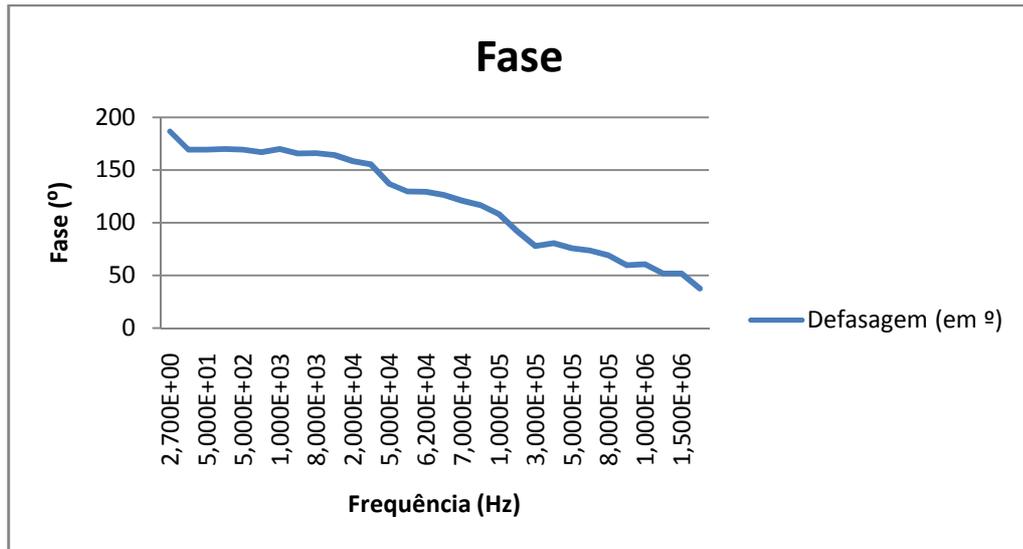


Figura 75: Curva real de fase.

Numa análise das impedâncias verifica-se que a impedância de entrada para o circuito inversor de tensão é equivalente ao próprio valor do resistor de 470  $\Omega$ . Já a impedância de saída é extremamente pequena próxima a 7,5 m $\Omega$  e calculada conforme a equação 25. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$R_{of} = \frac{75}{1 + \beta \cdot A}$$

Equação 25: Cálculo da Impedância de saída

Onde,

$\beta$  é igual a  $1/A_{vf}$ , A corresponde ao ganho do operacional que para o LM741 é de 100000, dados obtidos do *datasheet* do circuito integrado LM741.

#### 4.1.3 CIRCUITO 3: AMPLIFICADOR NÃO-INVERSOR DE TENSÃO

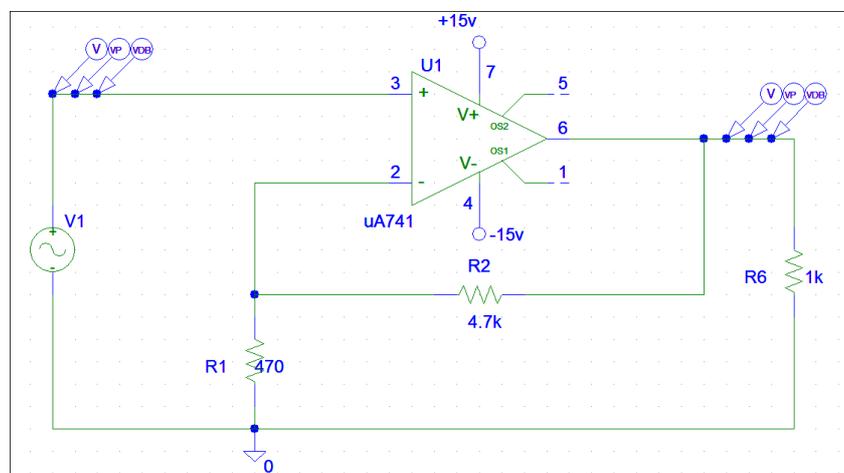


Figura 76: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.

Para o circuito 3 apresentado figura 76 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

**- Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1**

DC = 0

AC = 0.1V

Vampl = 0.1V

Freq = 1e6

**- Configurações da simulação AC:**

- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101

- Frequência de partida = 10 Hz

- Frequência final = 2MHz

Na figura 77 é apresentada a placa montada para o circuito 3. Nos anexos AB e AC estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.



**Figura 77: Placa montada correspondente ao circuito amplificador não inversor.**

Foram analisados os pontos de resposta em frequência do circuito montado como segue no anexo R.

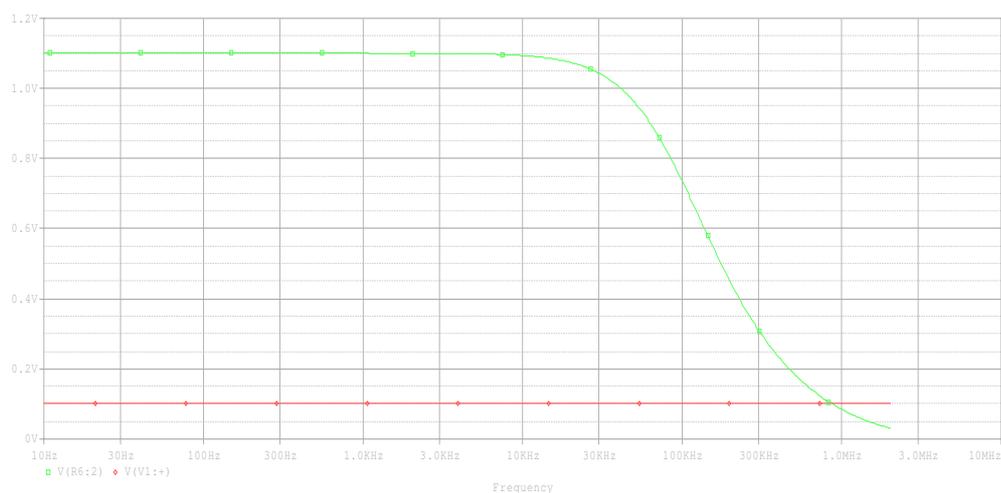
O ganho teórico para o circuito foi definido como apresentado na equação 14 e é igual a 11. A partir dos dados levantados do circuito prático, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na frequência analisada obteve-se um ganho prático de 11,777.

Dos dados apresentados no anexo citado anteriormente retira-se que a frequência de corte para o circuito não-inversor de tensão quando o ganho é 8,326

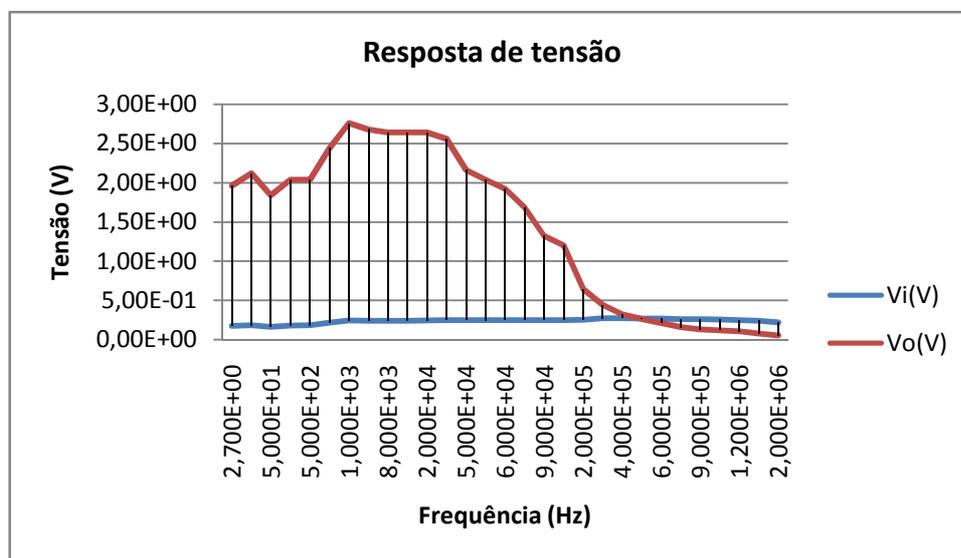
(0,707 do ganho máximo) (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988) é de aproximadamente 56 kHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

- Resposta AC (Tensão em V x Frequência)



**Figura 78: Simulação resposta AC.**



**Figura 79: Curva de resposta em frequência real.**

- Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

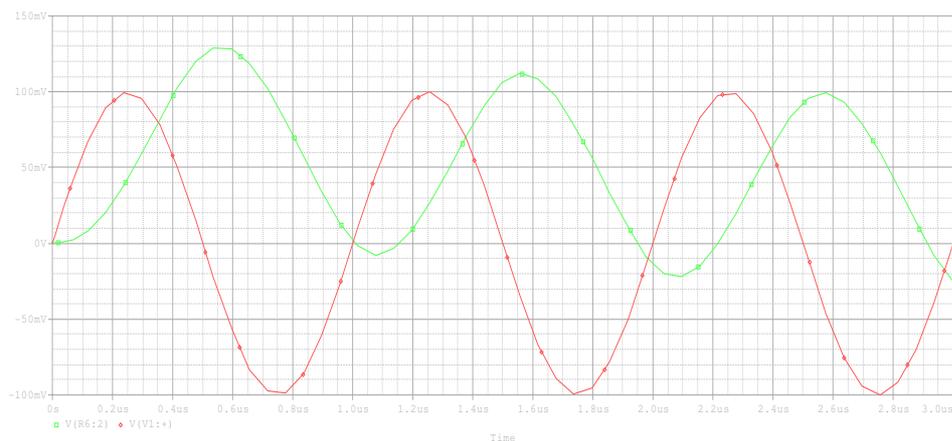


Figura 80: Transiente do circuito.

- Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x freqüência (Hz)).

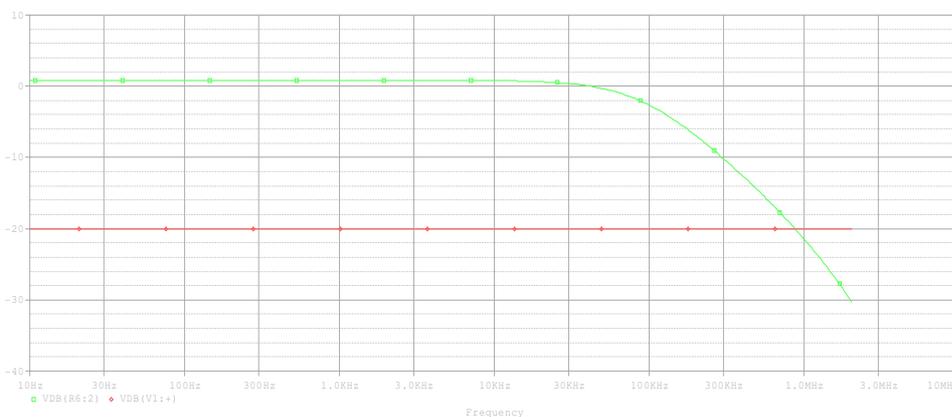


Figura 81: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

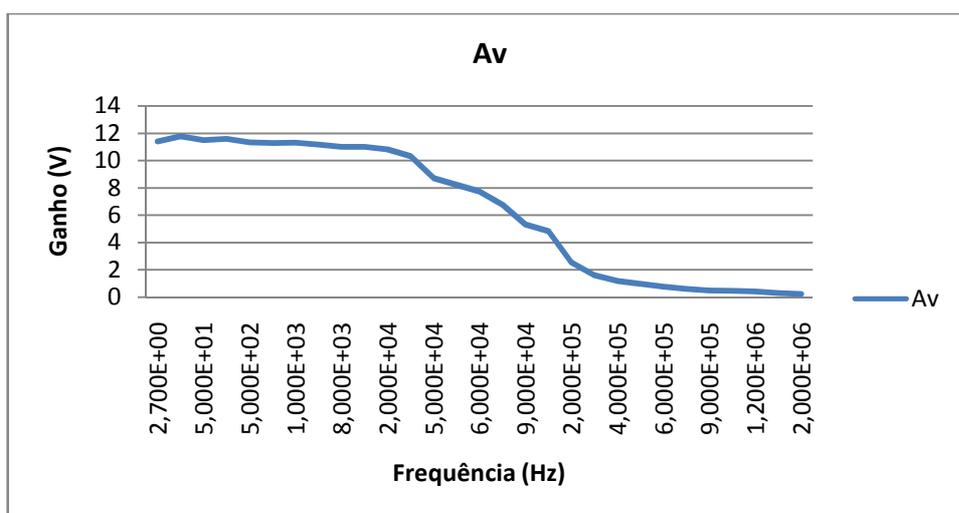
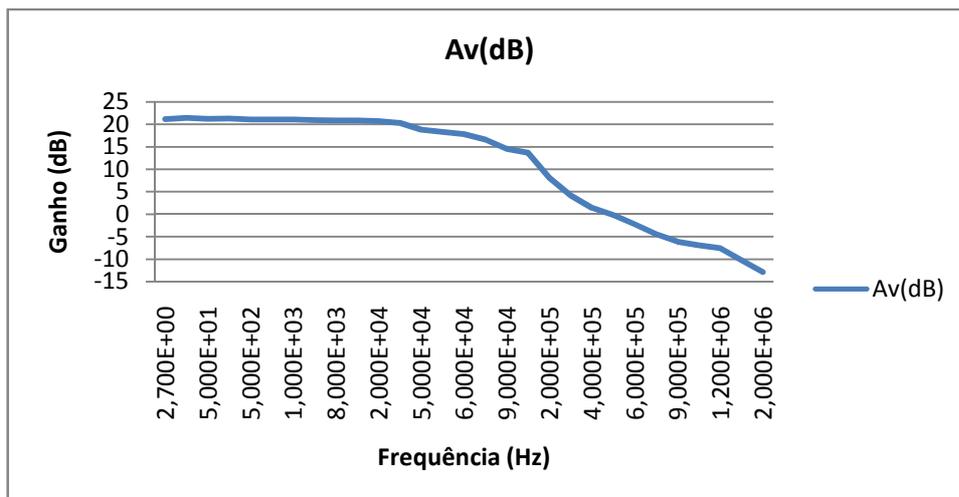
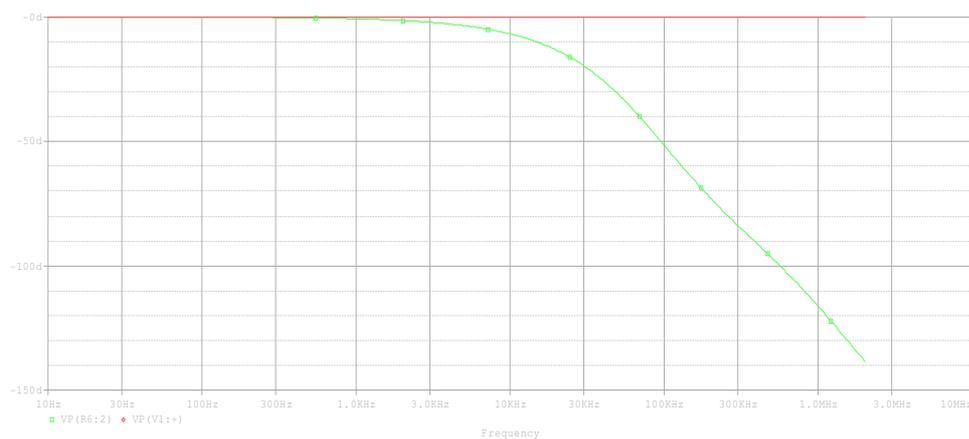


Figura 82: Curva real de ganho em volts.

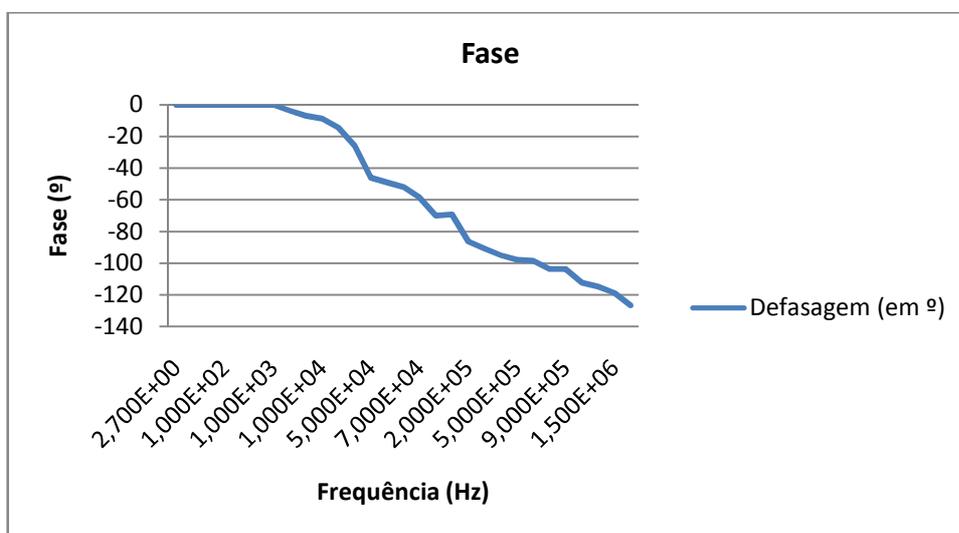


**Figura 83: Curva real de ganho em dB.**

- Resposta em fase: (fase x frequência (Hz))



**Figura 84: Curva simulada de fase.**



**Figura 85: Curva real de fase.**

Numa análise das impedâncias verifica-se que a impedância de entrada para o circuito não- inversor de tensão é um valor em torno de 18 GΩ. Este valor é calculado como segue na equação 26. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

$$R_{if} = R_i.(1 + \beta.A)$$

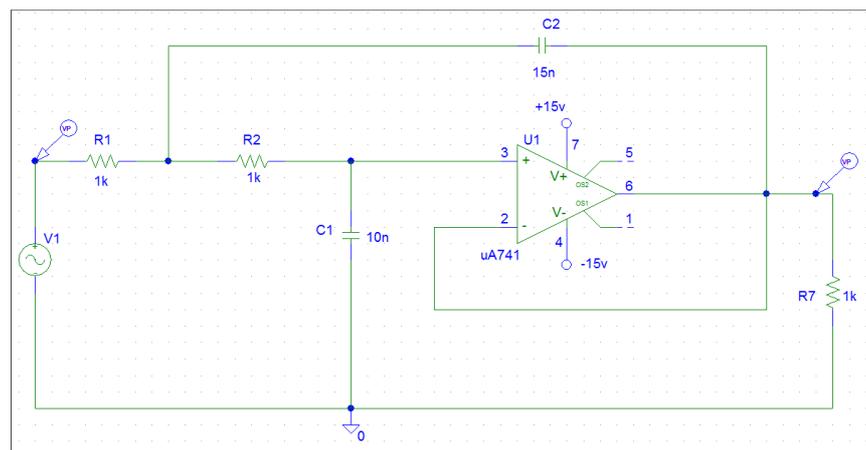
**Equação 26: Cálculo da impedância de entrada**

Sendo,

$R_i$  para o LM741 igual a 2 MΩ,  $\beta$  é igual a  $1/A_{vf}$ , e  $A$  o ganho do amplificador operacional de 100000, dados obtidos do *datasheet* do circuito integrado LM741.

Já a impedância de saída é extremamente pequena próxima a 7,5 mΩ e calculada conforme a equação 25.

#### 4.1.4 CIRCUITO 4:FILTRO ATIVO PASSA-BAIXA DE 2ªORDEM



**Figura 86: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.**

Para o circuito 4 apresentado figura 86 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

**- Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1**

DC = 0

AC = 1V

V<sub>ampl</sub> = 1V

Freq = 1e6

**- Configurações da simulação AC:**

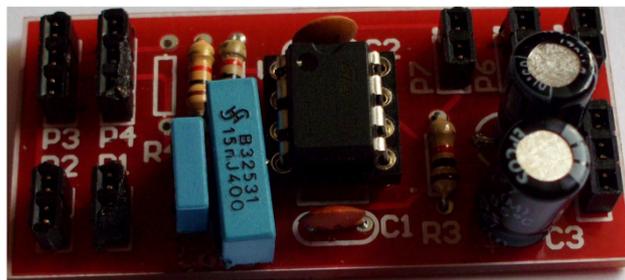
- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101

- Frequência de partida = 10 Hz

- Frequência final = 2MHz

Na figura 87 é apresentada a placa montada para o circuito 4. Nos anexos AD e AE estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.



**Figura 87: Placa montada correspondente ao circuito filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem.**

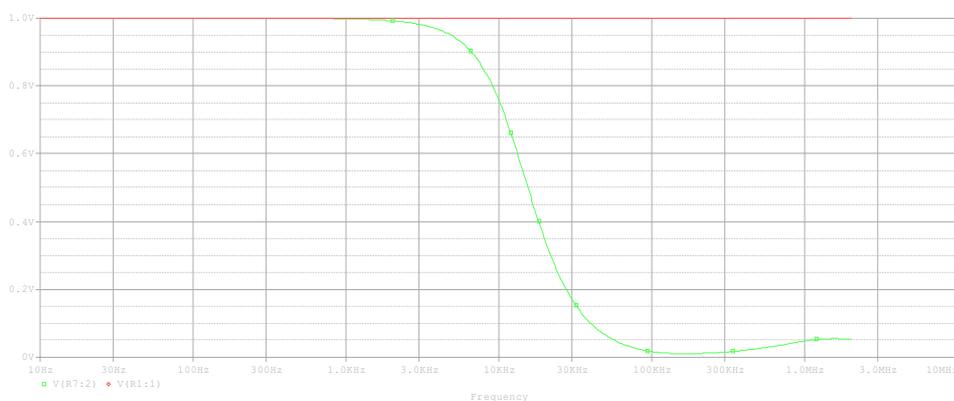
Foram analisados os pontos de resposta em frequência do circuito montado como segue no anexo S.

A partir dos dados levantados do circuito prático, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na frequência analisada obteve-se um ganho prático máximo de 1.

Com os dados apresentados no anexo anteriormente citado retira-se que a frequência de corte para o circuito do filtro passa-baixa quando o ganho é 0,707 (0,707 do ganho máximo) (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988) é de aproximadamente 10,9 kHz. Pela equação 16, o valor teórico da frequência de corte seria de 12,9 kHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

a) Resposta AC (Tensão em V x Frequência)



**Figura 88: Simulação resposta AC.**

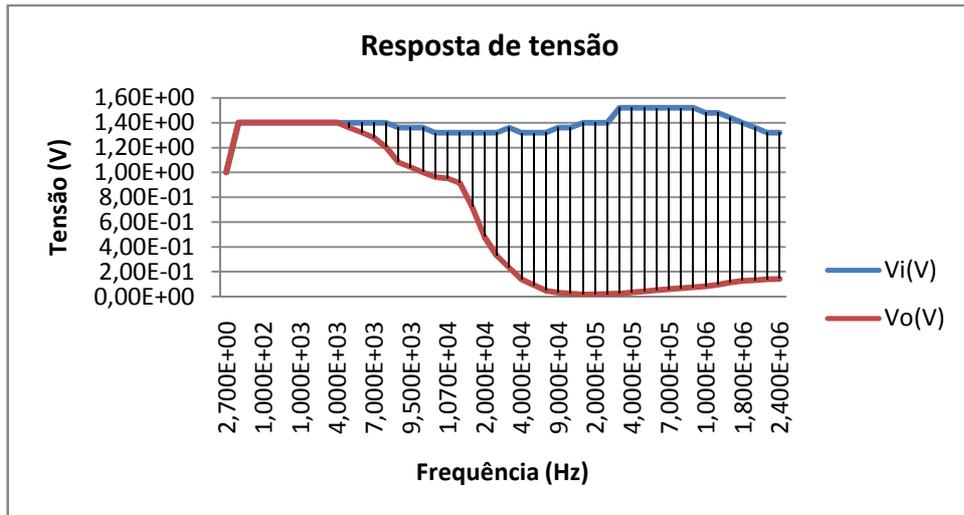


Figura 89: Curva de resposta em frequência real.

b) Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

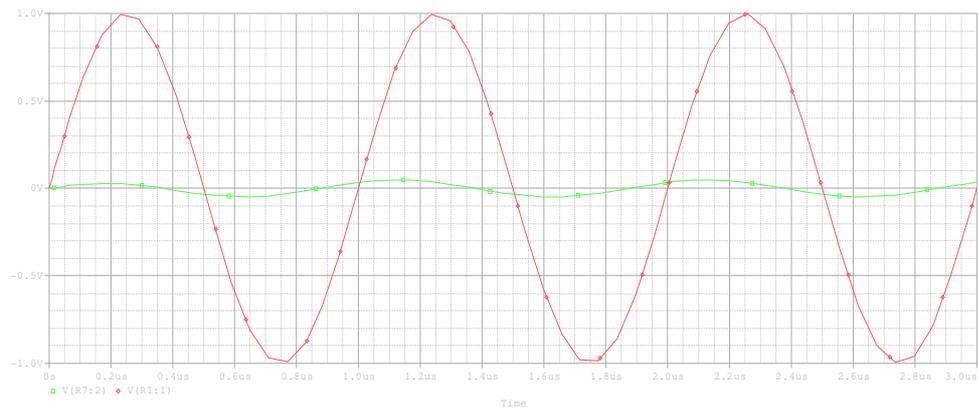


Figura 90: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x frequência (Hz)).

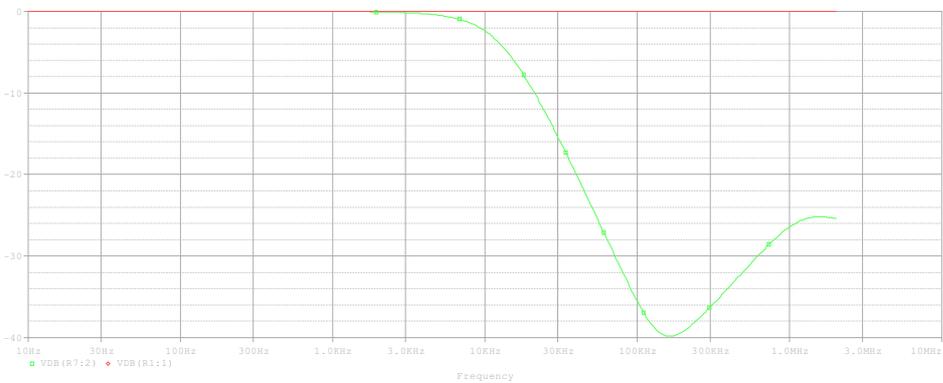
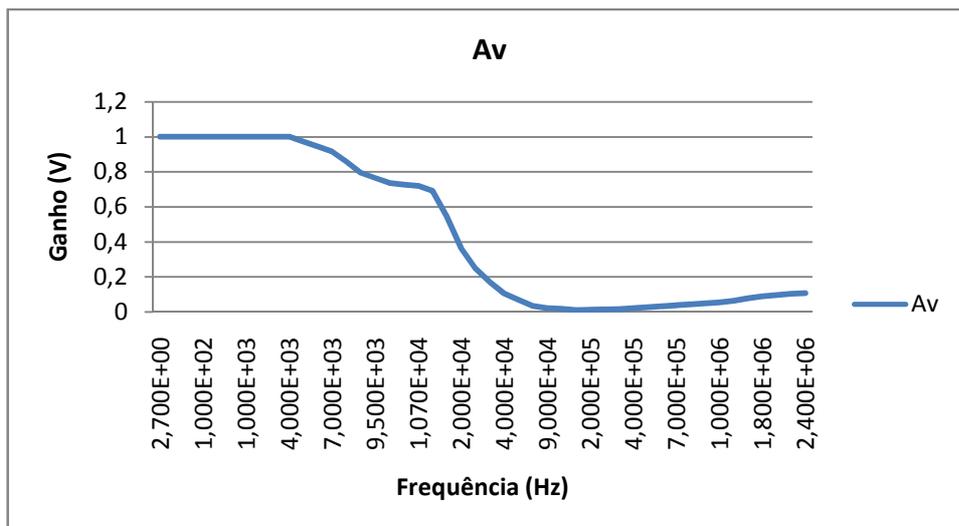
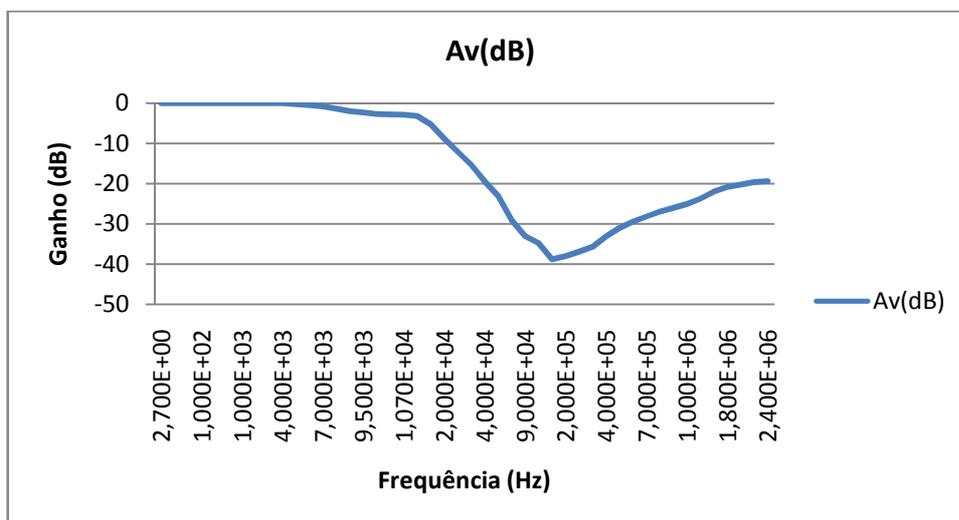


Figura 91: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

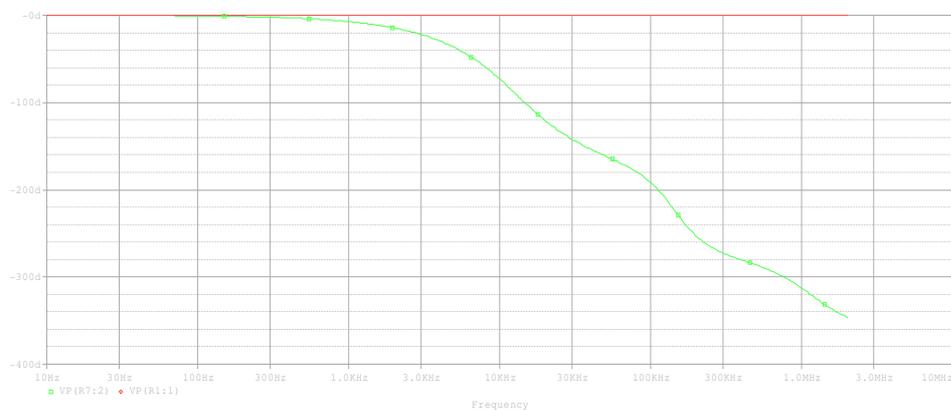


**Figura 92: Curva real de ganho em volts.**



**Figura 93: Curva real de ganho em dB.**

d) Resposta em fase: (fase x freqüência (Hz))



**Figura 94: Curva simulada de fase.**

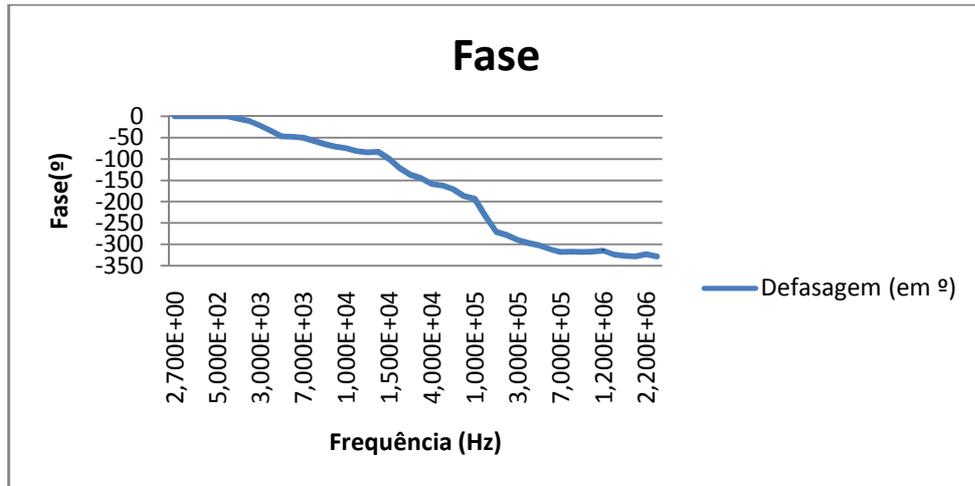


Figura 95: Curva real de fase.

Numa análise das impedâncias verifica-se para o filtro passa-baixa de 2ª ordem que a impedância de saída é extremamente pequena próxima a 0,75 mΩ e calculada conforme a equação 25.

#### 4.1.5 CIRCUITO 5: FILTRO ATIVO PASSA-ALTA DE 1ª ORDEM

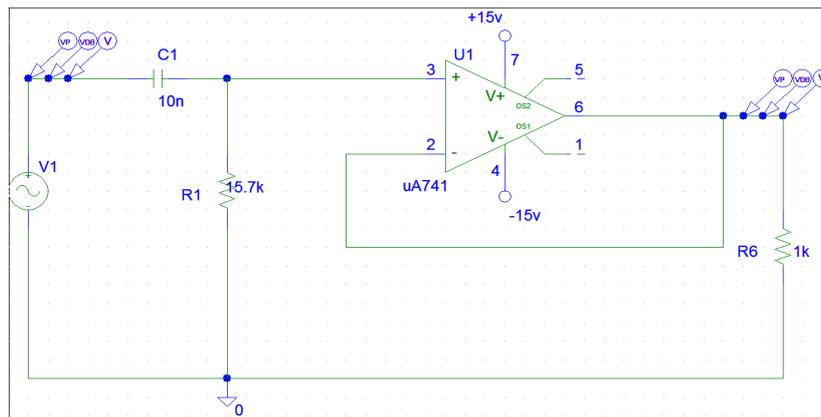


Figura 96: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.

Para o circuito 5 apresentado figura 96 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

##### - Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1

DC = 0

AC = 1V

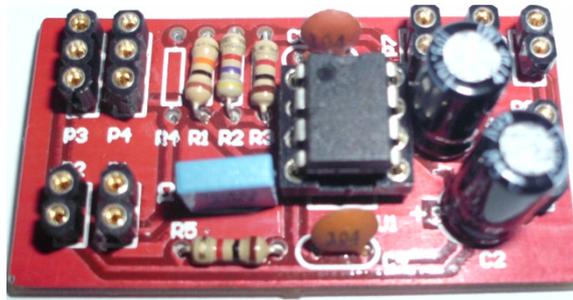
$V_{amp1} = 1V$

$Freq = 1e6$

**- Configurações da simulação AC:**

- AC sweep type= DECADE
- Pontos por década = 101
- Frequência de partida = 10 Hz
- Frequência final = 2MHz

Na figura 97 é apresentada a placa montada para o circuito 5. Nos anexos AF e AG estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.



**Figura 97: Placa montada correspondente ao circuito filtro ativo passa-altas de 1ª ordem.**

Foram analisados os pontos de resposta em frequência do circuito montado como segue no anexo T.

A partir dos dados levantados do circuito prático, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na frequência analisada obteve-se um ganho prático de 1,014.

Dos dados obtidos apresentados no anexo citado anteriormente retira-se que a frequência de corte para o circuito passa - alta de primeira ordem quando o ganho é 0,716 (0,707 do ganho máximo) (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988) é de aproximadamente 960 Hz. Conforme apresentado na equação 18, a frequência de corte teórica foi projetada para aproximadamente 1 kHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

## a) Resposta AC (Tensão em V x Frequência)

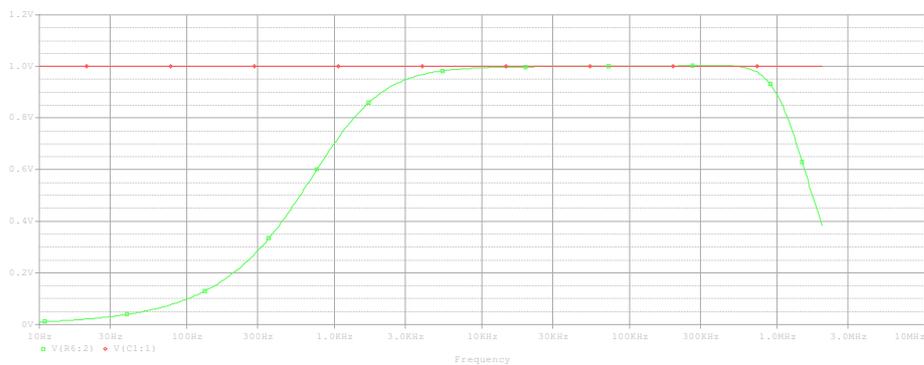


Figura 98: Simulação resposta AC.

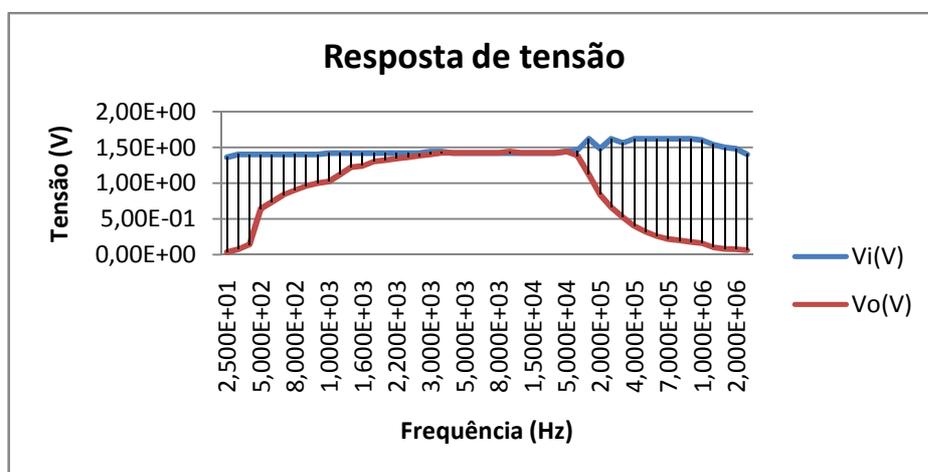


Figura 99: Curva de resposta em frequência real.

## b) Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

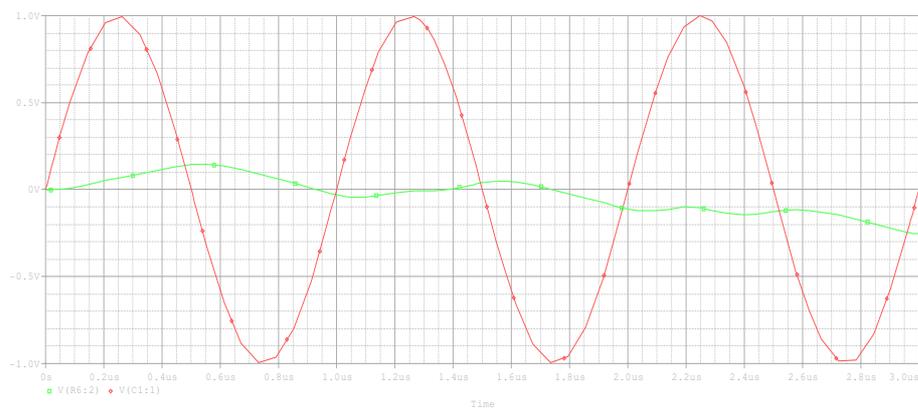


Figura 100: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x frequência (Hz)).

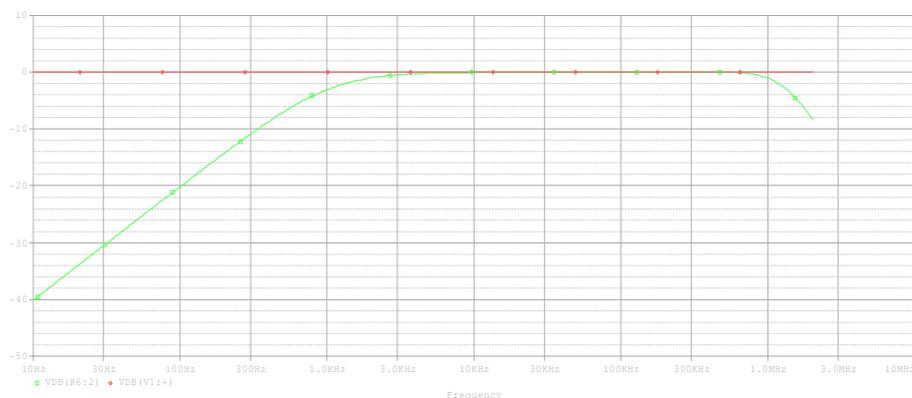


Figura 101: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

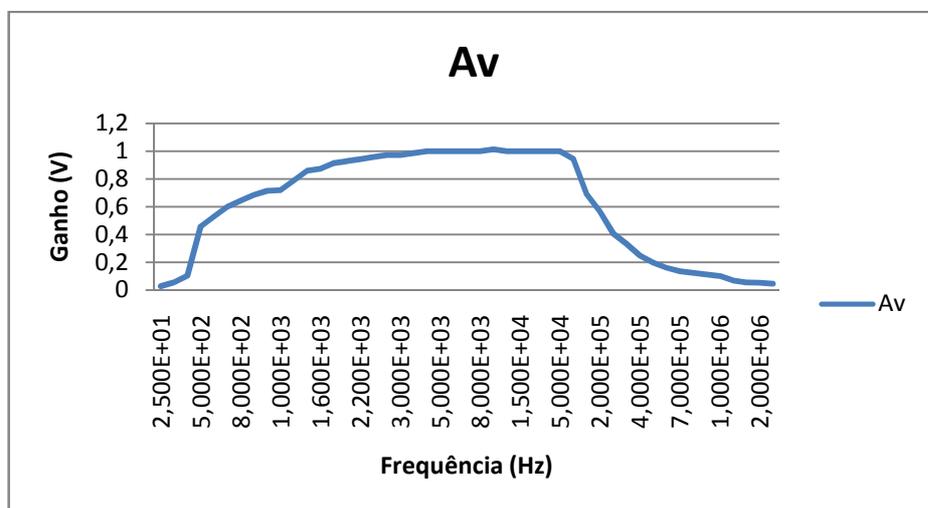


Figura 102: Curva real de ganho em volts.

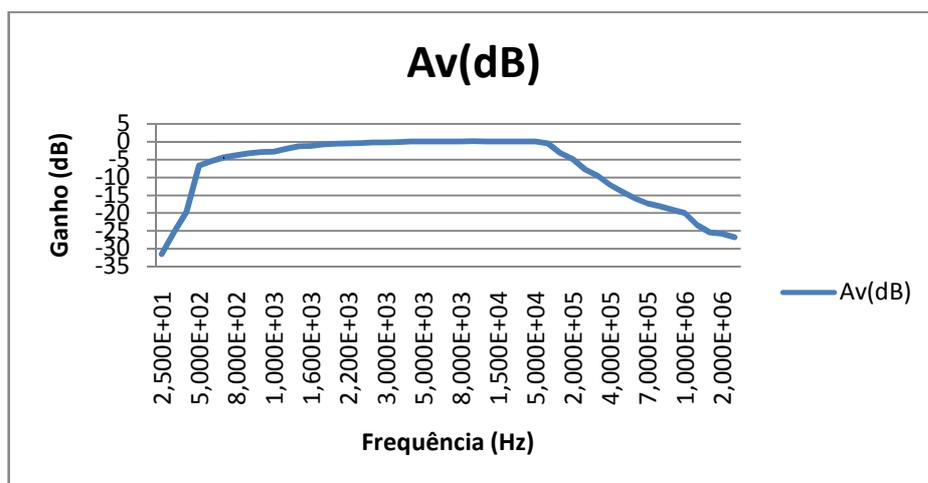


Figura 103: Curva real de ganho em dB.

d) Resposta em fase: (fase x freqüência (Hz))

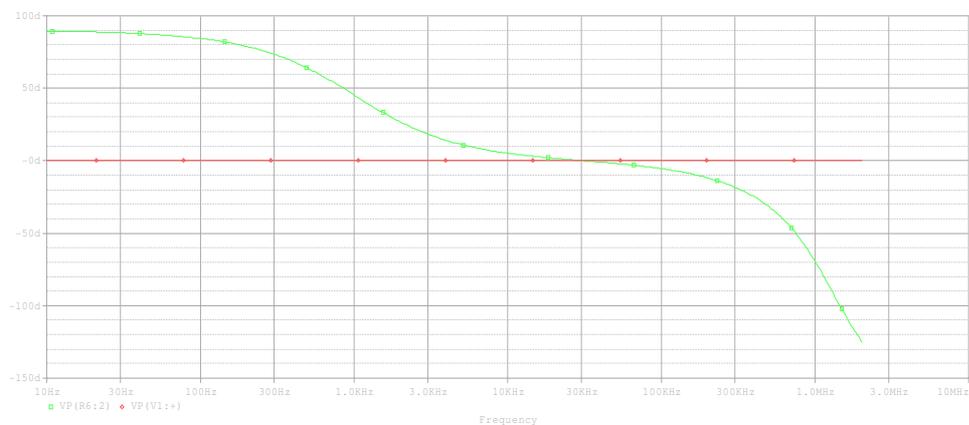


Figura 104: Curva simulada de fase.

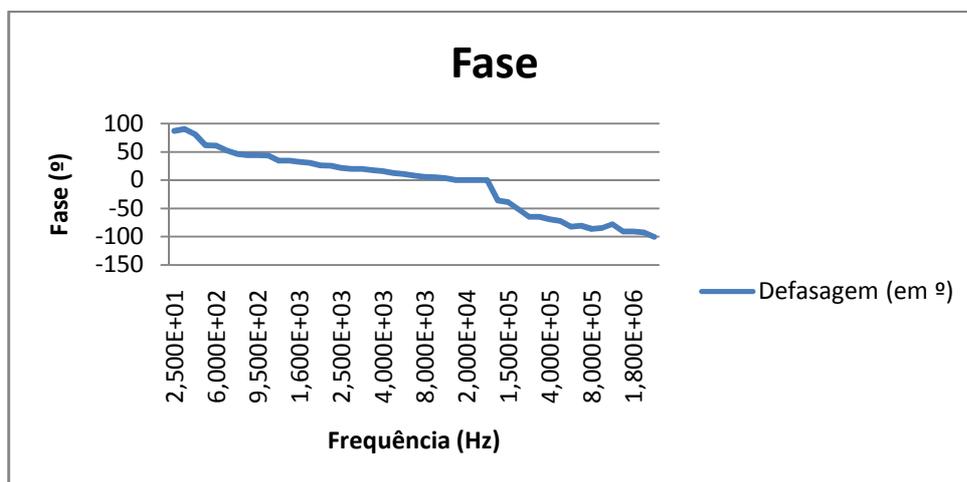


Figura 105: Curva real de fase.

Numa análise das impedâncias verifica-se para o filtro passa - alta de 1ª ordem que a impedância de saída é próxima a 0,75 mΩ e calculada conforme a equação 25.

#### 4.1.6 CIRCUITO 6: FILTRO PASSIVO CONFIGURAÇÃO EM PARALELO

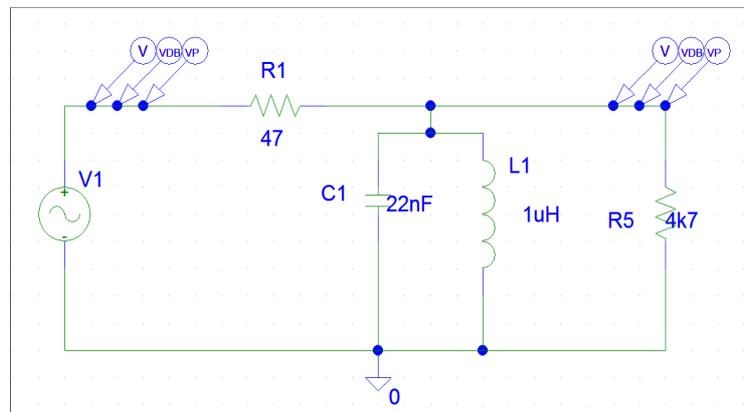


Figura 106: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.

Para o circuito 6 apresentado figura 106 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

##### - Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1

DC = 0

AC = 2V

Vampl = 2V

Freq = 1e6

##### - Configurações da simulação AC:

- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101

- Frequência de partida = 10 Hz

- Frequência final = 2MHz

Na figura 107 é apresentada a placa montada para o circuito 6. Nos anexos AH e AI estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.

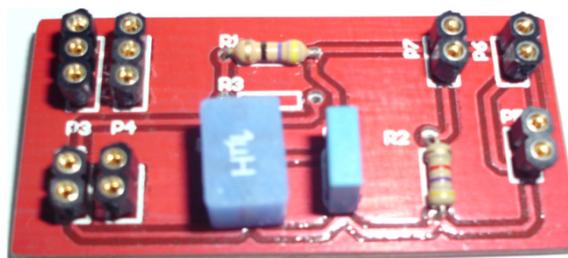


Figura 107: Placa montada correspondente ao circuito do filtro passivo configuração em paralelo.

Foram analisados os pontos de resposta em freqüência do circuito montado como segue no anexo U.

O circuito 6 é um filtro passa-faixa real e foi projetado de forma a oscilar numa freqüência em torno de 1MHz.

A partir da tabela, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na freqüência analisada obteve-se um ganho prático de 0,669.

Dos dados apresentados no anexo citado anteriormente retira-se que as freqüências de corte para o circuito quando o ganho é 0,707 do ganho máximo (Pertence Júnior, Antônio, 2<sup>a</sup>ed. 1988) correspondem aproximadamente a freqüência de corte inferior em torno de 950kHz e freqüência de corte superior em torno de 1,17MHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

a) Resposta AC (Tensão em V x Freqüência)



Figura 108: Simulação resposta AC.

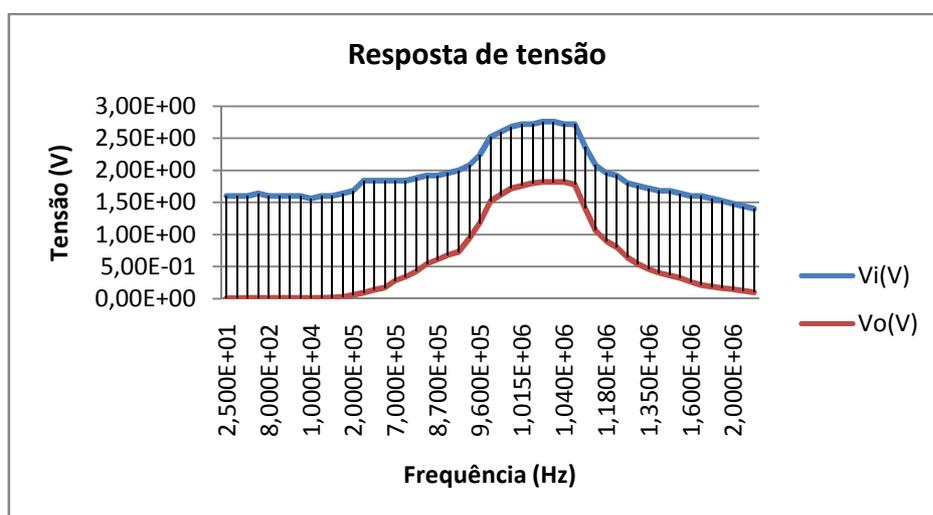


Figura 109: Curva de resposta em freqüência real.

b) Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

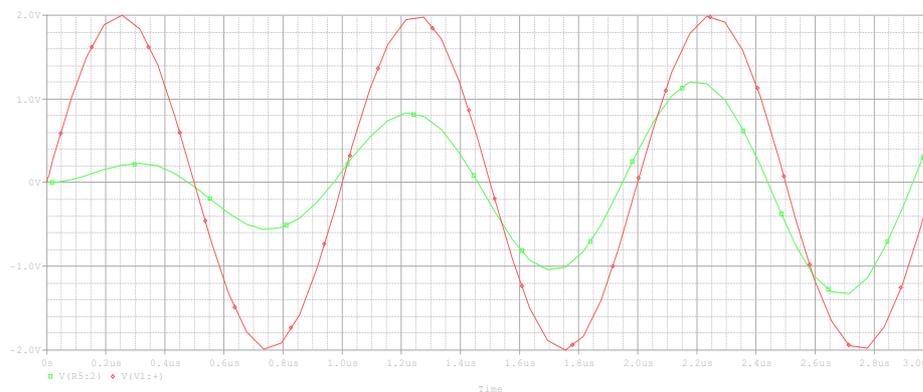


Figura 110: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x frequência (Hz)).

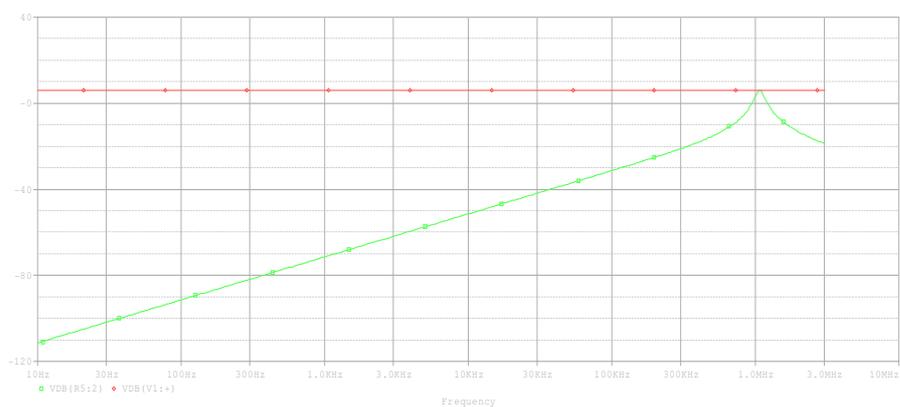


Figura 111: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

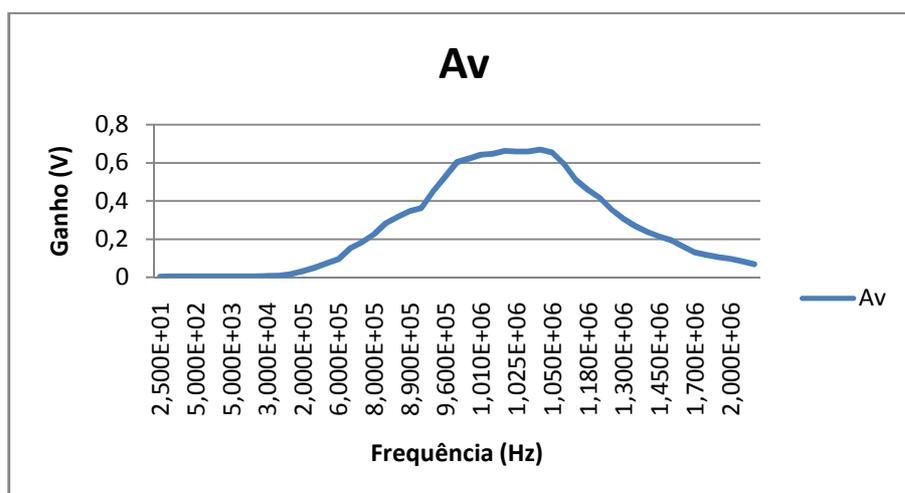


Figura 112: Curva real de ganho em volts.

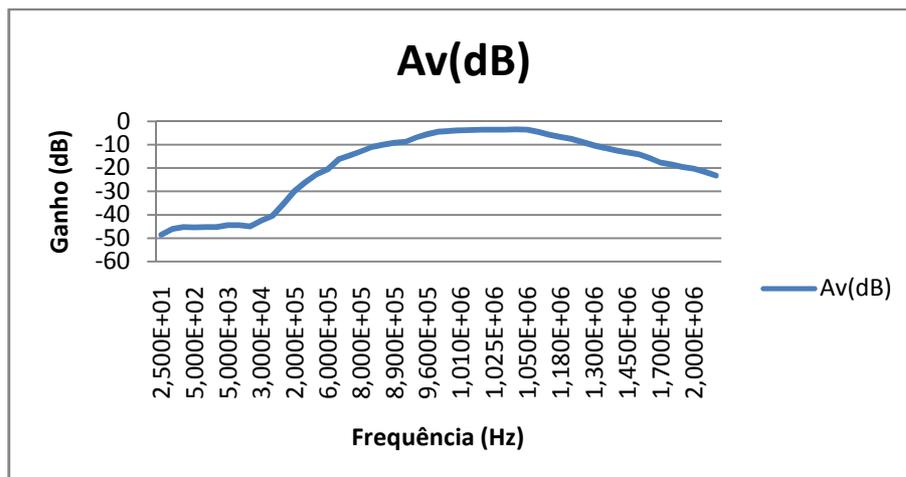


Figura 113: Curva real de ganho em dB.

d) Resposta em fase: (fase x freqüência (Hz))

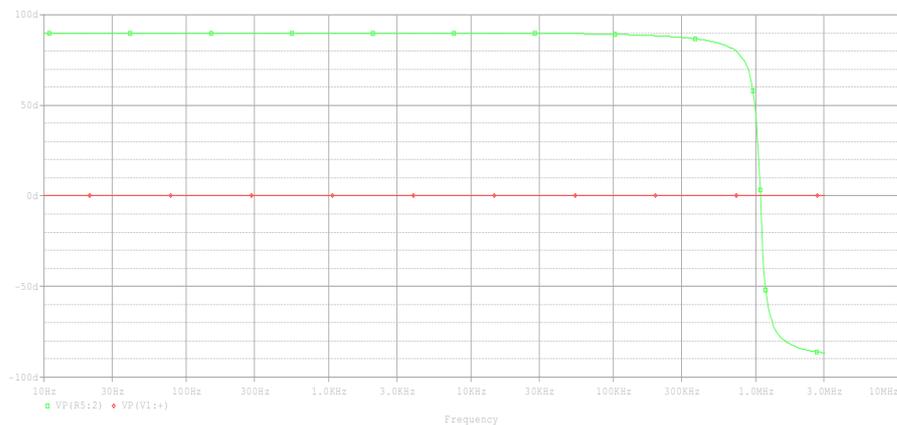


Figura 114: Curva simulada de fase.

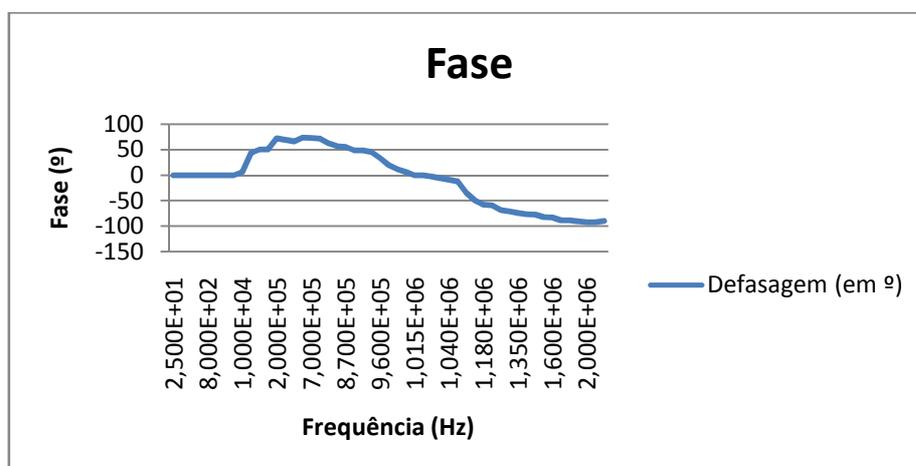


Figura 115: Curva real de fase.

Tal circuito tem impedâncias de entrada e saída que variam conforme a frequência. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

#### 4.1.7 CIRCUITO 7: FILTRO PASSIVO CONFIGURAÇÃO EM SÉRIE

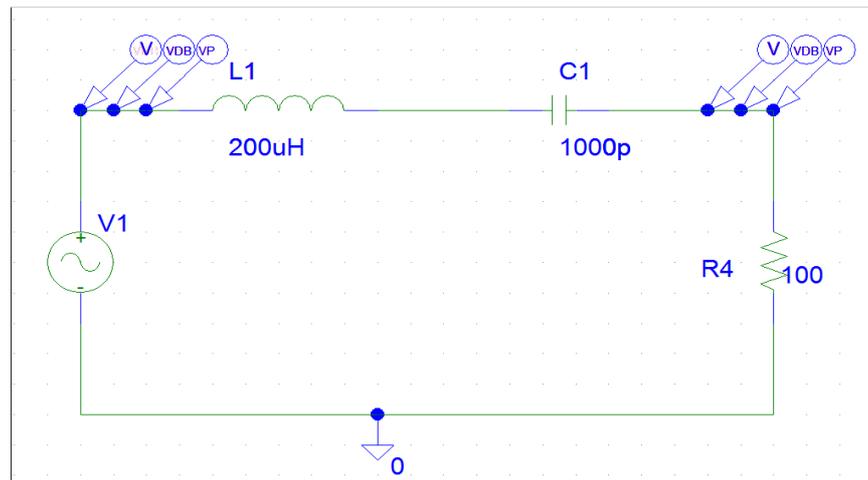


Figura 116: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.

Para o circuito 7 apresentado figura 116 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

##### - Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1

DC = 0

AC = 2V

Vampl = 2V

Freq = 1e6

##### - Configurações da simulação AC:

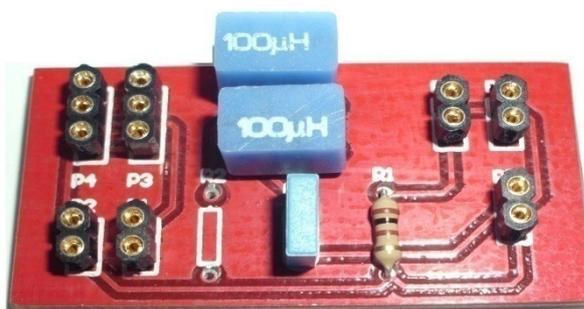
- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101

- Frequência de partida = 10 Hz

- Frequência final = 2MHz

Na figura 117 é apresentada a placa montada para o circuito 7. Nos anexos AJ e AK estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.



**Figura 117: Placa montada correspondente ao circuito do filtro passivo configuração em série.**

Foram analisados os pontos de resposta em frequência do circuito montado como segue no anexo V.

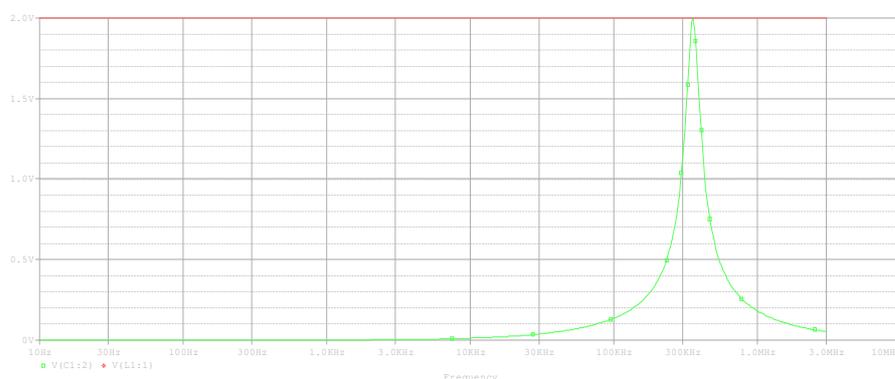
O circuito 7 é um filtro passa-faixa real e foi projetado de forma a oscilar em numa frequência em torno de 360 kHz.

A partir da tabela, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na frequência analisada obteve-se um ganho prático de 0,802.

Dos dados apresentados no anexo citado anteriormente retira-se que as frequências de corte para o circuito quando o ganho é 0,567 (0,707 do ganho máximo) (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988) correspondem aproximadamente a frequência de corte inferior em torno de 328kHz e frequência de corte superior em torno de 423kHz.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

a) Resposta AC (Tensão em V x Frequência)



**Figura 118: Simulação resposta AC.**

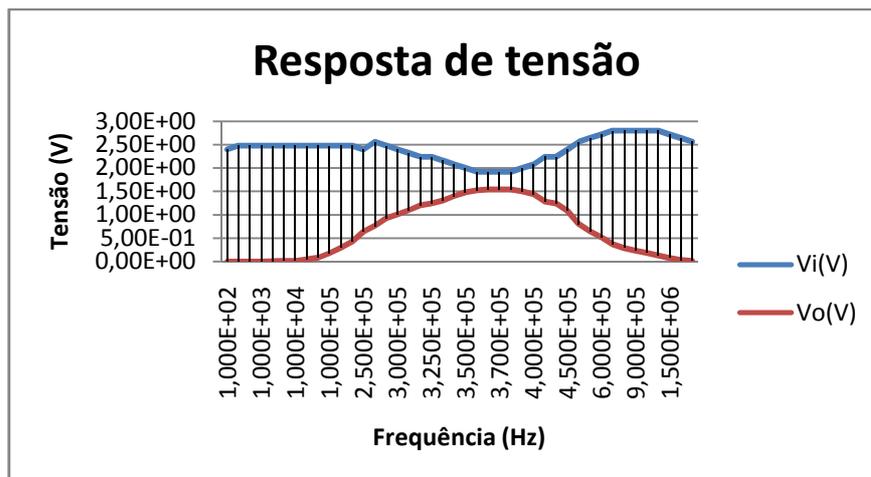


Figura 119: Curva de resposta em frequência real.

b) Resposta transitente: obtida somente na curva de simulação.

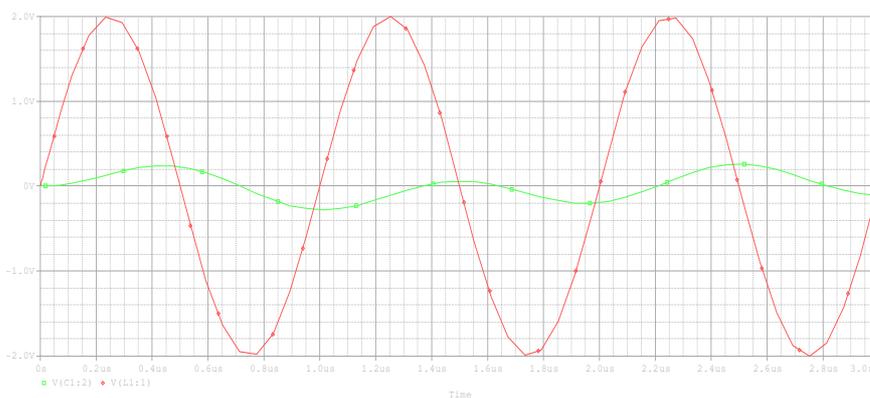


Figura 120: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x frequência (Hz)).

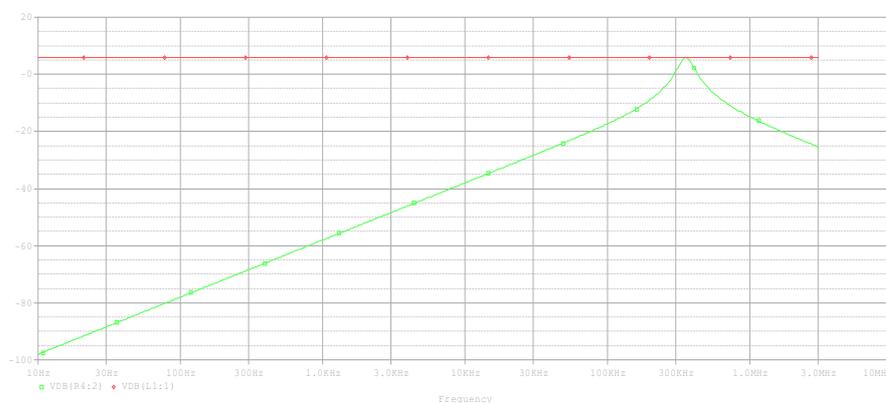


Figura 121: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito.

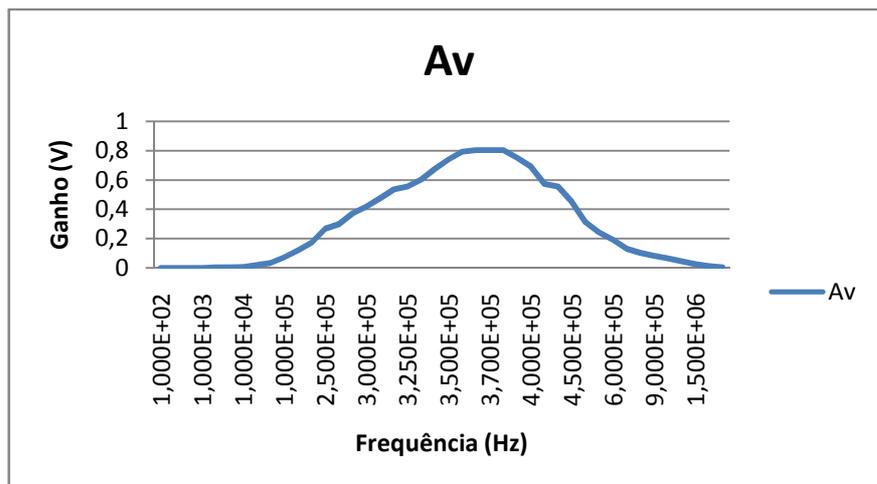


Figura 122: Curva real de ganho em volts.

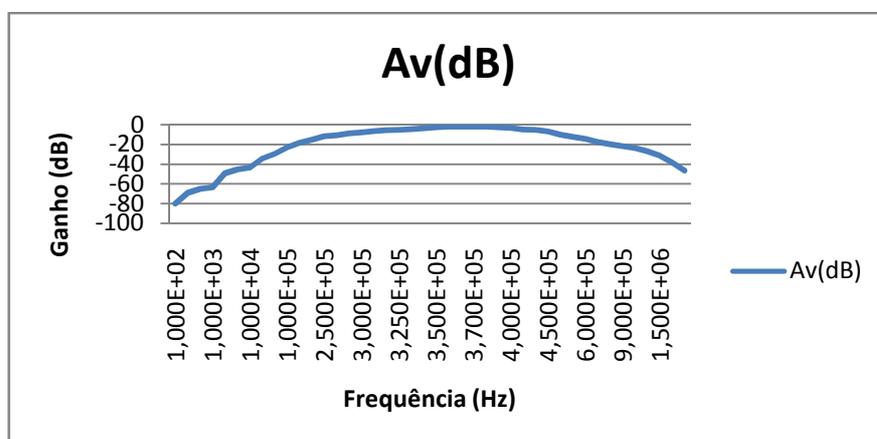


Figura 123: Curva real de ganho em dB.

d) Resposta em fase: (fase x frequência (Hz))

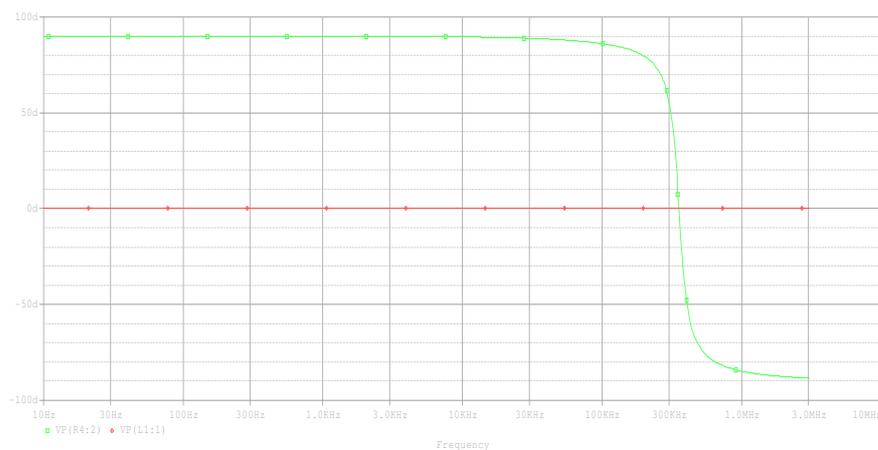


Figura 124: Curva simulada de fase.

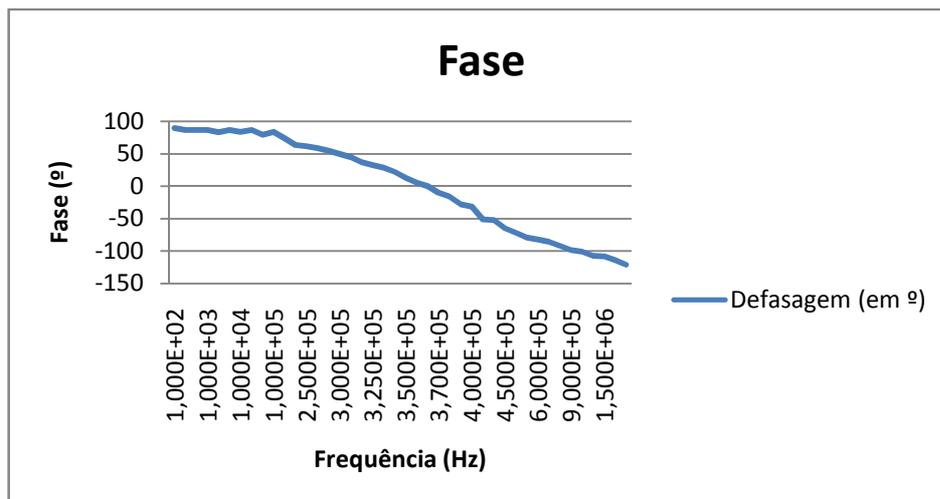


Figura 125: Curva real de fase.

Tal circuito tem impedâncias de entrada e saída que variam conforme a frequência. (Pertence Júnior, Antônio, 2ªed. 1988)

#### 4.1.8 CIRCUITO 8:AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA

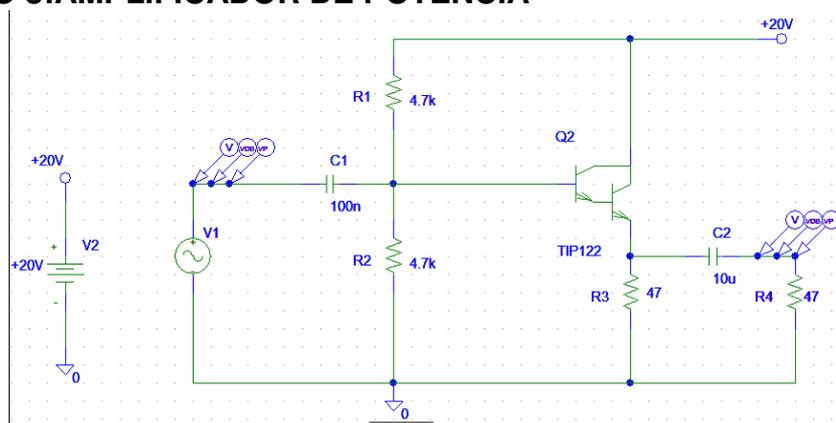


Figura 126: circuito desenhado no *schematics* do Orcad PSPICE®.

Para o circuito 8 apresentado figura 126 foram definidos os seguintes parâmetros de configuração dos componentes e simulação:

##### - Parâmetros da fonte geradora de sinal VSIN V1

DC = 0

AC = 1V

V<sub>ampl</sub> = 1V

Freq = 1e6

##### - Configurações da simulação AC:

- AC sweep type= DECADE

- Pontos por década = 101
- Frequência de partida = 10 Hz
- Frequência final = 2MHz

Na figura 127 é apresentada a placa montada para o circuito 8. Nos anexos AL e AM estão representados o diagrama esquemático para o circuito e o layout da placa, respectivamente.



**Figura 127: Placa montada correspondente ao circuito do amplificador de potência classe A.**

Foram analisados os pontos de resposta em frequência do circuito montado como segue no anexo W.

Conforme os dados apresentados no anexo citado anteriormente, fazendo-se a razão da tensão de saída máxima pela tensão de entrada na frequência analisada obteve-se um ganho prático máximo de 0,9736.

A partir do levantamento desses dados foi feita a comparação entre as curvas simuladas e as curvas reais:

a) Resposta AC (Tensão em V x Frequência)

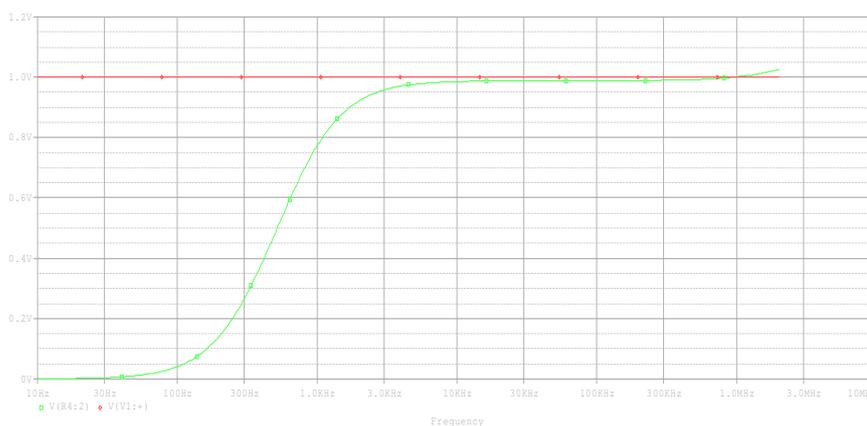


Figura 128: Simulação resposta AC.

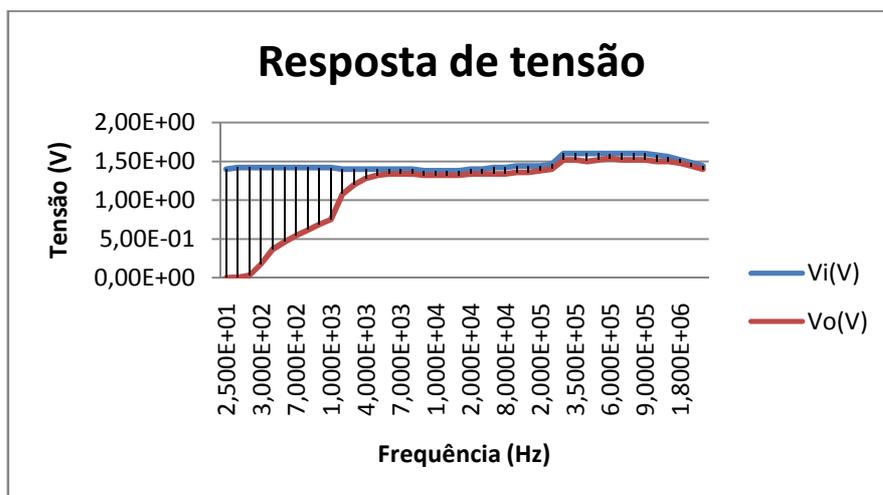


Figura 129: Curva de resposta em frequência real.

b) Resposta transiente: obtida somente na curva de simulação.

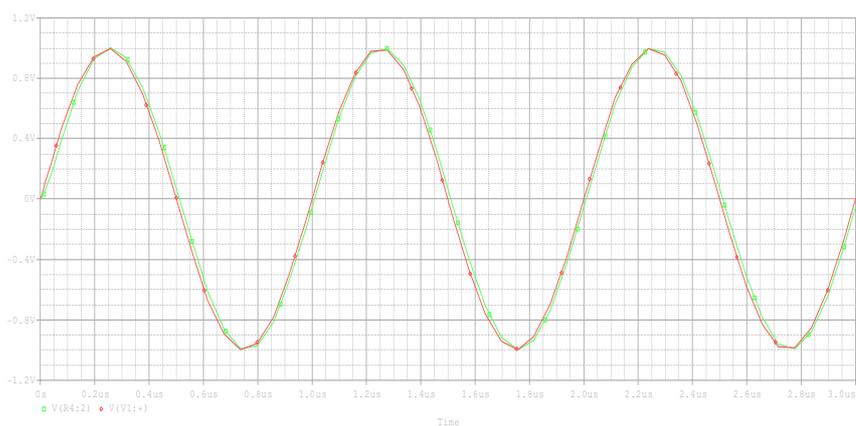


Figura 130: Transiente do circuito.

c) Resposta em magnitude ( $A_v$  (dB) x frequência (Hz)).

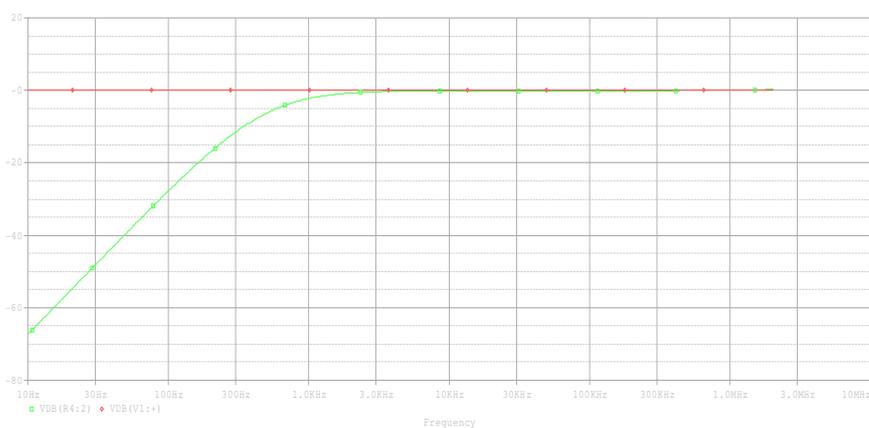


Figura 131: Curva de simulação da resposta em tensão do circuito

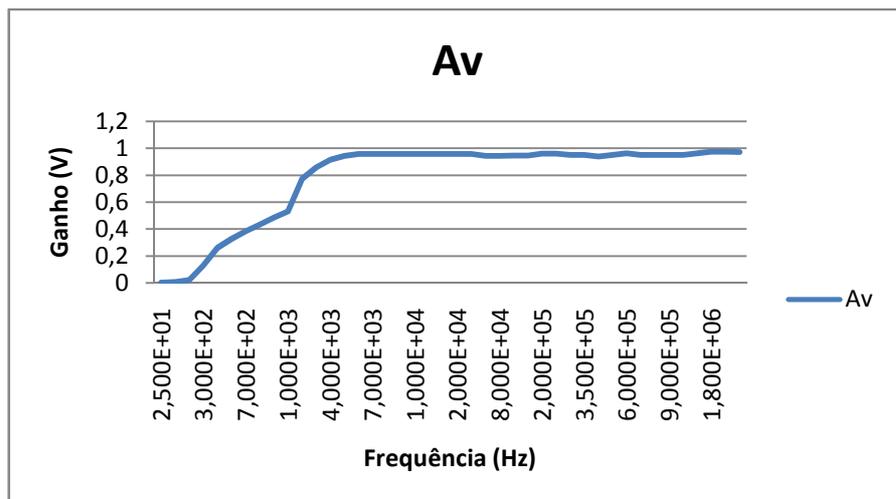


Figura 132: Curva real de ganho em volts.

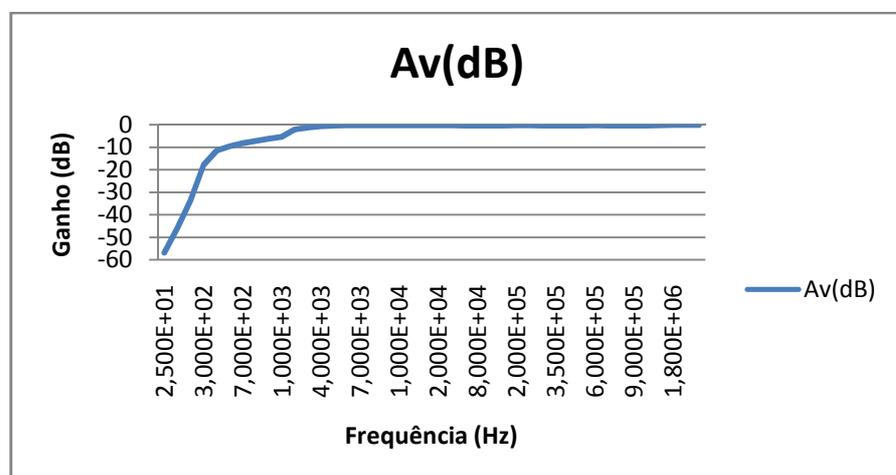


Figura 133: Curva real de ganho em dB.

d) Resposta em fase: (fase x frequência (Hz))

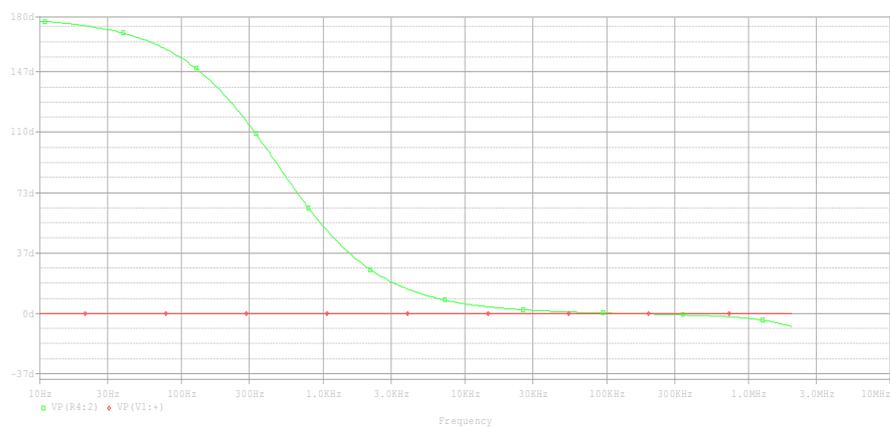


Figura 134: Curva simulada de fase.

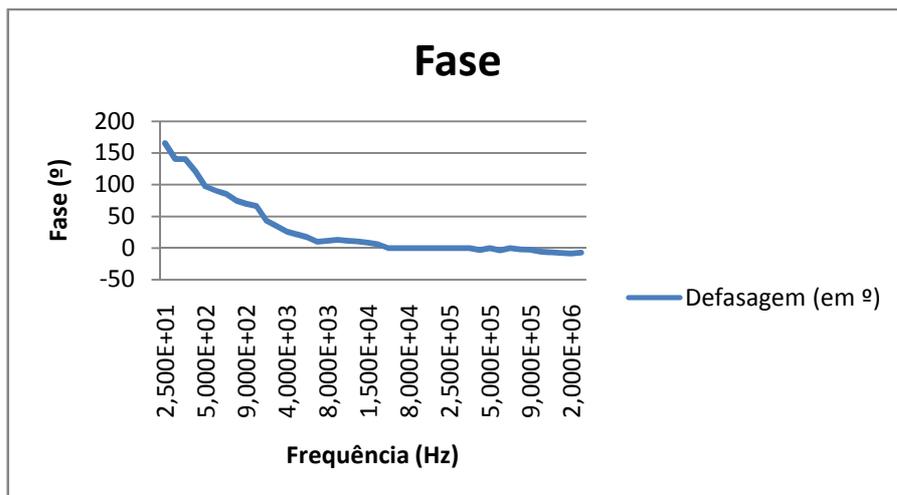


Figura 135: Curva real de fase.

A tabela 3, abaixo, traz o resumo dos valores obtidos pelo método teórico (simulado) e pelo método prático para cada um dos circuitos avaliados.

Tabela 7: Valores teóricos e práticos obtidos da análise dos circuitos.

Circuito	Freq de corte (simulado)	Freq de corte (prático)	Freq de corte inferior (simulado)	Freq de corte inferior (prático)	Freq de corte superior (simulado)	Freq de corte superior (prático)	Ganho teórico	Ganho prático	Erro do ganho (%)
1	-	-	~18kHz	15kHz	~30MHz	23MHz	22	21,714	1,3
2	~60kHz	61kHz	-	-	-	-	10	10,153	1,53
3	~60kHz	56kHz	-	-	-	-	11	11,777	7,06
4	12,9kHz	10,9kHz	-	-	-	-	1	1	0
5	1kHz	960Hz	-	-	-	-	1	1,014	1,4
6	-	-	~940kHz	950kHz	~1,2MHz	1,17MHz	1	0,669	33,1
7	-	-	~320kHz	328kHz	~420kHz	423kHz	1	0,802	19,8
8	~1kHz	~1,2kHz	-	-	-	-	1	0,9736	2,64

## 4.2 RESULTADOS OBTIDOS COM O HARDWARE

Para análise dos resultados obtidos no desenvolvimento do hardware, iremos fazer uma verificação por módulos, considerando:

- a) Placa de desenvolvimento eAT55;
- b) Interface eAT55 display gráfico;
- c) Display gráfico;
- d) Controlador de película “touch-screen”;
- e) Placas com relés;

- f) Placa principal;
- g) Placas de teste;

#### **4.2.1 PLACA DE DESENVOLVIMENTO eAT55**

Considerando que a idéia do desenvolvimento de um analisador de resposta em frequência era trazer algum benefício para os alunos de engenharia eletrônica da UTFPR, deu-se preferência por utilizar a placa de desenvolvimento eAT55, fabricada pela eSysTech, pois a instituição possui algumas placas destas para uso em laboratório.

Os principais elementos da placa que serviram ao desenvolvimento do CarQuad foram seu microcontrolador (core ARM7), interface para display LCD, saída de portas digitais, interface para comunicação SPI, interface para comunicação serial e conversor digital analógico.

Dentro daquilo que foi exigido da placa, conseguiu-se êxito em programar tudo que foi necessário ao arranjo dela ao CarQuad. Os detalhes sobre dificuldades serão abordados nos módulos seguintes.

A única diferença entre o que foi imaginado inicialmente e o que realmente foi implementado, foi que imaginou-se utilizar o conversor analógico digital contido nessa placa para fazer diversas amostras de sinais externos e com a análise destes chegar às medidas desejadas. Isso, no entanto, não foi possível pois a frequência de operação do microcontrolador (32MHz) e a frequência máxima que desejava-se atingir (10MHz) não possibilitava o processamento.

#### **4.2.2 INTERFACE eAT55 DISPLAY GRÁFICO**

Para o controle do display gráfico, que faz a interface ser humano máquina, utilizou-se o recurso do conector X7 presente na eAT55. Esse conector é destinado a fazer o interfaceamento com um display LCD.

O estudo dos arquivos VHDL que contêm os códigos da CPLD presente na placa, mostraram a forma de funcionamento dessa interface, seus endereços e níveis lógicos. Havia uma incompatibilidade de nível lógico para a escrita no display. Somando isso ao fato da disposição da pinagem entre o conector da eAT55 e do

---

display gráfico não serem totalmente compatíveis, elaborou-se uma placa para fazer a união desses dispositivos. Essa placa também faz a correção necessária para o ajuste de contraste do display e a geração de 3V3.

Com um tempo de exposição de dados de 150ns, gerados pela eAT55, foi possível fazer o controle adequado do display, sem no entanto, utilizar o recurso de leitura para ver estado do display como “pronto” ou “ocupado”, pois o pino para leitura não estava disponível no barramento da eAT55.

Quando houve alguma incompatibilidade de tempos, foram realizadas amarrações por software no sentido de garantir a operação do display dentro do recomendado pelo fabricante.

### **4.2.3 DISPLAY GRÁFICO**

O uso do display gráfico visava trazer uma maior versatilidade na implementação do sistema. Com ele, somando ao recurso da película *touch screen*, foi possível fazer um teclado no próprio display. Eliminando assim uma outra forma de entrada de dados.

A interface paralela do display facilitou bastante a geração de código. Aqui, a maior dificuldade esteve no entendimento do controlador para display gráfico T6963C. O estudo desse controlador trouxe o entendimento da relação entre a área visível do display e o mapeamento de memória, da diferença entre trabalhar nos modos gráfico e texto, e de como fazer a configuração inicial do display para obter seu correto funcionamento.

Uma vez gerada a tela principal, ficou bastante clara a forma de entrada de dados do CarQuad.

Várias funções foram geradas em código para fazer o preenchimento dos vários campos e também garantir uma boa interatividade com o usuário.

### **4.2.4 CONTROLADOR DE PELÍCULA TOUCH SCREEN**

Como o display gráfico adquirido não possuía um controlador para película *touch screen* integrado, foi necessário escolher um controlador separado e montar uma placa para realizar essa tarefa.

---

O controlador ADS7846 foi alimentado em 3V3 para ser compatível à alimentação do microcontrolador. Isso era necessário pois as informações do controlador são transmitidas para o microcontrolador através de uma interface SPI. Após as bordas para troca de valor e captura de valor, configurações básicas da SPI serem acertadas, e também depois de observar a necessidade de enviar dados como zero para gerar *clocks* que possibilitassem capturar os dados de retorno, a interface SPI funcionou muito bem. Na implementação o microcontrolador ARM ficou configurado como “mestre” enquanto o controlador *touch screen*, como “escravo”.

Implementou-se a captura das coordenadas x e y do display, sem se preocupar com o valor de pressão efetuada, uma vez que essa funcionalidade não era necessária nessa aplicação.

Apesar de ter sido previsto o uso de filtros RC para evitar algum tipo de interferência nos sinais medidos a partir da película *touch screen*, não houve a necessidade da montagem destes.

Para utilização com o CarQuad, foram mapeados, em coordenadas x e y, os campos que seriam acionados pelo usuário. E, para cada estado de funcionamento do equipamento, foi atribuída uma funcionalidade específica para aquele campo. Quando uma tecla, ou campo, não participava do estado em que o CarQuad se encontrava, o pressionar simplesmente foi deixado sem efeito.

Para melhorar a interatividade com o usuário, fez-se o acionamento de um sinal sonoro (*buzzer* ou *beep*) ser gerado toda vez que é detectado um pressionamento sobre a película *touch screen*.

#### **4.2.5 PLACAS COM RELÉS**

Como descrito anteriormente, durante o procedimento de medição é necessário seccionar a saída, retirando a carga do circuito sob teste. Esse seccionamento foi feito através de relés de estado sólido. Aqui, o único cuidado que foi tomado, foi de colocar os relés (pois deixou-se a opção de também seccionar a entrada do circuito) em plaquinhas de circuito impresso bastante pequenas para que fosse possível conectá-las sob o circuito sendo testado. Esse cuidado deu-se por ter-se a pretensão de trabalhar até alguns mega hertz e não desejar aumentar o

---

caminho de circulação dessa alta frequência. A montagem e teste dessa placas foi realizada e elas funcionaram sem qualquer problema.

#### 4.2.6 PLACA PRINCIPAL

A Placa Principal abrigou grande parte dos circuitos indispensáveis ao funcionamento do CarQuad. Fazendo uma divisão básica, pode-se separá-la em circuito de geração de sinal, circuito configuração dos diversos sinais de controle e circuito de aquisição.

O circuito de geração possui como centro um sintetizador de sinais digitais operando sob frequência de *clock* de 50 MHz. O estudo desse integrado (ISL5314) permitiu fazer a configuração inicial dele e com isso gerar frequências de até 10 MHz.

Aqui, os principais desafios ficaram concentrados na geração de código, pois para a determinação da frequência de saída, é necessário preencherem-se 6 registradores de 8 bits. O conteúdo desses registradores determina a frequência com uma resolução altíssima e a dificuldade fica por conta de fazer as multiplicações que irão gerar a palavra de 48 bits.

Como não era necessário utilizar toda resolução disponível do DDS, limitou-se a ter uma resolução com unidade de Hertz. O sinal gerado ficou dentro do esperado, com uma amplitude próxima a 1 Vpp.

Ainda fazendo parte do circuito de geração do sinal de excitação, tem-se na saída do DDS um filtro passa baixas de segunda ordem que possui a finalidade de eliminar a frequência da unidade osciladora. Esse filtro obteve uma boa resposta até 1MHz, após isso, passou a atenuar o sinal trazendo algum prejuízo à amplitude das frequências mais altas. Finalizando esse bloco, tem-se um controle para atenuação ou ganho da amplitude. Esse controle fez uso de um multiplexador analógico e funcionou bem. Seguindo, colocou-se um amplificador de corrente que permitia circuitos sob teste com impedâncias de entrada baixas.

A série de amplificadores cascadeados, para medir a corrente pelo resistor de saída do gerador de sinais, apresentou bom funcionamento, foi possível medir correntes na ordem de algumas dezenas de micro ampères. Para correntes assim tão baixas, o ruído presente no sinal amplificado ficou alto, porém não chegou a prejudicar a forma de onda original.

---

O circuito para configuração dos diversos sinais de controle presentes na placa principal, também apresentou bons resultados. Constituído de uma série de flip-flops, esse circuito mantinha os sinais para configuração do DDS, acionamento do *buzzer*, acionamento do *back-light* do display gráfico, atenuação e ganho de diversos estágios. Aqui, o maior dispêndio de esforços foi a elaboração de uma função que permitisse acessar distintamente cada linha da série de flip-flops, mantendo o sinal dos demais íntegro. O ponto de partida para esse controle é a porta de saídas digitais da placa eAT55, que teve seu barramento de 16 bits dividido entre dados e endereços para poder acionar individualmente os flip-flops. Durante os testes, uma série de mudanças nas linhas de controle da placa principal foi feita e essa parte do circuito não apresentou nenhum problema, fosse por nível, integridade ou tempo dos sinais envolvidos.

O circuito de aquisição foi idealizado para fazer uso de um multiplicador analógico. Escolhendo-se os sinais a serem postos na entrada do multiplicador, seria possível medir as diversas amplitudes e fases de interesse. Mas, alguns fatores impossibilitaram isso.

Primeiramente, obedecendo os limites de potência indicados nos *datasheets*, teve-se que limitar a tensão dos multiplexadores analógicos a +/- 4,5V. Isso trouxe limitações enormes quando à faixa dos sinais que poderiam ser lidos dos circuitos. Essa limitação de tensão acabou sendo transmitida aos estágios subseqüentes chegando ao multiplicador analógico que, apesar de poder ser alimentado com +/- 15V, foi restringido a +/- 5V. Com isso, os níveis de tensão obtidos na saída do multiplicador analógico foram muito menores dos pensados inicialmente. Somou-se aí o fato da eAT55 ter seus conversores analógico-digitais com tensão de referência de 2,5V. Trabalhando em 8 bits e não podendo medir tensões mais altas, a resolução obtida nas medições ficou precária e as formas de ganho distorcidas.

Quando a idéia foi inicialmente concebida, imaginou-se utilizar potenciômetros digitais para o controle dos diversos estágios. Posteriormente essa idéia foi descartada, pois os potenciômetros digitais não permitem o uso com correntes alternadas, algo indispensável à essa aplicação. Aí então foram introduzidos os multiplexadores analógicos que, além de trazer todo o inconveniente da limitação de tensão, também trouxeram a limitação de ajuste, pois, com eles, as opções de controle para cada ponto do circuito ficaram limitadas a 8 degraus. Enquanto um potenciômetro digital poderia facilmente dar mais de 100.

Outro fator que impediu a aquisição das grandezas desejadas foi a incapacidade de avaliar distorções nas formas de onda geradas. Como estava-se fazendo uso de um multiplicador analógico, quaisquer distorções nos sinais obtidos afetavam a resposta adquirida. Por exemplo, quando tinha-se um circuito amplificador com tempos de subida e descida muito lentos, ao aumentar a frequência e por conta do ganho, a forma de onda da saída começa a tender para um formato mais triangular que senoidal. Isso altera o resultado obtido a partir do multiplicador analógico (que espera formas senoidais em suas entradas) e impossibilita uma boa avaliação do comportamento do circuito. Novamente a falta de resolução para os conversores analógico-digitais e a incapacidade de poder trabalhar com amplitudes maiores prejudicaram os resultados.

#### **4.2.7 CIRCUITOS TESTE**

Detalhes sobre os resultados obtidos podem ser vistos, no item 4.1.

### **4.3 RESULTADOS OBTIDOS COM O KIT DIDÁTICO**

No item 4.1, descreveu-se os resultados obtidos com os circuitos de teste desenvolvidos para serem utilizados com o CarQuad. Com os dados apresentados pode-se verificar que eles funcionaram da forma esperada. No item 4.2, focou-se nos resultados obtidos com a parte de hardware do kit, responsável por gerar os sinais, coletar as informações dos circuitos e fazer a interface com o usuário.

Abaixo os resultados obtidos para a curva de ganho dos circuitos de teste com o uso do Kit e do software desenvolvido:

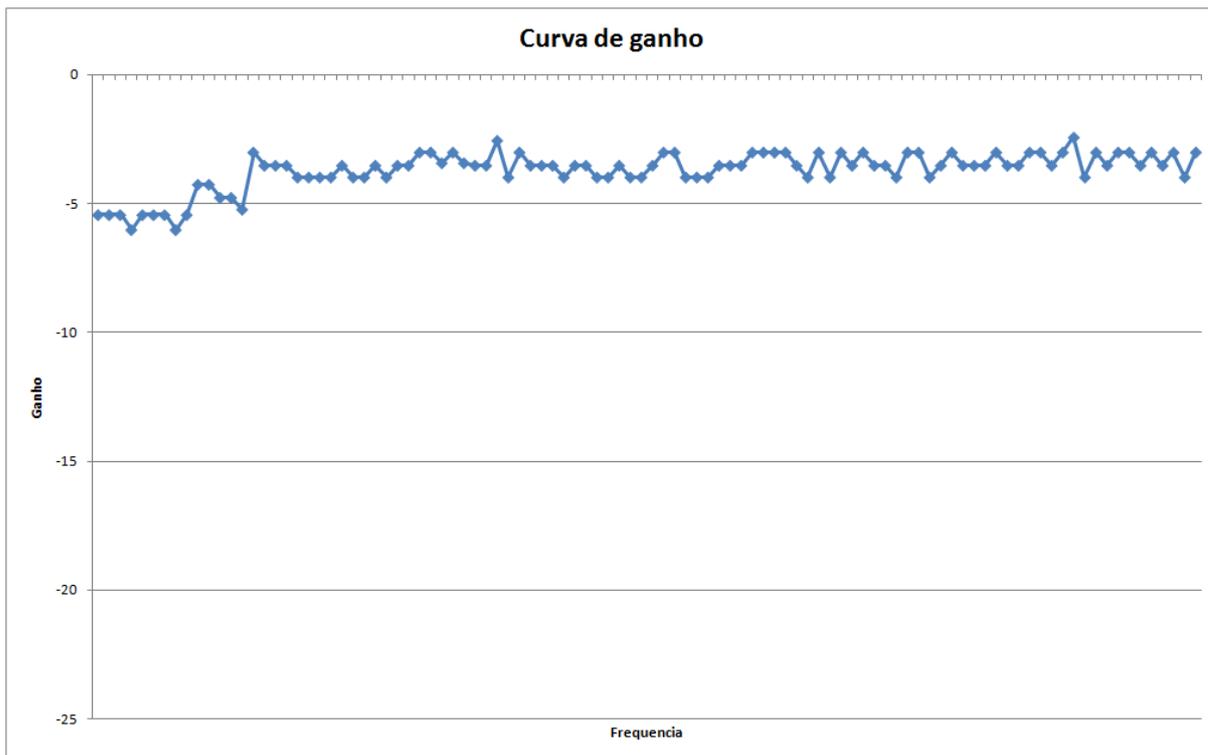


Figura 136: Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 1

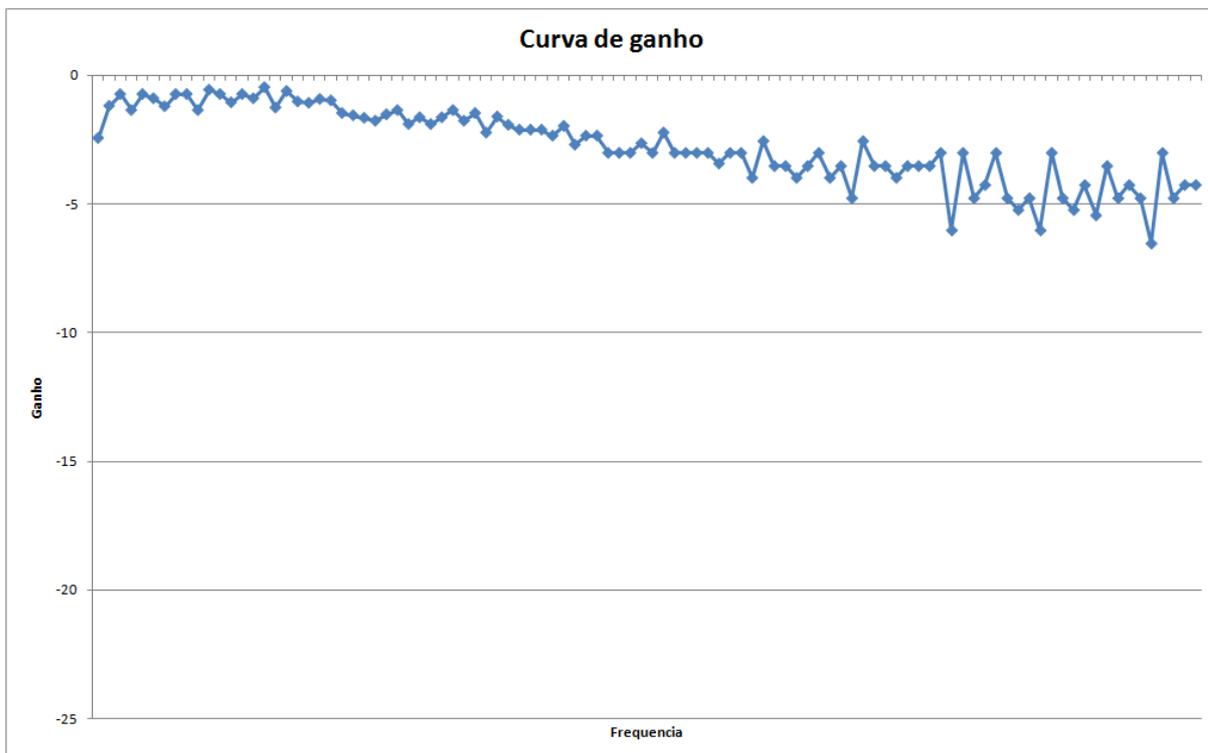


Figura 137: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 2

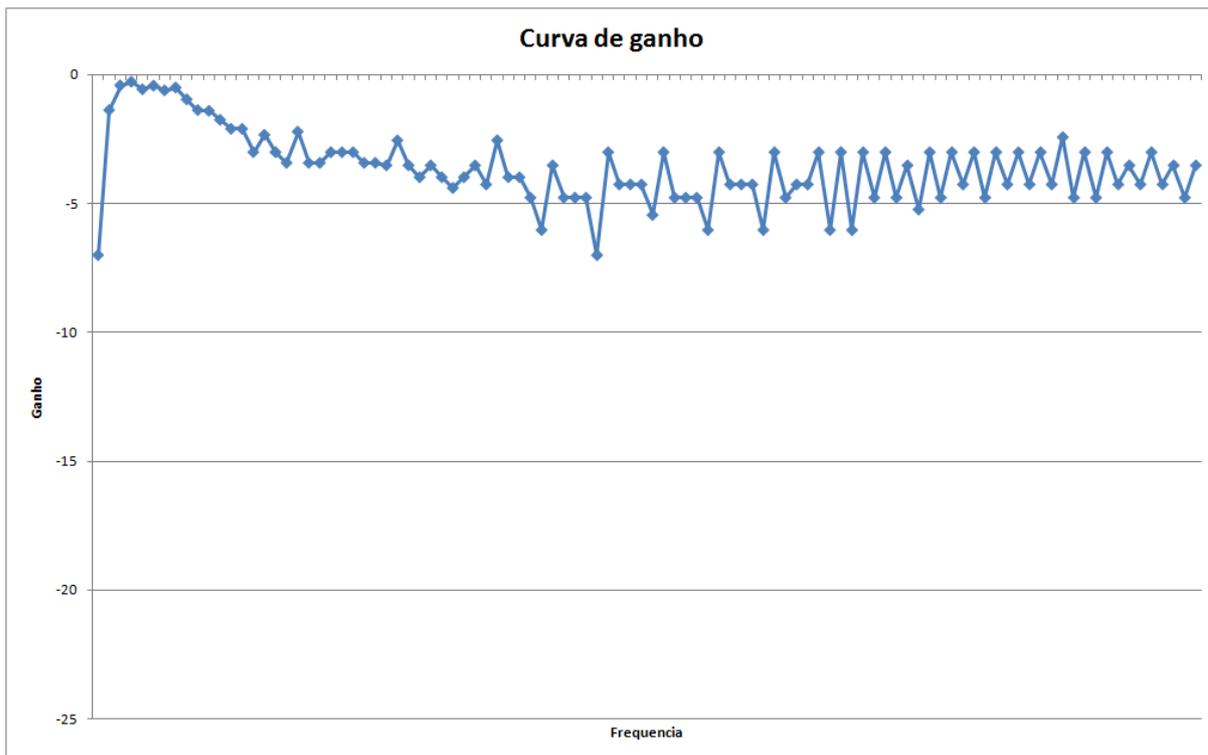


Figura 138: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 3

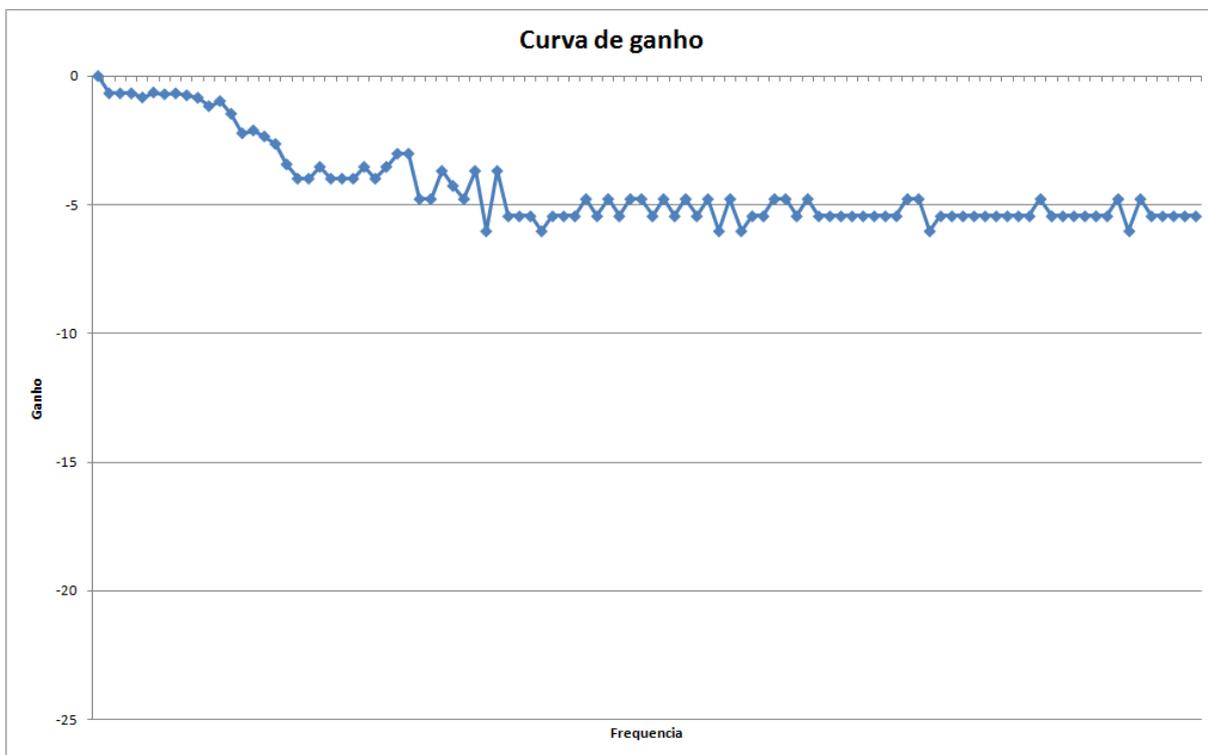


Figura 139: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 4

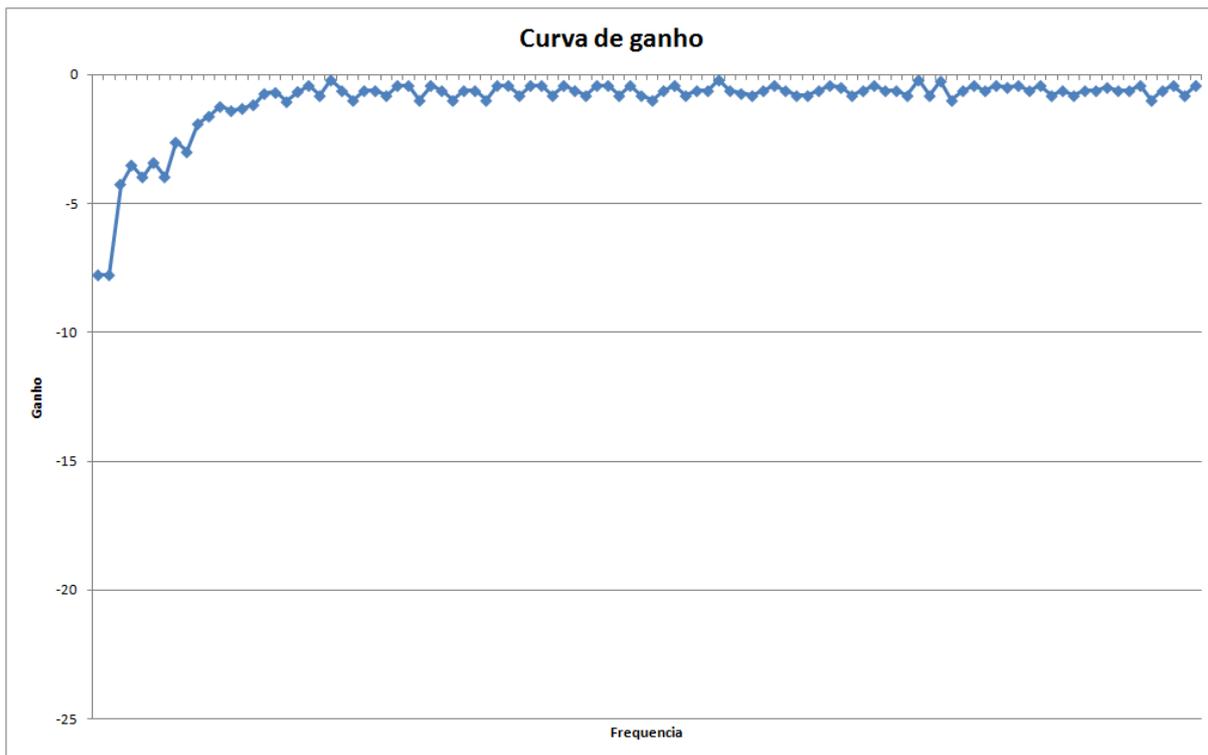


Figura 140: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 5

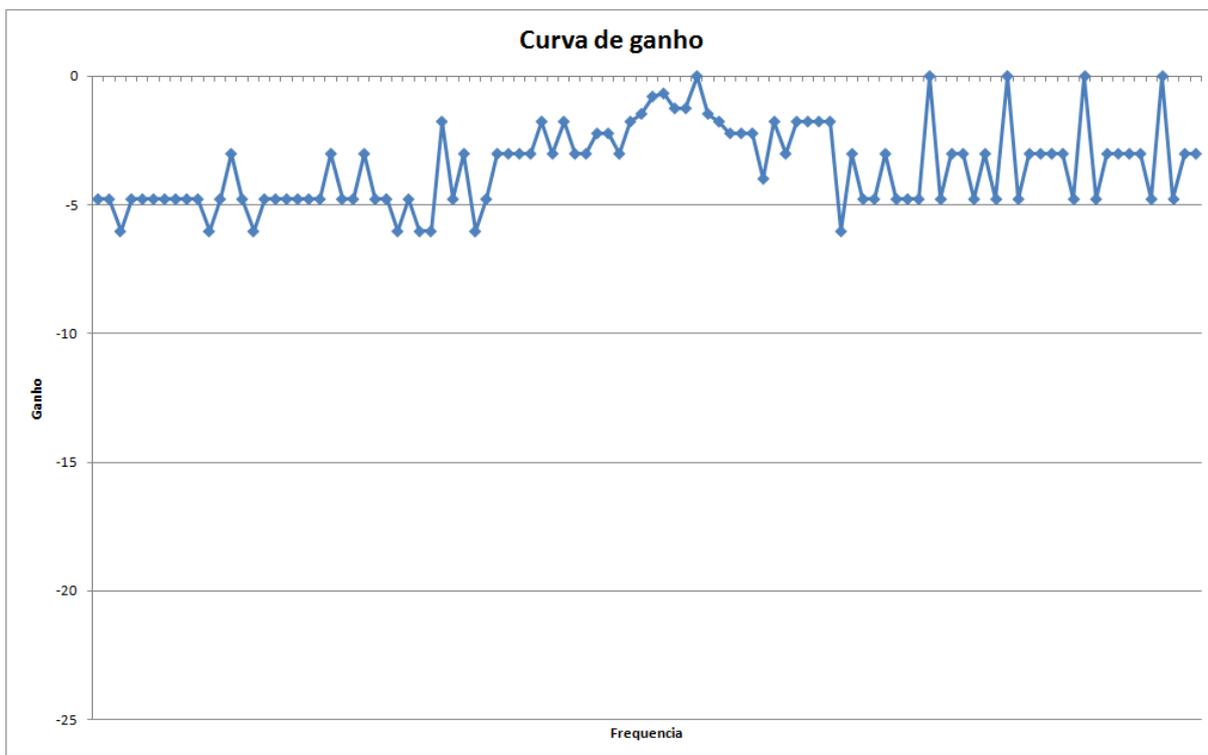


Figura 141: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 6

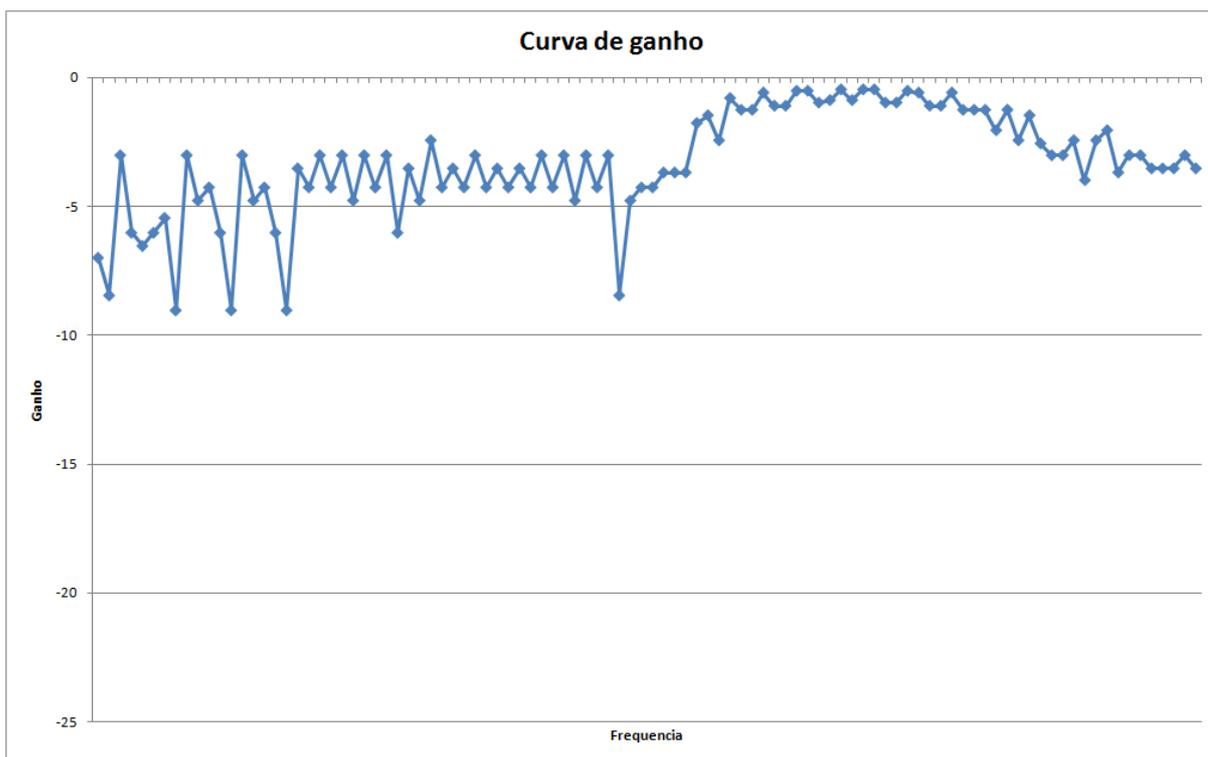


Figura 142: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 7

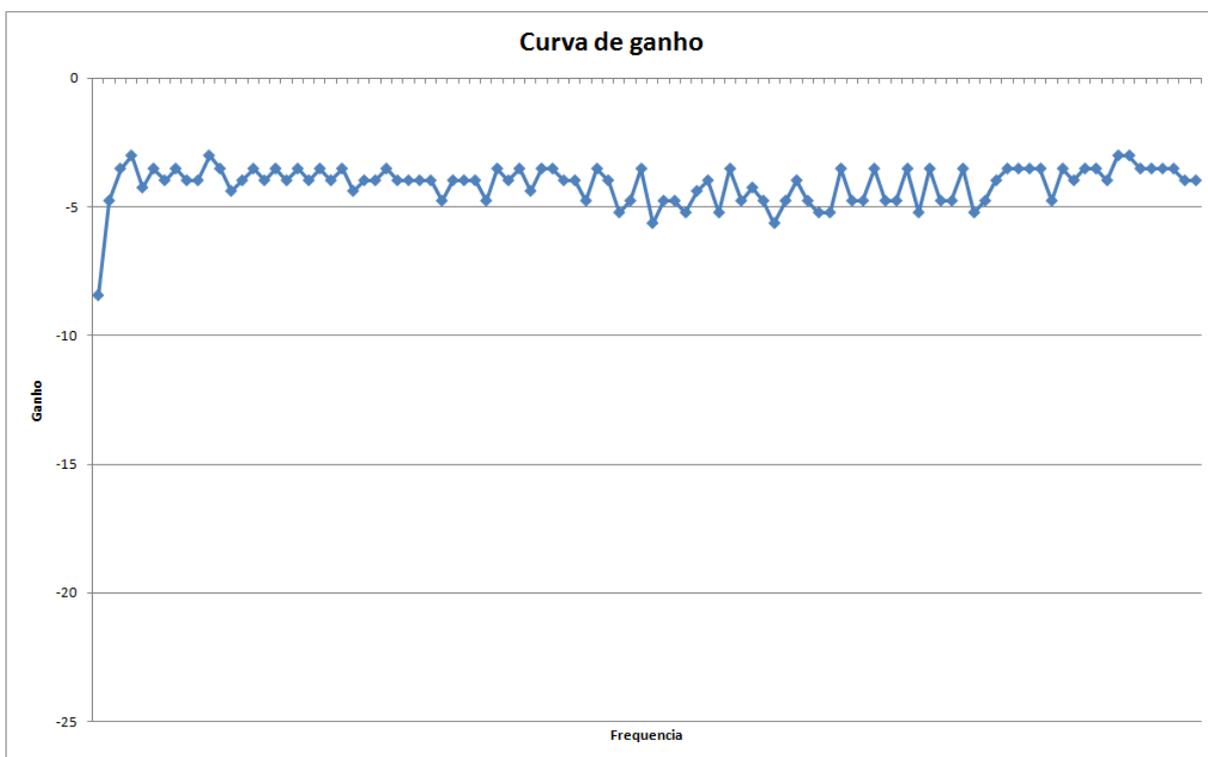


Figura 143: : Resultado obtido com o uso do CarQuad para o ganho do circuito 8

Como pode-se ver as curvas não ficaram muito lineares devido a limitações encontradas no hardware, porém se forem comparadas com as curvas levantadas a mão ou com as simuladas, elas estão coerentes com o comportamento dos circuitos.

Essas curvas mostram que a interface entre o hardware e o software funcionou bem. O arquivo de texto com as informações foi recebido corretamente, o processo de conversão dos dados recebido em hexadecimal e o posterior cálculo dos parâmetros para os circuitos foi feito corretamente. Como esperado, os gráficos foram realizados de forma automática de acordo com a escolha do usuário através da janela principal do software.

## **5 GESTÃO E PLANO DE NEGÓCIOS**

Para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 1, estudou-se ferramentas de gestão de projetos e foi elaborado um plano de gestão para execução do projeto. No anexo A, tem-se o cronograma criado para o projeto, a estimativa dos custos, a análise de riscos e uma análise da eficiência do plano de gestão criado.

No anexo B, está o Plano de negócios desenvolvido para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2. Como o projeto não foi criado com o foco de se tornar um produto para ser comercializado e sim em se tornar uma ferramenta de auxílio à disciplina de Amplificadores, ou seja, um kit didático, adicionou-se o documento relativo ao plano de negócios aos anexos, somente para referência.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de traduzir uma ideia de funcionamento simples, a implementação de um analisador de resposta em frequência mostrou particularidades que exigem bastante cuidado e dedicação durante o desenvolvimento, mesmo levando-se em conta tratar-se de um kit didático para uso em laboratórios de ensino.

Essa dificuldade, apenas percebida durante o desenvolvimento do projeto, teve impacto direto no controle de gestão. Inicialmente planejado para 12 meses, ele foi desenvolvido em 8, pois houve um retardamento no início do projeto. A solução encontrada para poder colocar o projeto novamente no prazo, foi contar com a especialidade de cada membro da equipe, fazendo com que cada um ficasse focado naquilo para o que tinha maior habilidade. Apesar dessa estratégia ter a deficiência de não garantir a diversificação de conhecimento da equipe, trouxe o benefício de fazer as tarefas serem cumpridas em menor prazo, algo essencial para o sucesso.

No projeto do CarQuad, obtive-se êxito em toda parte de interfaceamento com o usuário ficando em pleno funcionamento o módulo de display gráfico, entrada de dados através de painel *touch screen* e também o software para PC que permite a visualização rápida dos dados adquiridos.

Uma outra parte muito relevante para o bom funcionamento do conjunto, é a geração do sinal de excitação. Aqui, o ponto crucial para o sucesso, foi a escolha de um sintetizador digital de sinais. Pois, além de conseguir-se uma faixa de frequências de 1Hz até 10MHz, o que seria muito mais difícil com um circuito analógico, obteve-se uma boa precisão no valor da frequência e poderia-se melhorá-la ainda mais, caso fosse exigido. Essa possibilidade de melhoria advém da alta resolução do DDS ( $50\text{MHz}/2^{48}$ ) e do possível uso do controle de “offset” desse dispositivo.

Aplicando a ideia de endereçamento aliada ao uso de *flip flops*, configurou-se com sucesso cerca de 40 linhas de sinais através de um barramento de 16bits disponível na placa eAT55. Aqui, o maior desafio ficou por conta de gerar um código que implementasse esse controle de modo a permitir a alteração distinta de cada linha sem causar danos às demais.

A parte analógica da placa principal foi a que trouxe maiores dificuldades. Inicialmente, imaginava-se utilizar potenciômetros digitais para os controles de

---

ganho e atenuação nos diversos estágios de amplificação dos sinais gerado e recebido. A escolha pelos potenciômetros digitais era baseada na facilidade de se poder controlá-los (geralmente 1 linha de sinal de *clock* mais 1 linha indicando sentido “UP” ou “DOWN”) e também a disponibilidade de diversos níveis o que traria uma capacidade de poder ajustar com relativa precisão cada ponto do circuito. Infelizmente, o uso destes não foi permitido, pois eles não trabalham com correntes alternadas, algo indispensável à aplicação. Em seu lugar, optou-se por utilizar multiplexadores analógicos, com isso, foram somadas imediatamente duas dificuldades ao desenvolvimento: ter um número maior de linhas de controle para gerenciar (o que foi resolvido) e diminuir tremendamente a precisão nos ajustes de ganho e atenuação, já que os multiplicadores analógicos dispõem de apenas 8 níveis para ajuste. Agravando, ao consultar o manual do fabricante constatou-se a limitação na tensão de alimentação em 5V o que restringiu as medições externas à essa faixa, prejudicando a excursão de sinal e por conseqüência a resolução para conversão dos sinais analógicos em digitais.

O uso de um multiplicador analógico facilitou inicialmente o modo para medição da fase entre formas de onda de entrada e saída. No entanto, esse multiplicador apresenta valores errôneos se formas de onda distorcidas forem colocadas em suas entradas ou se houver uma diferença grande entre as amplitudes a serem multiplicadas. Durante os testes observou-se que alguns circuitos distorciam suas formas de onda de saída aproximando-as de formas de onda triangulares (algo esperado uma vez que nem todos os circuitos possuem tempos de subida e descida rápidos o suficiente), mas como não havia boas condições para avaliar essas distorções, não foi possível medir adequadamente amplitude e fase, nem chegar a um algoritmo para determinação do ponto ótimo de medição.

Uma nova concepção seria obrigatória para tornar possível a medição satisfatória dos sinais dos circuitos, com o intuito de gerar as curvas de ganho e fase dentro de critérios mais rigorosos. Um exemplo de melhoria, é utilizar um esquema de chaveamento de filtros na saída do multiplicador analógico, com este, o tempo de estabilização poderia ser otimizado pelo chaveamento do filtro de saída em função da frequência aplicada. Outras melhorias incluiriam acertos de amplitude dos sinais de saída do multiplicador analógico para valores que fizessem melhor uso da faixa do conversor analógico digital.

Quanto aos circuitos de teste propostos, a avaliação prática resultou em curvas muito próximas das teóricas simuladas. Por exemplo, numa comparação da resposta de ganho esperada dos circuitos com a obtida na prática foi calculado o erro do ganho das medições para os circuitos com componentes ativos e chegou-se a um valor máximo encontrado aproximado de 8 % enquanto que para os circuitos passivos obteve-se um erro do ganho em torno de 30% com relação ao valor esperado. A tabela 4 traz os dados comparativos dos 8 circuitos avaliados que fazem parte do kit didático CarQuad.

**Tabela 4: Comparação entre os resultados simulados e práticos dos circuitos de teste.**

Circuito	Freq de corte (simulado)	Freq de corte (prático)	Freq de corte inferior (simulado)	Freq de corte inferior (prático)	Freq de corte superior (simulado)	Freq de corte superior (prático)	Ganho teórico	Ganho prático	Erro do ganho (%)
1	-	-	~18kHz	15kHz	~30MHz	23MHz	22	21,714	1,3
2	~60kHz	61kHz	-	-	-	-	10	10,153	1,53
3	~60kHz	56kHz	-	-	-	-	11	11,777	7,06
4	12,9kHz	10,9kHz	-	-	-	-	1	1	0
5	1kHz	960Hz	-	-	-	-	1	1,014	1,4
6	-	-	~940kHz	950kHz	~1,2MHz	1,17MHz	1	0,669	33,1
7	-	-	~320kHz	328kHz	~420kHz	423kHz	1	0,802	19,8
8	~1kHz	~1,2kHz	-	-	-	-	1	0,9736	2,64

Os dados mostram indícios de que na análise em frequência existem diversos fatores que influenciam significativamente no comportamento dos circuitos como o cabeamento utilizado para interligar os circuitos, influência externa do ambiente e interna dos próprios componentes utilizados. As curvas de ganho e fase comprovaram o funcionamento dos circuitos desenvolvidos e seu comportamento diferenciado em diferentes frequências. Com o uso do CarQuad, houve um ganho muito significativo em relação ao tempo necessário para fazer o levantamento dos pontos da curva. Feitos manualmente, e considerando-se uma média de 40 pontos, são necessárias 3 horas e meia para o tabelamento e geração de gráficos. Com o CarQuad, e considerando 100 pontos de amostragem na faixa de frequências respectiva a cada circuito, foi possível executar a tarefa em cerca de 25 minutos. Isso traz a vantagem desejada, de poder-se ampliar o número de circuitos a serem testados ou multiplicar as variações de análises dentro de um mesmo circuito.

A experiência no desenvolvimento desse projeto confirmou algo que é ensinado de que sempre há dificuldade quando o assunto é medição de sinais. Seja

por questões temporais, por grandeza ou pela dificuldade de distinguir um sinal em um meio ruidoso. Mostrou também que dentro da capacidade desenvolvida no curso de Engenharia Eletrônica, a formação está bem consolidada no que se refere ao desenvolvimento de software (o fruto deste é o software para PC que funcionou sem maiores problemas) e na parte de eletrônica digital (aqui toda interface com usuário, display gráfico, SPI, serial, que apresentou bons resultados). Ficou então uma oportunidade de maior desenvolvimento na área da eletrônica analógica, particularmente, no que tange a aquisição de sinais onde haja limitações de amplitude, presença de ruídos e distorções.

---

## REFERÊNCIAS

DAELN - UTFPR – Departamento de Eletrônica – Eng. Eletrônica: Grades e Ementário. Disponível em:

<<http://engenharia.daeln.ct.utfpr.edu.br/>>. Acessado em 26 de Setembro de 2010.

DAELN - UTFPR – Departamento de Eletrônica – Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações: Grades e Ementário. Disponível em:

< [http://www.daeln.ct.utfpr.edu.br/tec\\_sistemas\\_tel.php](http://www.daeln.ct.utfpr.edu.br/tec_sistemas_tel.php)>. Acessado em 26 de Setembro de 2010.

CONSULTA A PATENTES. Disponível em:

< [www.google.com/patents](http://www.google.com/patents)>

Acessado em: outubro de 2010

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL.

Disponível em:

< <http://www.marcaspatentes.pt/index.php?section=1>>

Acessado em: outubro de 2010

TUTORIAL DE VBA PARA EXCEL.

Disponível em:< <http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais>>

Acessado em: 30 de maio de 2011

HIMPE, Vicent. Visual Basic for Electronics Engineering Applications Second Edition.2002

ESysTech Produtos.

Disponível em:

<<http://www.eSysTech.com.br/produtos/hard/KiteAT55.php>>

Acessado em: outubro de 2010

ESysTech- Embedded Systems Technologies. EAT55: *ARM evaluation board* – Manual do usuário. Março, 2006. Curitiba, PR.

Atmel. Datasheet AT91M55800A – AT91 ARM® Thumb® Microcontrollers. Julho, 2001.

AGTechnologies. *Datasheet Display LCD AGM-240128A-801*. São Paulo.

Toshiba. *Datasheet T6963C - Dot Matrix LCD control*. Fevereiro, 2001.

Burr-Brown – BB. *Datasheet ADS7846 – Touch-screen controller*. Dezembro, 1999.

Intersil. *Datasheet ISL5314 – Direct Digital Synthesizer*. Janeiro, 2010.

HIB- Hosonic Industrial do Brasil. *Datasheet Ho-13C/16C – Osciladores com terminais*. Pato Branco, PR.

Analog Devices. *Datasheet AD8040 – Amplifier*. 2003.

STMicroelectronics. *Datasheet M74HC4051 – Analog Multiplexer/Demultiplexer*. Abril, 2008.

Intersil. *Datasheet HA5002 –Current Buffer*. Março, 2006.

Analog Devices. *Datasheet ADA4861-3 – Triple op Amp*. 2006.

STMicroelectronics. *Datasheet M74HC374 – Octal D-type flip-flop*. Julho, 2001.

Intersil. *Datasheet HA2526 –Voltage Output Analog Multiplier*. Abril, 2008.

STMicroelectronics. *Datasheet M74HC138 – 3 to 8 Line Decoder*. Outubro, 1992.

Millman, Jacob. Halkias C.,Christos.Eletrônica: Dispositivos e Circuitos. Volume 2. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1981.

Pertence Júnior, Antonio. Amplificadores operacionais e filtros ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório. São Paulo. McGraw-Hill, 1988.

Pedroni, Volnei Antonio. Circuitos eletrônicos. Rio de Janeiro. Editora S.A., 1986.

Texas Instruments. *Datasheet LM741 – General Purpose Operational Amplifiers*. Setembro, 2000.

Mussoi, Fernando L. Rosa. Resposta em Frequência: filtros passivos. Cefet-SC. Edição 2. Florianópolis. Julho, 2004.

## ANEXOS

### *Anexo A: Estudo de Gestão do Projeto*

#### 1. CRONOGRAMA

Atividade	Prazo	
	Início	Término
Estudar o Problema	15/09/10	25/11/10
Especificar o Produto	25/11/10	17/12/10
Natal e Ano Novo (férias)	20/12/10	01/01/11
Projetar o Hardware	02/01/11	19/04/11
Implementar o Firmware	19/04/11	21/07/11
Implementar o Software	03/01/11	21/07/11
Testar e Debugar	21/07/11	22/09/11
Elaborar a Documentação	29/11/10	12/11/11

#### 2. CUSTOS

Abaixo temos uma tabela que apresenta a estimativa dos gastos a serem realizados:

Item	Descrição	Custo Estimado (R\$)
01	Display Gráfico	250,00
02	Microcontrolador	40,00
03	Componentes periféricos ao microcontrolador	50,00
04	Gerador digital de sinais	80,00

05	Componentes periféricos ao gerador digital de sinais	40,00
06	Componentes para placas experimentais	150,00
07	Confecção de placas protótipo	250,00
08	Fonte de alimentação para o kit	30,00
Total		890,00

### 3. RISCOS

Abaixo, temos uma tabela que descreve os riscos levantados para o projeto:

Grau	Descrição	Efeito	Prob.	Impacto	Prob x Impacto	Ação
Alto	Complicações técnicas no desenvolvimento do hardware	Atraso do cronograma	0,5	5	2,5	Conviver: Re-projetar o hardware.
Alto	Circuitos não funcionarem em frequências elevadas	Atraso do cronograma	0,7	9	6,3	Mitigar: Estudar a implementação de novos circuitos.
Alto	Saída de um membro da equipe	Alteração do cronograma	0,1	9	0,9	Mitigar: Alterar o projeto ou inserir novo membro.
Alto	Falta de capacidade de processamento do microcontrolador para funcionamento ideal do kit	Alteração do cronograma	0,5	7	3,5	Mitigar: Reduzir a faixa de espectro analisada.
Alto	Estagnação do andamento do projeto por falta	Atraso do cronograma	0,2	5	1	Eliminar: Solicitar auxílio de profissional da área

	de conhecimento					que possa contribuir com sugestões e/ou ministrar minicursos.
Médio	Falta de memória do microcontrolador	Atraso do cronograma	0,1	2	0,2	Mitigar: Reduzir o número de amostras em função da faixa de frequência.
Médio	Não recebimento dos componentes requisitados na data prevista	Atraso do cronograma	0,05	4	0,2	Mitigar: Adiantar a implementação do firmware.
Médio	Falhas na implementação do firmware	Atraso do cronograma	0,4	3	1,2	Eliminar: Analisar detalhadamente e corrigir o firmware.
Médio	Falhas na implementação dos módulos do software	Atraso do cronograma	0,4	3	1,2	Eliminar: Revisar os códigos fonte e detalhar por módulo.
Baixo	Impossibilidade da conclusão do projeto	Atraso na formatura	0,02	9	0,18	Mitigar: Alterar o projeto.
Baixo	Escassez de tempo para o projeto	Alteração do cronograma	0,02	6	0,12	Mitigar: Modificar o programa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GESTÃO

O cronograma, a estimativa de gastos e a análise de riscos foram feitos no final do ano de 2010. Ao reavaliar-se o que foi definido é possível verificar que não foi feita uma boa gestão do projeto.

O cronograma foi útil no início do desenvolvimento, porém devido a alguns problemas enfrentados ao longo do desenvolvimento e também ao grande número

de atividades que foram realizadas em paralelo ao projeto, com o passar do tempo os prazos definidos no início deixaram de ser válidos.

Sobre a estimativa dos gastos foi cometido um erro considerável. O projeto teve um custo quase três vezes maior do que o estimado.

Sobre os riscos levantados, alguns deles realmente acabaram acontecendo. Teve-se alguns atrasos na entrega das placas de circuito impresso e o gravador que utiliza-se para gravar o firmware queimou. Para evitar um atraso maior na entrega do projeto foi necessário procurar soluções e fornecedores alternativos.

No geral, foi possível entregar o projeto no prazo, porém as etapas intermediárias não foram executadas dentro do tempo planejado, o que fez com que no final fosse necessário dedicação total ao projeto.

---

## **Anexo B: Plano de negócios**

### **SUMÁRIO EXECUTIVO**

Este plano apresenta a proposta de implantação do negócio cujo produto é um kit didático para uso em disciplinas da área de eletrônica de cursos existentes em Universidades e escolas técnicas e por setores de desenvolvimento de produtos eletrônicos de pequenas e grandes empresas. O negócio sustenta-se no crescimento do mercado de dispositivos eletrônicos e da necessidade de investimento em ensino, sendo uma das formas por aquisição de ferramentas didáticas. O kit proposto intitula-se CarQuad, caracterizador de quadripolo, o qual funciona como um analisador de resposta em frequência e é composto por hardware dedicado à análise de parâmetros de circuitos tais como medição de tensões, fase e impedâncias em diferentes frequências, e por software criado em VBA-Excel cuja interface, a partir dos dados recebidos, gera os gráficos de resposta dos circuitos para os usuários.

#### **1. DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO**

##### **1.1. VISÃO:**

Desenvolvimento de kits didáticos para instituições de ensino e empresas de desenvolvimento na área de circuitos eletrônicos primando à aprendizagem e entendimento das medições realizadas minimizando o tempo gasto para obtê-las.

##### **1.2. MISSÃO:**

Fornecer um kit didático que além de ser de fácil utilização diminua o tempo perdido com medições repetitivas, disponibilizando aos usuários mais tempo para entendimento dos circuitos em estudo e desenvolvimento de novos.

##### **1.3. VALORES:**

Criatividade, eficiência, competência, ética e compromisso com o cliente.

## **1.4. DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO**

O produto será vendido aos clientes de forma direta sem o uso de distribuidores. No ato da entrega será dado um treinamento básico de utilização do kit. Esse treinamento tratará da parte de conexão dos circuitos e informará ao usuário as funcionalidades que o kit possui.

Algo que nos diferencia da concorrência é que alguns circuitos teste acompanharão o kit para que, antes de utilizar o kit com circuitos próprios, o usuário se familiarize com a aplicação.

Com o uso do CarQuad os usuários ganharão muito tempo já que todas as medidas são feitas de forma automática pelo hardware e os gráficos são construídos por meio de um software em VBA que roda na ferramenta Excel fornecida pela Microsoft.

O produto dá ampla acessibilidade ao usuário quanto à parametrização do circuito a ser analisado. Ao usuário são fornecidas opções de escolha da faixa de frequência de varredura, conexão a um PC, escolha de visualização dos gráficos de resposta em frequência. Outra característica é a rapidez com que são obtidas as informações dos circuitos analisados, podendo, o usuário tirar conclusões em uma análise direta dos gráficos e informações obtidas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Desenvolver kits didáticos capazes de melhorar o processo de aprendizagem nos cursos na área de eletrônica, estar com nossos produtos nas principais Universidades do país e com um faturamento equivalente a 3 vezes o valor inicial investido até 2016.

### **2.2. OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS**

- Desenvolver um primeiro protótipo do kit até o final de 2011.
- Desenvolver 8 circuitos testes que acompanharão o kit até o fim de 2011.

- Implementar um software em VBA que além de ser responsável por construir as curvas para análise, servirá como interface para comunicação do kit com o PC até o fim de 2011.
- Ter o produto final disponível para divulgação na metade de 2012.
- Ter o produto sendo utilizado nas principais Universidades do Paraná até o fim de 2014.
- Expandir nosso negócio por todo o país até 2016.

### **3. PRODUTOS E SERVIÇOS**

#### **3.1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO E SERVIÇOS**

O produto a ser desenvolvido é o CarQuad – Caracterizador de quadripolo, que consiste em um analisador de resposta em frequência. Trata-se de um sistema para ensino em disciplinas práticas da área de eletrônica e com utilidade em empresas desenvolvedoras de novos produtos eletrônicos. O sistema tem como finalidade ser útil na análise de parâmetros elétricos variantes com a frequência (magnitude da tensão, fase, impedâncias) de uma diversidade de circuitos, possibilitando inclusive obterem-se os gráficos de resposta do circuito e tirar conclusões mais concisas do estudo deles.

O propósito da ferramenta a princípio é auxiliar aos estudantes no processo de aprendizagem, ampliando a visão dos alunos para o funcionamento dos circuitos estudados na teoria e permitindo a visualização das suas limitações práticas, assim o aluno pode com o *know-how* obtido definir o uso desse circuito no desenvolvimento de um projeto mais complexo. Ao mesmo tempo, o professor ganha tempo para expandir as aplicações e obter um melhor desempenho da turma nas atividades práticas. Nas empresas, seu uso seria para testes de placas que integram novos produtos eletrônicos, atribuindo ao processo de produção do produto a diferenciação ao efetuar testes em outras condições de funcionamento, tais como influência de interferência de outras frequências ou mesmo com variações de frequência.

---

### **3.2. ANÁLISE COMPARATIVA**

O analisador de resposta em frequência, CarQuad, diferencia-se dos demais equipamentos existentes por ser uma ferramenta de uso didático, cuja operação em termos de resposta em frequência difere-se na faixa de varredura estipulada, pois atende de forma suficiente ao *range* de frequência necessário para uma análise completa dos circuitos estudados nas disciplinas da área de eletrônica. O software que faz parte do CarQuad fornece opções ao usuário em gerar gráficos com a varredura de modo linear e logarítmico.

Uma análise dos concorrentes é feita no item 4.3.3.

### **3.3. PRODUTOS E SERVIÇOS FUTUROS**

Futuramente, a plataforma pode ser aprimorada para contar com uma forma de arquivamento das informações resultantes das leituras em uma unidade removível, como um dispositivo *pen-drive*. Dessa forma, a ferramenta poderá ser utilizada sem a necessidade imediata de um PC, e os dados sobre os circuitos poderão ser analisados em outro momento. Além disso, o kit didático pode ter uma interface atualizada de conexão com o PC ou notebook que é via interface USB ao invés da interface serial RS232.

## **4. ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA**

Os kits didáticos são ferramentas que auxiliam o ensino teórico e prático, contribuem para o aprendizado do discente e ajudam os docentes a ministrar com maior abrangência os conteúdos curriculares.

### **4.1 SEGMENTAÇÃO DE MERCADO**

Um equipamento caracterizador de quadripolo terá utilidade principal nos cursos técnicos, de graduação e pesquisa nas escolas e universidades com ensino nas áreas de eletrônica, elétrica e automação, e também utilização no desenvolvimento e testes de novos produtos eletrônicos por empresas desse ramo de negócios.

Na UTFPR, por exemplo, no mínimo nove disciplinas dos cursos do departamento de eletrônica incitam o aluno a realizar medições de parâmetros de circuitos em laboratório. Durante a graduação em engenharia eletrônica, são pelo menos quatro disciplinas, o curso técnico em eletrônica apresenta três e o curso técnico em sistemas de comunicações apresenta dois. Aqui se destacam disciplinas de circuitos elétricos, sinais e sistemas, amplificadores e comunicações. Aumentando a abrangência de ocorrência, outras universidades de Curitiba como PUC, TUIUTI e UFPR possuem disciplinas semelhantes e devem executar procedimentos similares em suas aulas de laboratório.

#### **4.1.1. UNIVERSIDADE, ESCOLAS TÉCNICAS E GRUPOS DE PESQUISA**

É vasto o número de Instituições de ensino espalhados pelo país e que contam com cursos nas áreas de eletrônica, elétrica e automação. Nas Instituições de ensino superior, segundo o CNPq, existem mais de 500 linhas de pesquisa atuando na produção de equipamentos eletrônicos e de pesquisa na área da educação. Só em Curitiba, hoje, há pelo menos cinco Universidades e pelo menos três escolas técnicas profissionalizantes nas áreas citadas. Os alunos e laboratórios destas Instituições são os principais clientes da empresa, e os grupos entram na lista de clientes na área de pesquisa.

#### **4.1.2. EMPREENDIMENTOS DO SETOR DE ELTRÔNICA, ELÉTRICA E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Setores técnicos de pequenos empreendimentos e centros de pesquisa e desenvolvimento de grandes empresas no setor de eletrônicos e equipamentos voltados à automação necessitam realizar testes nos seus produtos e por isso são considerados clientes da empresa na área Industrial.

#### **4.2. SEGMENTO ALVO DE MERCADO**

Os alunos e laboratórios das universidades e escolas técnicas que possuem cursos na área de eletrônica, elétrica e automação.

---

Como potenciais clientes, visualizam-se as Universidades de ensino particular que apresentam os cursos nas áreas citadas anteriormente. Na cidade de Curitiba existem pelo menos três Instituições deste porte, como a Tuiuti, Unicenp, e PUC-PR. Cada uma delas tem um mercado vasto e de crescimento devido principalmente ao oferecimento de excelência no ensino aos estudantes e a garantia do retorno investido com ótimas colocações profissionais e cujos profissionais formados terão uma boa preparação para o mercado. Partindo dessa necessidade real de as Instituições tornarem o seu ensino competitivo, e sabendo que isso depende dos investimentos de melhorias em infra-estrutura de laboratórios, tais como compra de equipamentos, materiais necessários às atividades práticas, ferramentas de suporte e treinamento, e instalações em geral, além de profissionais ligados ao ensino com boa qualificação técnica, verificou-se a oportunidade do desenvolvimento de uma ferramenta com a qual Instituição e aluno fossem beneficiados. Essa ferramenta seria o kit didático CarQuad o qual seria utilizado nas aulas práticas nos laboratórios de disciplinas como Amplificadores, Eletrônica básica, controle, tornando o tempo do aluno para o aprendizado de diversos circuitos mais eficiente e colaborando para o método de ensino dos professores. O CarQuad contribuirá positivamente na qualificação dos estudantes, pois a parte prática é fundamental para entender as limitações de funcionamento de circuitos reais, que são amplamente utilizados no desenvolvimento de novos produtos eletro-eletrônicos e o kit proporcionará essa percepção a esses futuros profissionais.

#### **4.2.1. NECESSIDADES DO MERCADO**

Verifica-se atualmente nos cursos da área de eletrônica, elétrica e automação a necessidade de aperfeiçoar a metodologia do ensino prático. Isso é obtido, principalmente, através de aquisições de novos equipamentos de instrumentação utilizados nos laboratórios e kits didáticos de modo a acompanhar novas tendências tecnológicas. São esses recursos que aliados aos conhecimentos teóricos determinam um aproveitamento maior dos alunos nas disciplinas e permitem aos docentes ampliar a gama das aplicações dos assuntos abordados. A partir disso, o uso de novas ferramentas tende a aumentar a qualidade do ensino, e assim melhorar a capacitação do profissional.

---

#### **4.2.2. TENDÊNCIAS DO MERCADO**

As inúmeras Instituições de ensino superior e técnico profissionalizante espalhadas pelo Brasil com cursos nas áreas de eletrônica, elétrica e automação para serem competitivas e conquistarem o maior mercado de alunos devem oferecer diferenciais em termos de ensino e preparação para o mercado. Tais como condições aos professores e alunos de realizarem atividades práticas com ferramentas propícias, e contar com laboratórios munidos de equipamentos versáteis e com prioridade no aperfeiçoamento do aprendizado. Essas Instituições fazem de sua infra-estrutura a fachada para abranger uma fatia maior do mercado e para isso necessitam de tais investimentos, como uma forma de isso acontecer, a aquisição de plataformas de ensino.

#### **4.2.3. CRESCIMENTO DO MERCADO**

Nos últimos dez anos o número de Universidades privadas e escolas técnicas aumentou em cinco vezes , somando isso a necessidade crescente no mercado por engenheiros e técnicos mais bem qualificados, decorrência do mercado interno aquecido e instalação de novas indústrias no país, a tendência é um aumento de procura por recursos didáticos que sirvam como vantagem competitiva para as Instituições. Assim, o crescimento no mercado se dá por duas vias: a ampliação dos recursos em ambientes tradicionais de ensino e a criação de novos laboratórios advindos com as novas instituições.

#### **4.3. ANÁLISE DA INDÚSTRIA**

A educação é um dos pilares para o crescimento do Brasil, e na visão da Indústria, quanto maior o investimento em Educação, maior será a progresso do país. Partindo dessa realidade e o avanço econômico claro no país nos últimos anos, a tendência é que aumente os recursos destinados à investimentos em tecnologia, visualizando-se nisso uma boa oportunidade para dar continuidade no desenvolvimento de plataformas didáticas que atendam às necessidades e favoreçam o aprendizado nas Instituição de ensino. Devido a isso, verificam-se o aumento de recursos repassados à Instituições Superiores de Ensino Público. Adicionalmente, as Instituições privadas que disputam o mercado de Estudantes

---

procuram cada vez mais proporcionar um ensino diferenciado propondo ser a melhor escolha para o futuro profissional.

#### **4.3.1. PLAYERS**

O kit didático CarQuad, um analisador de resposta em frequência, que visa melhorar o aprendizado dos alunos nas disciplinas da área da eletrônica, especialmente na disciplina de Amplificadores, tem como foco servir como ferramenta didática às Universidades Particulares, além das escolas técnicas e Universidades Públicas. Destacam-se as Universidades particulares como os principais clientes, principalmente pela necessidade em investimento e pela disponibilidade dos recursos necessários para a concretização na disputa do mercado de estudantes.

Por intermédio de pesquisa na Internet, encontraram-se produtos semelhantes ao analisador de resposta em frequência proposto neste projeto. Contudo tais equipamentos encontrados são voltados para uso mais incisivo na indústria de desenvolvimento de equipamentos eletrônicos e têm um preço elevado. O desenvolvimento de um produto com o mesmo princípio, mas atendendo às especificações dos circuitos estudados nos cursos de elétrica, além de apresentar um custo reduzido torna-se uma ferramenta que pode auxiliar num melhor desempenho dos estudantes.

Desmembrando as partes que compõem o produto se torna fácil pesquisar com fornecedores a disponibilidade dos produtos e comparar preços. O projeto pode ser dividido em seis sistemas:

- Componentes básicos.
- Circuitos integrados dedicados.
- Sistemas embarcados/ microcontrolado.
- Displays.
- Fabricação de placas.

Foram levantados assim os fornecedores segundo o melhor custo e maior disponibilidade a pronta entrega. Os fornecedores listados conforme a ordem

---

apresentada são a Digikey (fornecedora de componentes básicos e CIs), Intersil (fornecedora de circuitos integrados dedicados), eSysTech (fornecedora de kit processador, microcontrolador e outras funcionalidades embarcadas), a AGT-technologies (fabricante e fornecedora de displays gráficos) e LME (Laboratório de microeletrônica da UTFPR, fornecedor de placas de circuitos impressos). Os fornecedores estipulados são fundamentais para produção do kit CarQuad.

Mais detalhes sobre os fornecedores são dados no item 4.3.4 e sobre o clientes faz-se uma análise nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.2.

#### **4.3.2. MODELO DE DISTRIBUIÇÃO**

Pela pesquisa realizada dos concorrentes a forma de divulgação dos produtos é feita toda pelo site da empresa, no qual são disponibilizadas todas as informações para aquisição do produto, como também todo o complemento necessário para utilização posterior, através de *downloads* de aplicações, manuais, e especificações dos produtos em geral.

#### **4.3.3. MODELO DE COMPETITIVIDADE**

Na pesquisa de concorrentes, os produtos levantados apresentam inúmeras semelhanças ao CarQuad. Nos dez produtos analisados de dez concorrentes com produtos similares ao analisador de resposta em frequência, a varredura média em frequência ocorre na faixa de 0,11 Hz a 20 MHz, a varredura é opcional, na maioria em logarítmica ou linear, a interface de comunicação com o PC mais predominante é a USB, em poucos casos são utilizados a RS232 e a GPIB, apresentam uma resistência de saída de 50 ohms e a tensão de saída varia segundo o fabricante.

Os dez concorrentes encontrados são:

- 1- Ridley Engineering.
- 2- DesignSoft.
- 3- Solartron (grupo AMETEK).
- 4- Core Technology group.
- 5- NF Corporation.
- 6- Powerteck.
- 7- Newtons 4th Ltda.

8- AMREL Power Division.

9- Venable Instruments.

10- AP Instruments INC.

Os concorrentes encontrados oferecem equipamento de medição e análise na frequência que visa atender ao mercado de grandes companhias nas áreas de telecomunicações, médicas e eletroeletrônicas. Com tais produtos, segue, geralmente, manual de instruções e de utilização, e software pelo qual ocorre o interfaceamento do produto e suas funcionalidades com o usuário.

#### **4.3.4. FORNECEDORES**

Os fornecedores relacionados à confecção do CarQuad são basicamente da área de eletrônica. As placas dos circuitos que compõem o kit didático serão produzidas primeiramente pelo LME - Laboratório de Microeletrônica da UTFPR, isso, apenas, enquanto a demanda mantiver em pequena escala. Os componentes básicos do kit, incluindo resistores, capacitores, indutores, transistores e amplificadores, serão fornecidos pela Digikey, uma forte distribuidora desse segmento. Os circuitos integrados dedicados serão adquiridos junto à Intersil. Quanto ao sistema de processamento das informações serão utilizados kits eAT55 da eSysTech, a princípio, porém o preço e uma possível obsolescência desse kit dever ser levado em consideração e uma análise de troca por um kit mais viável economicamente para a continuação do negócio pode ser estudada. Os displays gráficos *touchscreens* serão fornecidos pela empresa AGT- Technologies, fabricante nacional de displays gráficos e distribuição no país.

A plataforma de desenvolvimento de software adotada foi o aplicativo Excel da Microsoft Inc.

### **5. DEFINIÇÃO DA OFERTA E PROPOSTA DE VALOR**

O kit didático CarQuad tem como principal cliente as Instituições de Ensino com cursos na área de elétrica, automação, eletrônica e telecomunicações. Atende aos requisitos de um mercado que busca ferramentas simples, mas que contribuam para o progresso do ensino, atuando significativamente na melhora do aprendizado e que influencie na capacitação dos estudantes. O produto funciona como um analisador

de resposta em frequência, o qual é utilizado para avaliar circuitos em estudo, determinando por exemplo sua resposta em magnitude e em fase na faixa estipulada de varredura de frequência, além de fornecer as medidas de impedância. No curso de Engenharia Eletrônica, por exemplo, são mais de seis disciplinas nas quais poderia ser utilizada esta plataforma didática. Tendo por base isso e a oportunidade de melhorar a compreensão dos conceitos teóricos, foi proposto o projeto do caracterizador de quadripolo.

## **6. ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO**

### **6.1. DIFERENCIAIS COMPETITIVOS E PROPOSTA DE VALOR**

O ponto forte do CarQuad é ser uma ferramenta de fácil utilização que será capaz de diminuir consideravelmente o tempo de medições em laboratório, conseqüentemente, deixando mais tempo para a análise dos resultados e dos circuitos.

O software responsável pela análise das informações coletadas pelo hardware não terá custo algum e ainda roda sobre o Excel, ferramenta de uso cotidiano para alunos, professores e engenheiros.

### **6.2. ESTRATÉGIA DE MARKETING**

#### **6.2.1. ESTRATÉGIA DE PREÇOS**

No início tentaremos entrar no mercado com um preço intermediário. Não iremos concorrer com fornecedores chineses que não oferecem suporte algum, por isso praticam praticamente preços de custo, nem poderemos entrar com o mesmo preço de concorrentes já estabelecidos no Brasil, pois ao realizar uma pesquisa de um determinado item o consumidor encontrará produtos com preços iguais porém um é um fabricante conhecido e o outro não, e optará pelo primeiro.

Abaixo, a estima de custo do produto e do preço que praticaremos:

---

<b>Partes Integrantes</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Placa eAT55	750,00
Display touch screen	300,00
Circuitos de periféricos	250,00
Circuitos teste	250,00
Cabo serial	10,00
Firmware	100,00
Software	100,00
<b>Total Custo</b>	<b>1760,00</b>

### **6.2.2. ESTRATÉGIA DE PROMOÇÃO**

Em um primeiro momento, visitaremos as instituições de ensino com material de divulgação como: catálogos, folders e apresentações. Para as que demonstrarem interesse, levaremos o kit para demonstração do funcionamento.

Durante essas visitas, veremos como os clientes em potencial reagiram ao produto, caso perceba-se que ele realmente está pronto para atender o mercado de maneira geral, faremos alguns anúncios em revistas da área, em sites especializados na internet e começaremos também a visitar empresas de desenvolvimento em eletrônica e automação.

### **6.2.3. ESTRATÉGIA DE DISTRIBUIÇÃO**

Nesse primeiro momento não serão utilizados distribuidores nem revendas. Os produtos serão vendidos diretamente pela empresa. Caso no futuro o volume de vendas ultrapasse nossas estimativas, será estudada a possibilidade de formação de parcerias com lojas de equipamentos eletrônicos.

### 6.3. ESTRATÉGIA DE VENDAS

Conforme descrito na Estratégia de Promoção, primeiro faremos a divulgação em Instituições de ensino com cursos na área de eletrônica e automação, levando material de divulgação e fazendo demonstrações. A venda será feita de forma direta para os interessados.

#### 6.3.1. FORECAST

Abaixo a estimativa de vendas para os próximos três anos. Pode-se notar que as vendas se concentram no primeiro e no terceiro trimestres que marcam o início dos semestres letivos, nos quais as Universidades costumam fazer aquisições para seus laboratórios.

Projeções de vendas	2012				2013				2014			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
Vendas do kit completo	3	10	10	5	10	15	15	5	20	25	30	25

### 6.4. ALIANÇAS ESTRATÉGICAS

Do ponto de vista comercial, conforme comentado na estratégia de distribuição, caso seja decidido não vender somente por meio da empresa, seria interessante formar parcerias com lojas de equipamentos de medição, que além de vender nosso produto também poderia colaborar com a divulgação.

Do ponto de vista de desenvolvimento, seria interessante contar com a colaboração de Universidades para implementar novas aplicações ou para melhorar o CarQuad.

## 7. GESTÃO

A gestão dos desenvolvimentos é feita pelo departamento de Engenharia responsável que definirá o cronograma a ser seguido, tal qual os integrantes da equipe para o desenvolvimento do projeto. O orçamento que será destinado ao

projeto deve ser discutido com o diretor responsável pela área para averiguar se o custo do projeto se enquadra no orçamento anual da empresa.

### 7.1. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

A empresa inicialmente será formada por três engenheiros. Um será responsável por coordenar o desenvolvimento de hardware e os outros dois serão responsáveis pela parte de software, gestão dos projetos e pela parte financeira. As vendas , no início, envolverá os três.

### 7.2. EQUIPE

A equipe será formada inicialmente por três engenheiros, espera-se que ao final do primeiro ano de funcionamento da empresa seja possível contratar pelo menos mais duas pessoas, uma para gerenciar a parte financeira e outra para cuidar das vendas.

### 7.3. QUADRO DE PESSOAL

<b>Quadro de Pessoal</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Engenheiro (3)	4.500,00	6.000,00	7.500,00	9.000,00
Gestor financeiro (1)	0	0	3.000,00	3.000,00
Vendedor (1)	0	0	3.000,00	3.000,00
<b>Total Pessoas</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Total Folha</b>	<b>4500,00</b>	<b>6.000,00</b>	<b>13.500,00</b>	<b>15.000,00</b>

## 8. PLANO FINANCEIRO

### 8.1. CONSIDERAÇÕES

#### 8.1.1. INVESTIMENTOS

O capital da empresa será estruturado de forma que 60% seja de capital próprio e 40% de capital de terceiros. As fontes de financiamento que serão analisadas serão exclusivamente as Instituições bancárias, optando pela escolha daquela que oferecer a menor taxa de juros, de maneira que o capital em caixa para giro da empresa não fique comprometido com o endividamento. Os 60% de capital próprio contam com a participação dos três sócios contribuindo cada um com a parcela de investimento de 20%.

Foi realizado um levantamento dos investimentos primários para a chegada em um valor inicial para o investimento. Segue na tabela abaixo os valores estimados dos investimentos fixos e o valor percentual de depreciação para cada categoria.

<b>INVESTIMENTO FIXO</b>		
<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>VALOR R\$</b>	<b>% depreciação</b>
<b>Máquinas e Equipamentos</b>	-	10,0%
Osciloscópio	2.600,00	260,00
Gerador de funções	1.600,00	160,00
Fonte DC	400,00	40,00
Estação de retrabalho	600,00	60,00
Estação de solda	300,00	30,00
		0,00
<b>Móveis e Utensílios</b>	-	10,0%
Telefones sem fio	147,00	14,7
Escrivaninhas (estação de trabalho em L)	720,00	72
Cadeira para escritório	400,00	40
Arquivo de aço 4 gavetas	200,00	20
Estante em aço para materiais de estoque	300,00	30
Armário de madeira para materiais de escritório e papelaria	350,00	35
Materiais básicos para escritório	100,00	10
		0
<b>Computadores</b>	-	20,0%
Notebook Dell Inspiron 15R (2ª Geração)	5.097,00	509,7
PC Desktop DELL XPS 8300	2.299,00	229,9
<b>Outros</b>	-	0,0%
Estoque de componentes para montagem dos kits	1.500,00	
Estoque de kits EAT55	10.000,00	
Custo para abertura da empresa	2.000,00	
<b>Total Investimento Fixo</b>	<b>26.613,00</b>	<b>1.511,30</b>

Do capital social, adicionalmente, cerca de 30% do investimento será destinado para o giro financeiro da empresa. Essa quantia foi estabelecida em R\$ 15.000,00.

A partir dessa análise concluí-se que o capital necessário para abertura da empresa é de R\$42.000,00.

### 8.1.2. FATURAMENTO

Com a ênfase na conquista de mercado no primeiro ano, a empresa tem a possibilidade de atender os principais clientes da cidade de Curitiba, com a expectativa de venda de 25 kits didáticos do CarQuad, no primeiro ano.

Foram levantados dados relativos ao faturamento da empresa para os primeiros três anos. As informações apresentadas na tabela seguinte são relevantes para estimar futuros investimentos em infra-estrutura e preparar-se para aumento da capacidade da empresa.

<b>Programação de vendas (R\$)</b>			
<b>Descrição/período</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Quantidade vendida (un.)	28	45	100
Preços de venda (R\$)	4.000,00	4.500,00	5.000,00
Custo variável unitário (R\$)	2.110,00	2.162,80	2.667,18
Margem de contribuição unitária (R\$)	1.890,00	2.337,20	2.332,82
Faturamento (R\$)	112.000,00	202.500,00	500.000,00
ICMS (R\$)	0	0	0
IPI (R\$)	0	0	0
Receita Bruta (R\$)	112.000,00	202.500,00	500.000,00

### 8.1.3. CUSTOS

Foram estimados os custos fixos e variáveis do negócio ao longo dos quatro primeiros anos, tais como são apresentados nas tabelas que seguem.

<b>CUSTOS FIXOS</b>				
<b>Discriminação</b>	<b>Valor R\$/mês</b>			
<b>Descrição \ ano</b>	2011	2012	2013	2014
Mão-de-obra + Encargos	-	-	6000,00	6.000,00
	4.500,00	6.000,00	7.500,00	9.000,00
Água	-	50,00	70,00	100,00
Luz	-	200,00	400,00	500,00
Telefone e internet	-	160,00	230,00	300,00
Contador	-	150,00	180,00	210,00
Despesas com Veículos	-	200,00	400,00	800,00
Material de Expediente e Consumo	100,00	100,00	250,00	500,00
Aluguel	-	800,00	850,00	900,00
Seguros	-	600,00	660,00	1250,00
Propaganda e Publicidade	-	400,00	800,00	1500,00
Manutenção	-	-	300,00	300,00
Despesas de Viagem	-	-	1000,00	2000,00
Serviços de Terceiros	-	500,00	500,00	500,00
<b>Outros</b>	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>4.600,00</b>	<b>9.160,00</b>	<b>19.140,00</b>	<b>23.860,00</b>

<b>CUSTOS VARIÁVEIS</b>			
<b>Discriminação</b>	<b>Valor (R\$)/produto</b>		
<b>Descrição \ Ano</b>	2012	2013	2014
<b>Custo Variável de Produção</b>			
Quantidade Vendida	28	45	100
Matéria prima	1.760,00	1.812,80	1.867,18
Gastos gerais	100,00	100,00	100,00
Eventuais	50,00	50,00	50,00
Total Parcial	1910,00	1962,80	2017,18
<b>Despesa Geral Variável</b>			
Comissão de Vendedores	0,00	250,00	250,00
Eventuais	200,00	200,00	400,00
Total Parcial	200,00	200,00	650,00
<b>Custo Variável total</b>	<b>2110,00</b>	<b>2412,80</b>	<b>2667,18</b>

Seguindo a lei 10.694/2004 do código Tributário brasileiro verificou-se que à empresa não se enquadra a taxaço de impostos como IPI, ICMS e outros tantos seguindo os critérios da adoço do Simples Nacional.

Com as informações dos três primeiros anos levantou-se o custo global ao longo desse tempo.

Custos (R\$)				
Descrição \ Ano	2011	2012	2013	2014
Custo Global (R\$)	55.200,00	109.920,00	229.680,00	286.320,00

## 8.2. ANÁLISE DO BREAK EVEN

Para uma análise do ponto de equilíbrio da empresa foram estimados em uma planilha os custos conhecidos de produção, seguindo como na tabela abaixo.

Ponto de equilíbrio			
Descrição/ período	2012	2013	2014
Preço de venda unitário (R\$)	4.000,00	4.500,00	5.000,00
Gasto variável unitário (R\$)	2110,00	2162,80	2667,18
Margem de contribuição unitária (R\$)	1.890,00	2.337,20	2.332,82
Gasto fixo Total (R\$)	109.920,00	229.680,00	286.320,00
Lucro mínimo esperado (R\$)	0,00	0,00	0,00
Qtd produtos (equilíbrio)=	59	99	123

Como visualizado na tabela do ponto de equilíbrio seria conveniente a venda de 59 kits no primeiro ano, 99 no segundo e 123 no terceiro para que a empresa atingisse o equilíbrio das finanças, sem colocar em risco o caixa e capital da empresa.

## 8.3. RESULTADOS FINANCEIROS

O plano financeiro é pouco promissor. Nossa análise comprova que para alcançar os objetivos propostos seria necessário aumentar significativamente as vendas. Isso implicaria em aumentar a produção, contratar mais mão-de-obra,

cumprir os prazos apertados realizando as mudanças no projeto conforme a necessidade dos clientes. Enfim para isso seria necessário aumentar o capital investidor no negócio e expandir as vendas abrangendo outros estados. Poder-se-iam diminuir drasticamente as despesas fixas, por exemplo, estabelecendo-se no ano inicial em um “ambiente de garagem”, no qual custos com aluguel, água e luz seriam cortados da folha de custos fixos. Vemos opção também no aumento da margem de vendas e no aumento da divulgação do produto.

Demonstração do resultado				
Descrição\Ano	2011	2012	2013	2014
QTD vendida	0	28	45	100
<b>Receita Vendas</b>	<b>0</b>	<b>112.000,00</b>	<b>202.500,00</b>	<b>500.000,00</b>
Impostos sobre as vendas	-	-	-	-
Custo das vendas/ kit	0	1.910,00	1.962,80	2.017,18
Outros Custos/kit	0	200	200	650
<b>Custos total das Vendas</b>	<b>0</b>	<b>59.080,00</b>	<b>97.326,00</b>	<b>266.718,00</b>
Margem bruta	0	52.920,00	105.174,00	233.282,00
Margem Bruta (%)	0	47,25	51,9377778	46,6564
<b>Total Despesas Gerais e Administrativas</b>	<b>55200,00</b>	<b>109.920,00</b>	<b>229.680,00</b>	<b>286.320,00</b>
Gerais e Administrativas (%)	-	98,14	113,42	57,26
<b>Total Despesas Operacionais</b>	<b>55.200,00</b>	<b>169.000,00</b>	<b>327.006,00</b>	<b>553.038,00</b>
Resultados Antes de Juros e Impostos	55.200,00	169.000,00	327.006,00	553.038,00
Impostos incidentes	0	0	0	0
Investimento inicial	25200,00	-	-	-
Financiamento	-	5.600,00	5.600,00	5.600,00
Taxa de juros	1,5% a.m.	1,5% a.m.	1,5% a.m.	1,5% a.m.
Amortização parcial do financiamento	-	6.695,46	8.005,22	9.571,18
<b>Resultados depois de juros de financiamento</b>	<b>80.400,00</b>	<b>175.695,46</b>	<b>335.011,22</b>	<b>562.609,18</b>
<b>Lucro Operacional</b>	<b>- 80.400,00</b>	<b>- 63.695,46</b>	<b>132.511,22</b>	<b>- 62.609,18</b>
Depreciação	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Resultado Bruto	- 81.400,00	- 64.695,46	133.511,22	- 63.609,18
IR/ CSSL	- 9.768,00	7.763,46	16.021,35	7.633,10
<b>Lucro líquido</b>	<b>- 91.168,00</b>	<b>- 72.458,92</b>	<b>149.532,56</b>	<b>- 55.976,08</b>

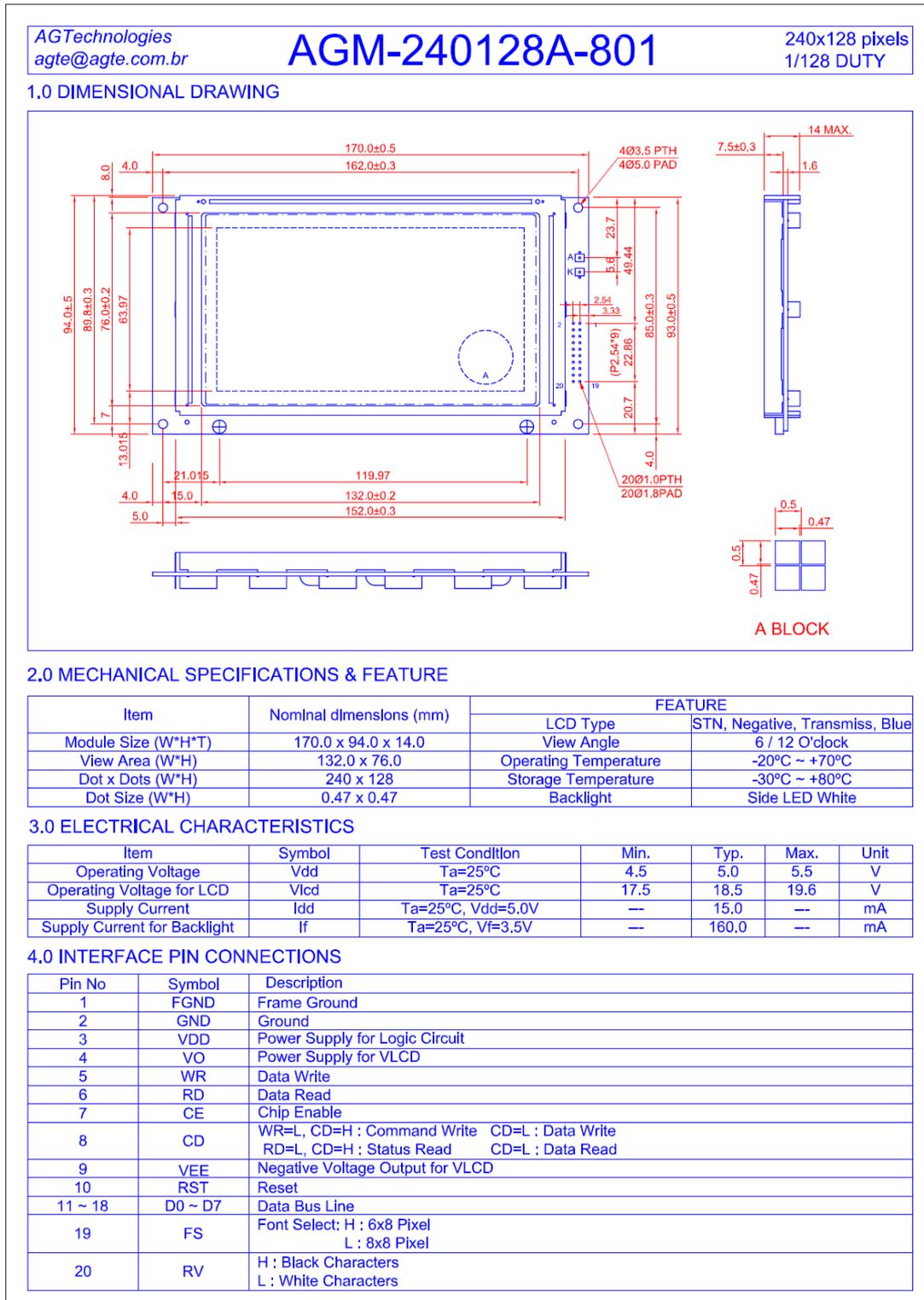
Segundo a análise apresentada, é possível perceber que o negócio não será nenhum pouco lucrativo nos primeiros 4 anos.

---

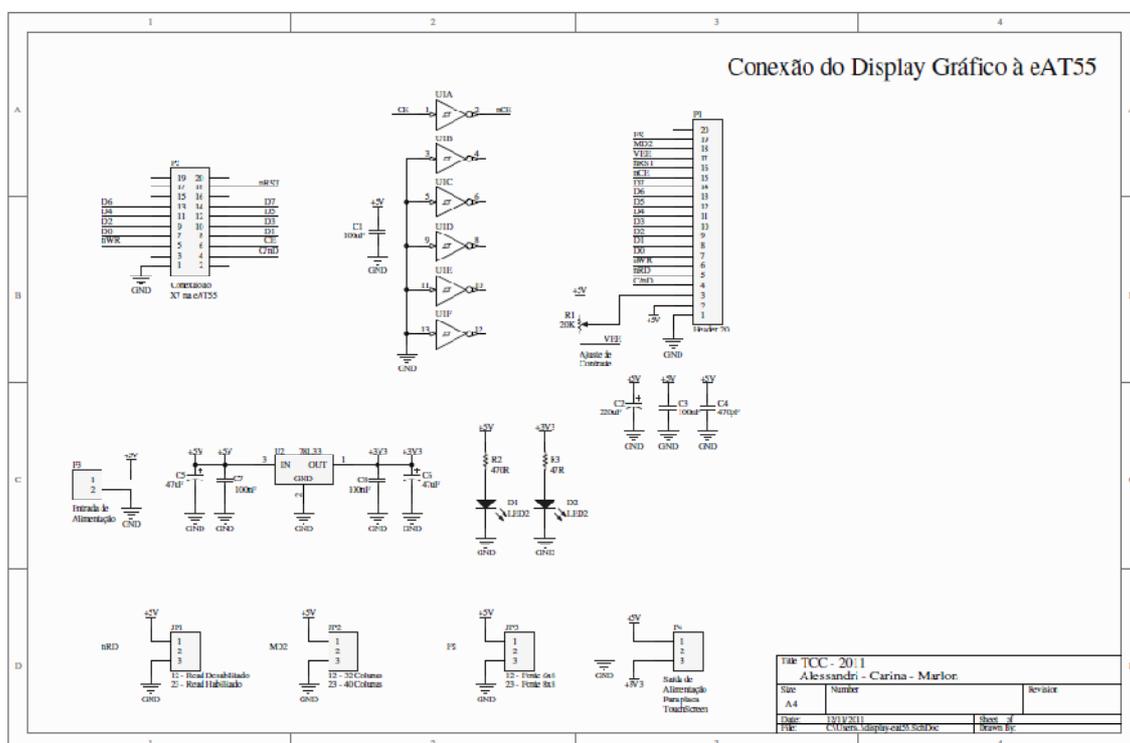
<b>Análise de Resultado</b>				
<b>Descrição\Ano</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Investimento Total</b>			<b>42.000,00</b>	
Lucratividade (%)	-	-65%	-74%	-11%
Rentabilidade (%)	-217%	-173%	-356%	-133%

Nos primeiros anos a empresa não seria nem um pouco rentável e lucrativa, dando apenas despesas e a empresa não conseguiria saldar as contas devedoras.

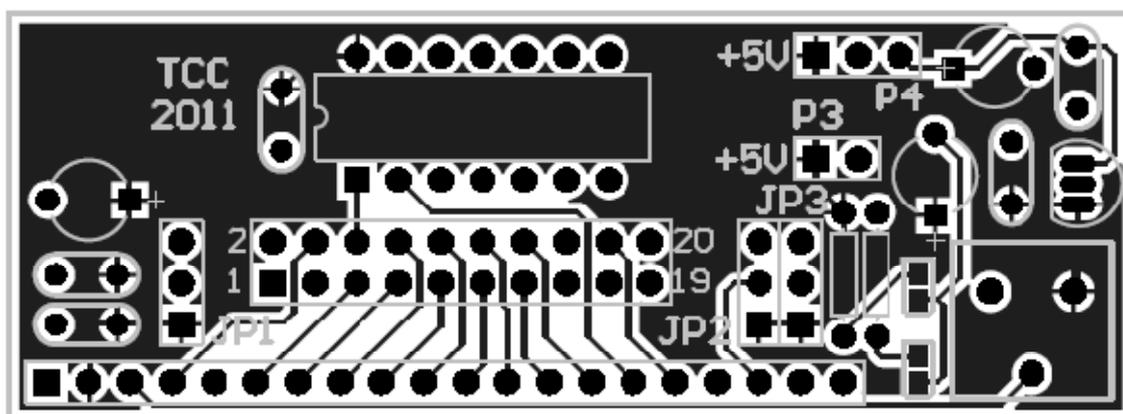
## ANEXO C - Aspectos de operação, técnicos e de detalhamento do display



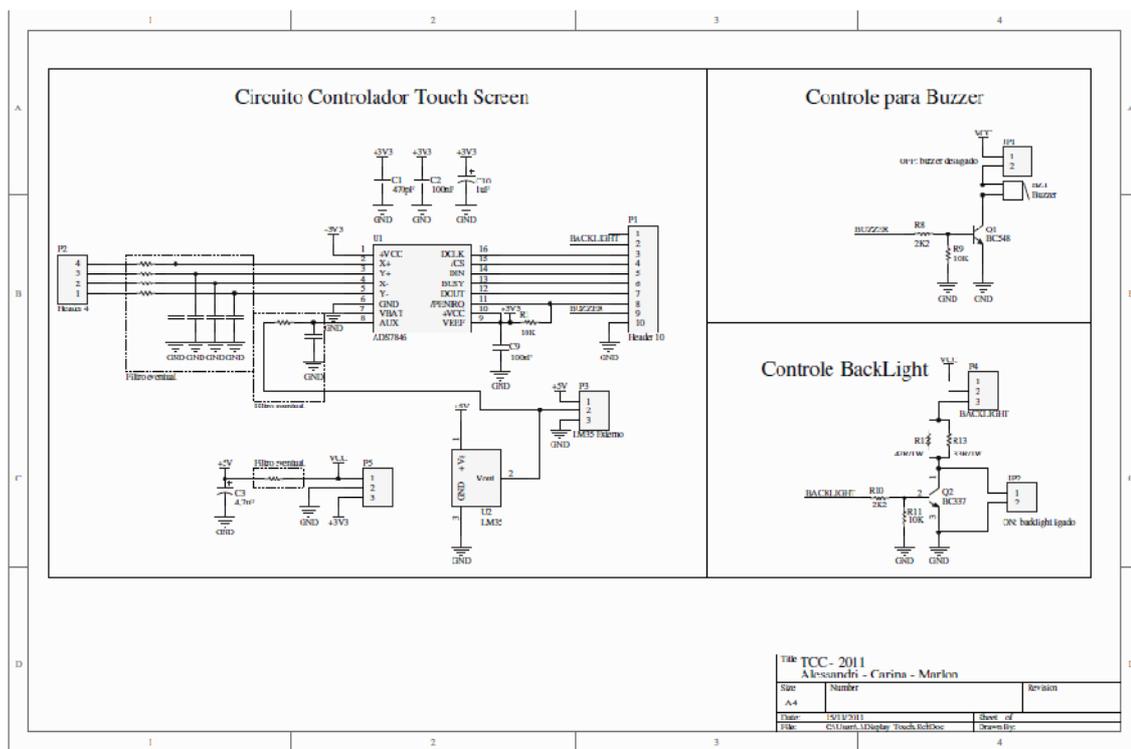
### Anexo D: Esquemático da placa de interface do display com a eAT55.



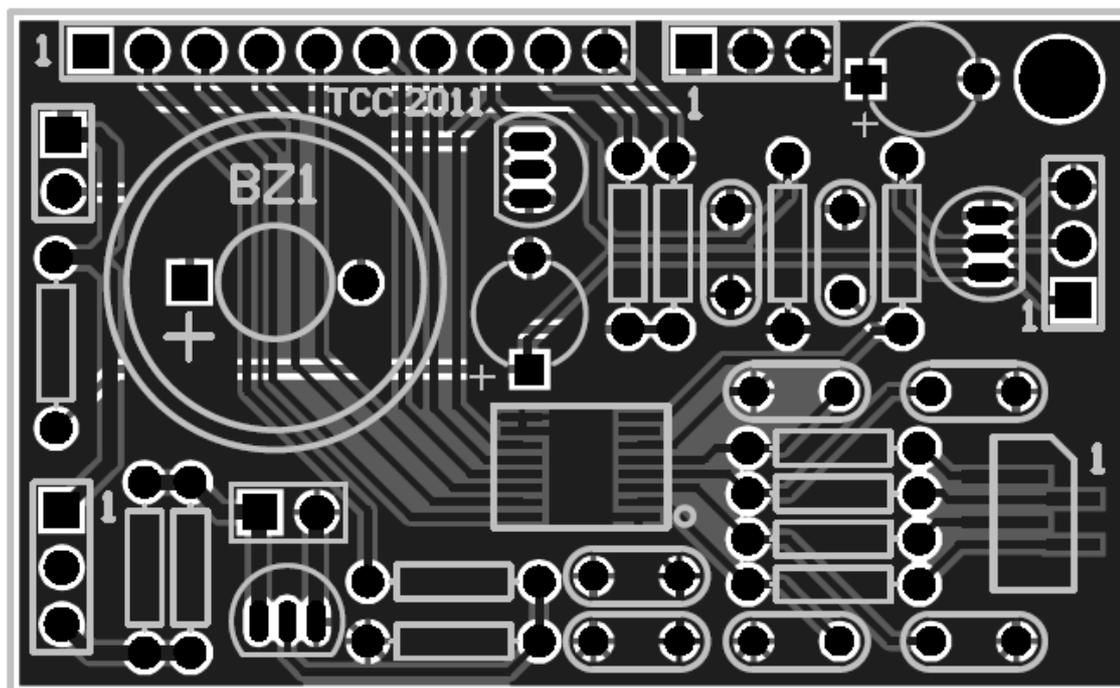
### Anexo E: Layout da placa de interface do display gráfico com a eAT55.



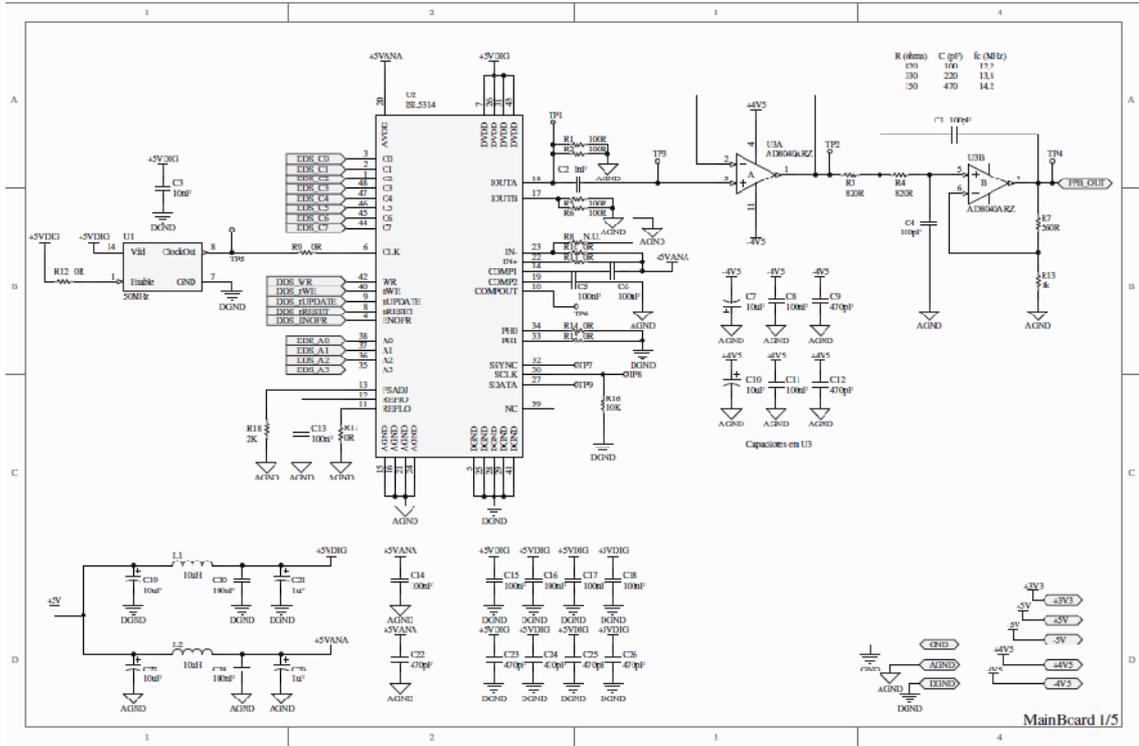
**Anexo F: Esquemático da placa de interface do controlador touch screen com o display gráfico.**



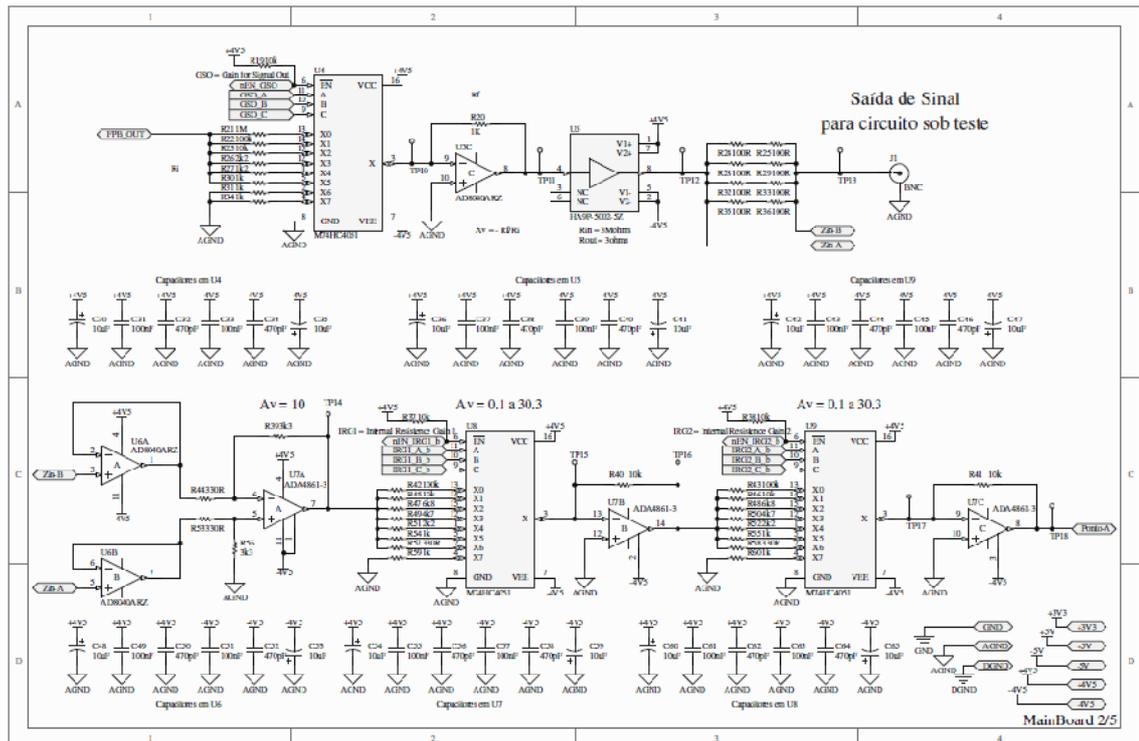
**Anexo G: Layout da placa de interface do controlador touch screen com display gráfico.**



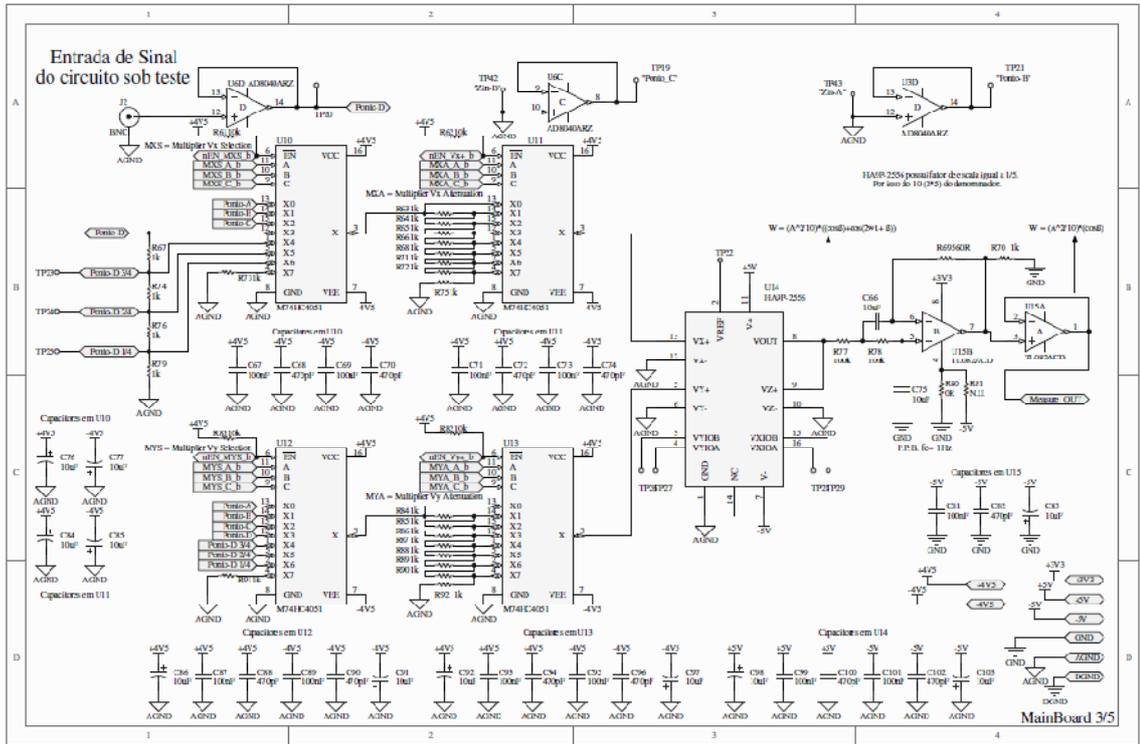
Anexo H: Esquemático 1 da placa principal



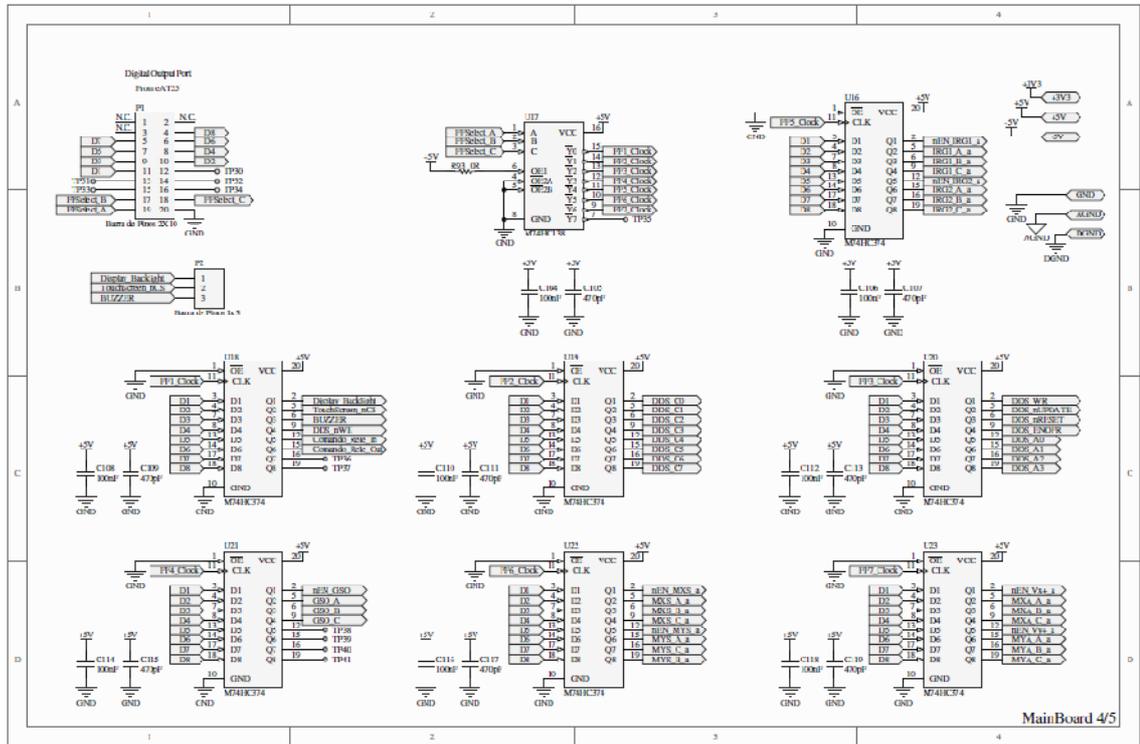
Anexo i: Esquemático 2 da principal.



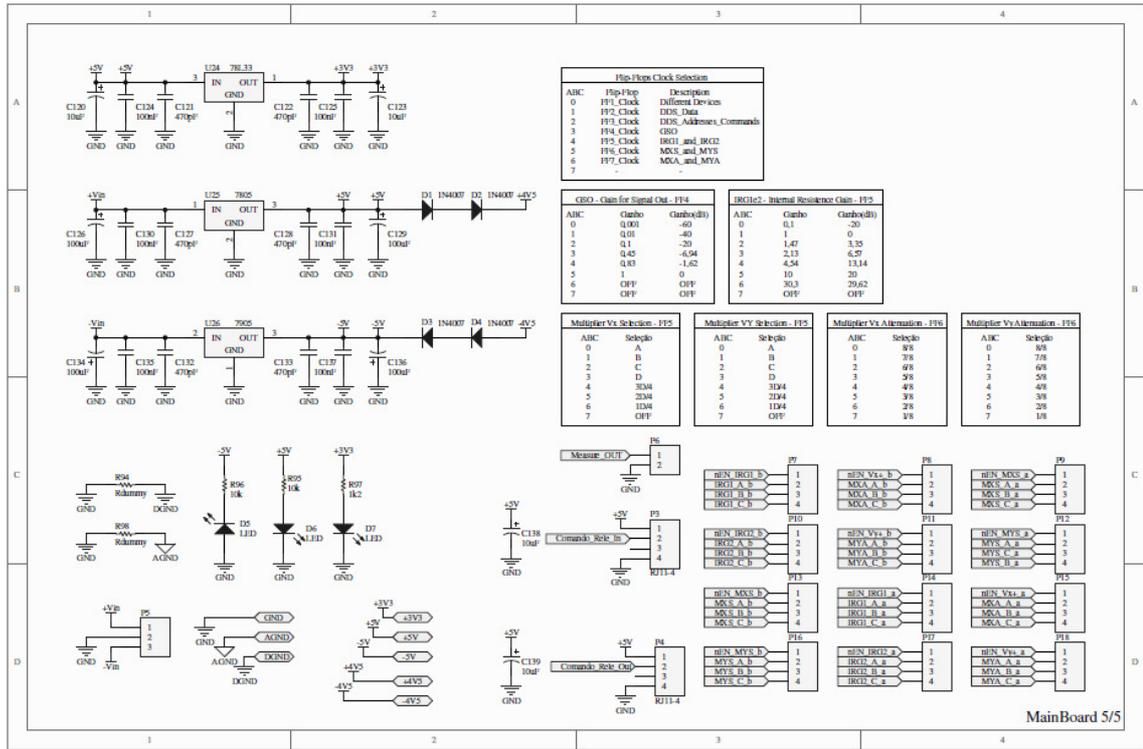
**Anexo J: Esquemático 3 da placa principal.**



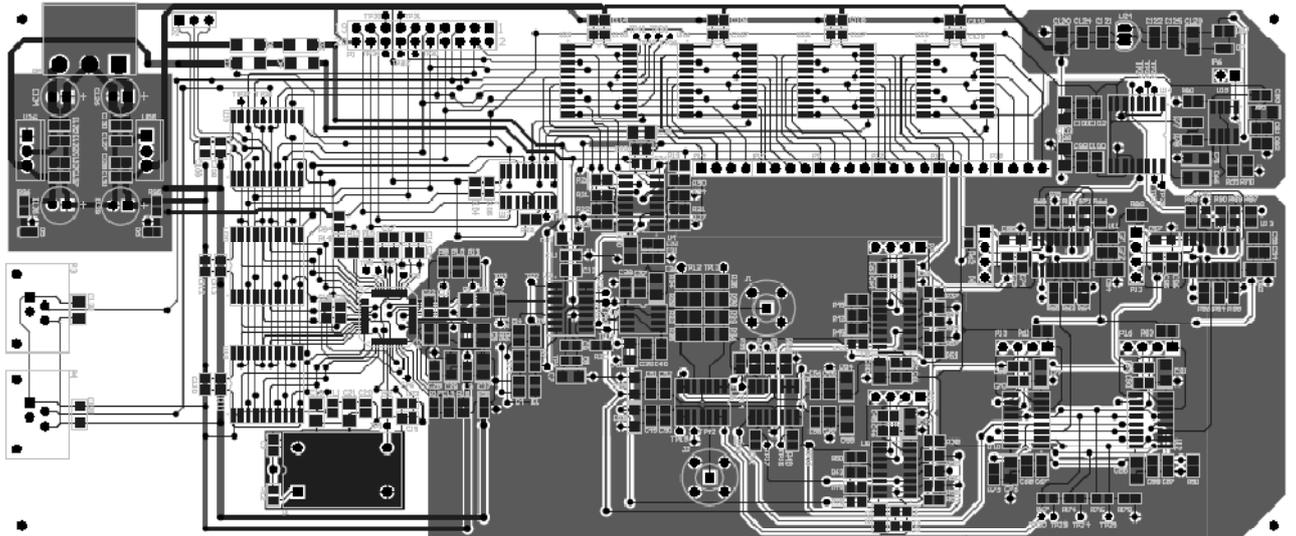
**Anexo K: Esquemático 4 da placa principal.**



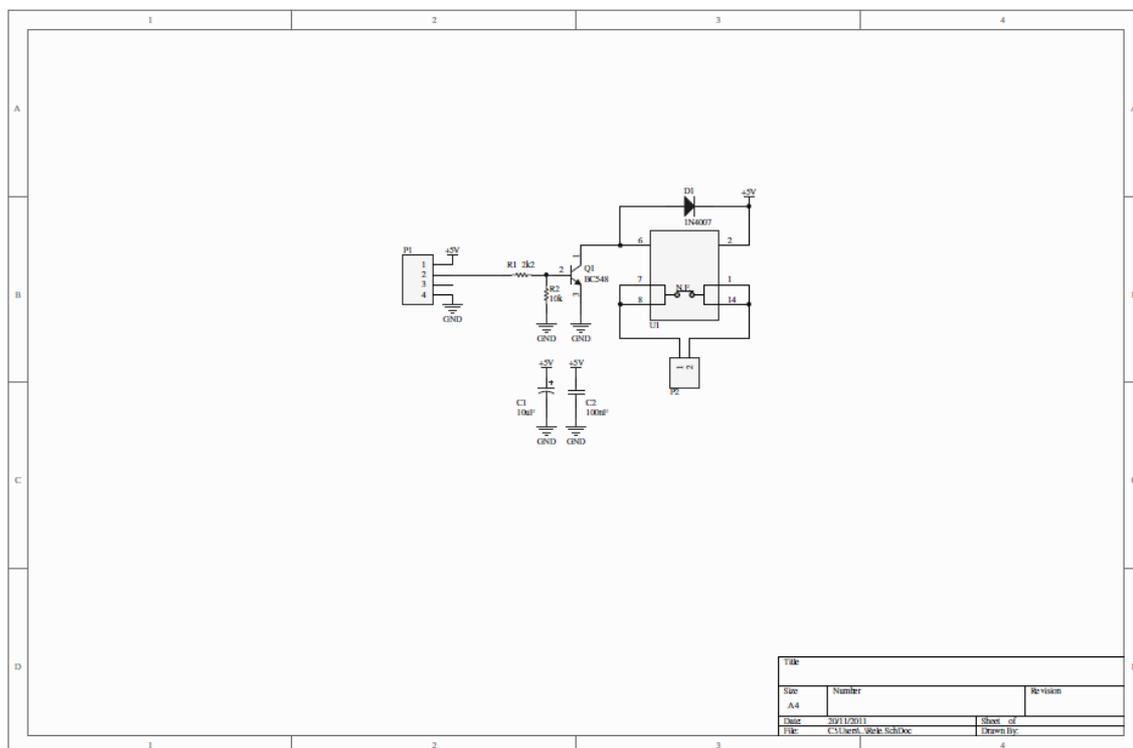
**Anexo L: Esquemático 5 da placa principal.**



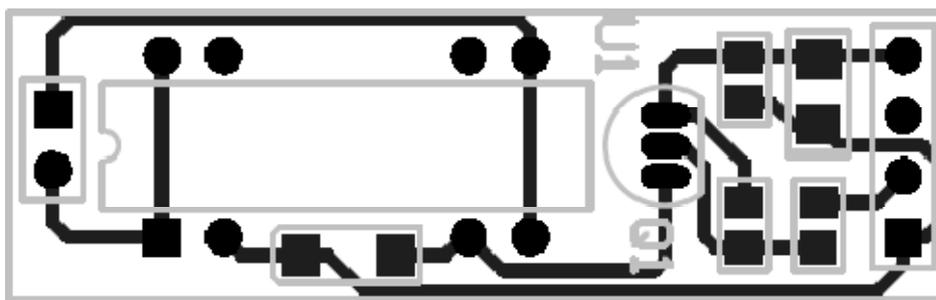
**Anexo M: Layout da placa principal do CarQuad.**



**Anexo N: Diagrama esquemático da placa para seccionamento de entrada e saída do circuito de teste via relé.**



**Anexo O: Layout da placa do relé para fazer o seccionamento de entrada e saída do circuito de teste.**



## Anexo P: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 1.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s) = P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em $^\circ$ ) = $t^*360/P$
2000	9,00E-02	2,08E-01	2,311111	7,276417	25	0,0005	-1,48E-04	-106,56
5000	8,80E-02	4,96E-01	5,636364	15,01998	25	0,0002	-6,40E-05	-115,2
8000	9,00E-02	9,60E-01	10,66667	20,56057	25	0,000125	-3,20E-05	-92,16
10000	8,60E-02	1,16E+00	13,48837	22,59919	25	0,0001	-2,16E-05	-77,76
20000	8,60E-02	1,68E+00	19,53488	25,81622	25	0,00005	-5,80E-06	-41,76
30000	8,60E-02	1,72E+00	20	26,0206	25	3,33E-05	-2,20E-06	-23,76
40000	8,60E-02	1,80E+00	20,93023	26,41548	25	0,000025	-1,60E-06	-23,04
70000	8,60E-02	1,80E+00	20,93023	26,41548	25	1,43E-05	-3,40E-07	-8,568
100000	8,60E-02	1,80E+00	20,93023	26,41548	25	0,00001	-1,20E-07	-4,32
200000	8,60E-02	1,80E+00	20,93023	26,41548	25	0,000005	-8,00E-08	-5,76
300000	8,00E-02	1,68E+00	21	26,44439	25	3,33E-06	-4,00E-08	-4,32
500000	7,00E-02	1,52E+00	21,71429	26,73491	25	0,000002	0,00E+00	0
800000	6,00E-02	1,28E+00	21,33333	26,58117	25	1,25E-06	1,00E-08	2,88
1000000	5,40E-02	1,12E+00	20,74074	26,33649	25	0,000001	3,00E-08	10,8
1200000	5,00E-02	1,04E+00	20,8	26,36127	25	8,33E-07	3,00E-08	12,96
1500000	4,56E-02	9,40E-01	20,61404	26,28326	25	6,67E-07	3,00E-08	16,2
2000000	4,16E-02	8,00E-01	19,23077	25,67993	25	5E-07	2,50E-08	18
2200000	7,40E-02	1,48E+00	20	26,0206	25	4,55E-07	2,00E-08	15,84
2500000	7,40E-02	1,50E+00	20,27027	26,13719	25	4E-07	2,00E-08	18
2700000	7,40E-02	1,48E+00	20	26,0206	25	3,7E-07	2,00E-08	19,44
3000000	7,20E-02	1,44E+00	20	26,0206	25	3,33E-07	2,00E-08	21,6
4000000	6,20E-02	1,24E+00	20	26,0206	25	2,5E-07	2,00E-08	28,8
5000000	6,40E-02	1,28E+00	20	26,0206	25	2E-07	2,00E-08	36
10000000	5,60E-02	1,02E+00	18,21429	25,20824	25	1E-07	2,00E-08	72
12000000	4,20E-02	7,40E-01	17,61905	24,91965	25	8,33E-08	2,00E-08	86,4
15000000	4,00E-02	7,00E-01	17,5	24,86076	25	6,67E-08	2,00E-08	108
20000000	3,28E-02	5,80E-01	17,68293	24,95108	25	5E-08	2,00E-08	144
22000000	3,00E-02	5,36E-01	17,86667	25,04087	25	4,55E-08	2,00E-08	158,4
25000000	2,00E-02	2,40E-01	12	21,58362	25	4E-08	2,00E-08	180
35000000	1,50E-02	1,76E-01	11,73333	21,38843	25	2,86E-08	1,50E-08	189
50000000	2,52E-02	2,12E-01	8,412698	18,49871	25	2E-08	1,50E-08	270
100000000	1,80E-02	4,00E-02	2,222222	6,93575	25	1E-08	1,00E-08	360
110000000	8,80E-03	1,60E-02	1,818182	5,192746	25	9,09E-09	1,00E-08	396
120000000	5,00E-03	8,00E-03	1,6	4,0824	25	8,33E-09	1,00E-08	432

### Anexo Q: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 2

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s)=P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em °) = $t^*360/P$
2,7	1,20E-01	1,20E+00	10	20	25	0,37037	1,92E-01	186,624
25	2,52E-01	2,52	10	20	25	0,04	1,88E-02	169,2
50	2,60E-01	2,6	10	20	25	0,02	9,40E-03	169,2
100	2,60E-01	2,6	10	20	25	0,01	4,72E-03	169,92
500	2,60E-01	2,6	10	20	25	0,002	9,40E-04	169,2
800	2,60E-01	2,6	10	20	25	0,00125	5,80E-04	167,04
1000	2,60E-01	2,6	10	20	25	0,001	4,72E-04	169,92
5000	2,60E-01	2,64	10,15385	20,13261	25	0,0002	9,20E-05	165,6
8000	2,56E-01	2,56	10	20	25	0,000125	5,76E-05	165,888
10000	2,56E-01	2,56	10	20	25	0,0001	4,56E-05	164,16
20000	2,60E-01	2,56	9,846154	19,86533	25	0,00005	2,20E-05	158,4
30000	2,64E-01	2,48	9,393939	19,45696	25	3,33E-05	1,44E-05	155,52
50000	2,68E-01	2,16	8,059701	18,12638	25	0,00002	7,60E-06	136,8
60000	2,72E-01	1,96	7,205882	17,15374	25	1,67E-05	6,00E-06	129,6
62000	2,72E-01	1,92	7,058824	16,97465	25	1,61E-05	5,80E-06	129,456
65000	2,76E-01	1,88	6,811594	16,66498	25	1,54E-05	5,40E-06	126,36
70000	2,76E-01	1,76	6,376812	16,09207	25	1,43E-05	4,80E-06	120,96
90000	2,80E-01	1,44	5,142857	14,22409	25	1,11E-05	3,60E-06	116,64
100000	2,80E-01	1,28	4,571429	13,20104	25	0,00001	3,00E-06	108
200000	2,84E-01	6,80E-01	2,394366	7,583811	25	0,000005	1,28E-06	92,16
300000	3,12E-01	4,80E-01	1,538462	3,741733	25	3,33E-06	7,20E-07	77,76
400000	3,08E-01	3,60E-01	1,168831	1,355036	25	2,5E-06	5,60E-07	80,64
500000	3,08E-01	2,88E-01	0,935065	-0,58316	25	0,000002	4,20E-07	75,6
600000	3,04E-01	2,40E-01	0,789474	-2,05325	25	1,67E-06	3,40E-07	73,44
800000	2,96E-01	1,84E-01	0,621622	-4,12948	25	1,25E-06	2,40E-07	69,12
900000	2,96E-01	1,64E-01	0,554054	-5,12896	25	1,11E-06	1,84E-07	59,616
1000000	2,92E-01	1,44E-01	0,493151	-6,14041	25	0,000001	1,68E-07	60,48
1200000	2,84E-01	1,24E-01	0,43662	-7,19793	25	8,33E-07	1,20E-07	51,84
1500000	2,72E-01	9,60E-02	0,352941	-9,04595	25	6,67E-07	9,60E-08	51,84
2000000	2,52E-01	7,20E-02	0,285714	-10,8814	25	5E-07	5,20E-08	37,44

### Anexo R: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 3.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s) = P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em °) = $t \cdot 360/P$
2,7	1,72E-01	1,96E+00	11,39535	21,13455	25	0,37037037	0,00E+00	0
25	1,80E-01	2,12	11,77778	21,42127	25	0,04	0,00E+00	0
50	1,60E-01	1,84	11,5	21,21396	25	0,02	0,00E+00	0
100	1,76E-01	2,04	11,59091	21,28235	25	0,01	0,00E+00	0
500	1,80E-01	2,04	11,33333	21,08715	25	0,002	0,00E+00	0
800	2,16E-01	2,44	11,2963	21,05872	25	0,00125	0,00E+00	0
1000	2,44E-01	2,76	11,31148	21,07039	25	0,001	0,00E+00	0
5000	2,40E-01	2,68	11,16667	20,95847	25	0,0002	-2,00E-06	-3,6
8000	2,40E-01	2,64	11	20,82785	25	0,000125	-2,40E-06	-6,912
10000	2,40E-01	2,64	11	20,82785	25	0,0001	-2,40E-06	-8,64
20000	2,44E-01	2,64	10,81967	20,68428	25	0,00005	-2,00E-06	-14,4
30000	2,48E-01	2,56	10,32258	20,27577	25	3,33333E-05	-2,40E-06	-25,92
50000	2,48E-01	2,16	8,709677	18,80004	25	0,00002	-2,56E-06	-46,08
55000	2,48E-01	2,04	8,225806	18,30357	25	1,81818E-05	-2,48E-06	-49,104
60000	2,48E-01	1,92	7,741935	17,77699	25	1,66667E-05	-2,40E-06	-51,84
70000	2,48E-01	1,68	6,774194	16,61715	25	1,42857E-05	-2,32E-06	-58,464
90000	2,48E-01	1,32	5,322581	14,52245	25	1,11111E-05	-2,16E-06	-69,984
100000	2,48E-01	1,2	4,83871	13,69459	25	0,00001	-1,92E-06	-69,12
200000	2,52E-01	6,40E-01	2,539683	8,095589	25	0,000005	-1,20E-06	-86,4
300000	2,72E-01	4,40E-01	1,617647	4,177675	25	3,33333E-06	-8,40E-07	-90,72
400000	2,72E-01	3,20E-01	1,176471	1,411621	25	0,0000025	-6,60E-07	-95,04
500000	2,68E-01	2,60E-01	0,970149	-0,26323	25	0,000002	-5,44E-07	-97,92
600000	2,68E-01	2,08E-01	0,776119	-2,20143	25	1,66667E-06	-4,56E-07	-98,496
800000	2,60E-01	1,56E-01	0,6	-4,43697	25	0,00000125	-3,60E-07	-103,68
900000	2,60E-01	1,28E-01	0,492308	-6,15527	25	1,11111E-06	-3,20E-07	-103,68
1000000	2,56E-01	1,16E-01	0,453125	-6,87564	25	0,000001	-3,12E-07	-112,32
1200000	2,48E-01	1,04E-01	0,419355	-7,54837	25	8,33333E-07	-2,66E-07	-114,912
1500000	2,40E-01	7,40E-02	0,308333	-10,2196	25	6,66667E-07	-2,20E-07	-118,8
2000000	2,20E-01	5,00E-02	0,227273	-12,8691	25	0,0000005	-1,76E-07	-126,72

### Anexo S: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 4.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s)= P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em °) = $t^*360/P$
2,7	1,00E+00	1,00E+00	1	0	25	0,37037037	0,00E+00	0
25	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,04	0,00E+00	0
50	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,02	0,00E+00	0
100	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,01	0,00E+00	0
500	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,002	0,00E+00	0
800	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,00125	0,00E+00	0
1000	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,001	-1,60E-05	-5,76
2000	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,0005	-1,60E-05	-11,52
3000	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,000333333	-2,00E-05	-21,6
4000	1,40E+00	1,40E+00	1	0	25	0,00025	-2,40E-05	-34,56
5000	1,40E+00	1,36E+00	0,97142857	-0,25178	25	0,0002	-2,60E-05	-46,8
6000	1,40E+00	1,32E+00	0,94285714	-0,51108	25	0,000166667	-2,20E-05	-47,52
7000	1,40E+00	1,28E+00	0,91428571	-0,77836	25	0,000142857	-2,00E-05	-50,4
8000	1,40E+00	1,20E+00	0,85714286	-1,33894	25	0,000125	-2,00E-05	-57,6
9000	1,36E+00	1,08E+00	0,79411765	-2,0023	25	0,000111111	-2,00E-05	-64,8
9500	1,36E+00	1,04E+00	0,76470588	-2,33011	25	0,000105263	-2,08E-05	-71,136
10000	1,36E+00	1,00E+00	0,73529412	-2,67078	25	0,0001	-2,08E-05	-74,88
10500	1,32E+00	9,60E-01	0,72727273	-2,76605	25	9,52381E-05	-2,16E-05	-81,648
10700	1,32E+00	9,50E-01	0,71969697	-2,85701	25	9,34579E-05	-2,20E-05	-84,744
11000	1,32E+00	9,12E-01	0,69090909	-3,21158	25	9,09091E-05	-2,10E-05	-83,16
15000	1,32E+00	7,20E-01	0,54545455	-5,26483	25	6,66667E-05	-1,84E-05	-99,36
20000	1,32E+00	4,80E-01	0,36363636	-8,78665	25	0,00005	-1,68E-05	-120,96
25000	1,32E+00	3,28E-01	0,24848485	-12,094	25	0,00004	-1,52E-05	-136,8
30000	1,36E+00	2,32E-01	0,17058824	-15,361	25	3,33333E-05	-1,34E-05	-144,72
40000	1,32E+00	1,40E-01	0,10606061	-19,4889	25	0,000025	-1,10E-05	-158,4
50000	1,32E+00	9,20E-02	0,06969697	-23,1357	25	0,00002	-9,00E-06	-162
70000	1,32E+00	4,60E-02	0,03484848	-29,1563	25	1,42857E-05	-6,80E-06	-171,36
90000	1,36E+00	3,02E-02	0,02220588	-33,0706	25	1,11111E-05	-5,76E-06	-186,624
100000	1,36E+00	2,48E-02	0,01823529	-34,7817	25	0,00001	-5,36E-06	-192,96
150000	1,40E+00	1,60E-02	0,01142857	-38,8402	25	6,66667E-06	-4,32E-06	-233,28
200000	1,40E+00	1,76E-02	0,01257143	-38,0123	25	0,000005	-3,76E-06	-270,72
250000	1,40E+00	2,00E-02	0,01428571	-36,902	25	0,000004	-3,09E-06	-278,1
300000	1,52E+00	2,48E-02	0,01631579	-35,7478	25	3,33333E-06	-2,68E-06	-289,44
400000	1,52E+00	3,36E-02	0,02210526	-33,1101	25	0,0000025	-2,06E-06	-296,64
500000	1,52E+00	4,24E-02	0,02789474	-31,0896	25	0,000002	-1,68E-06	-302,4
600000	1,52E+00	5,12E-02	0,03368421	-29,4515	25	1,66667E-06	-1,44E-06	-311,04
700000	1,52E+00	5,92E-02	0,03894737	-28,1904	25	1,42857E-06	-1,26E-06	-317,52
800000	1,52E+00	6,80E-02	0,04473684	-26,9867	25	0,00000125	-1,10E-06	-316,8
900000	1,52E+00	7,60E-02	0,05	-26,0206	25	1,11111E-06	-9,80E-07	-317,52
1000000	1,48E+00	8,20E-02	0,05540541	-25,129	25	0,000001	-8,80E-07	-316,8
1200000	1,48E+00	9,60E-02	0,06486486	-23,7598	25	8,33333E-07	-7,28E-07	-314,496
1500000	1,44E+00	1,14E-01	0,07916667	-22,0292	25	6,66667E-07	-6,00E-07	-324

1800000	1,40E+00	1,26E-01	0,09	-20,9151	25	5,55556E-07	-5,04E-07	-326,592
2000000	1,36E+00	1,32E-01	0,09705882	-20,2593	25	0,0000005	-4,56E-07	-328,32
2200000	1,32E+00	1,38E-01	0,10454545	-19,6139	25	4,54545E-07	-4,08E-07	-323,136
2400000	1,32E+00	1,42E-01	0,10757576	-19,3657	25	4,16667E-07	-3,80E-07	-328,32

### Anexo T: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 5.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T <sup>(°C)</sup>	Período sinal de entrada (s)=P	ΔT (vin e vout) em s=t	Defasagem (em °)= t*360/P
25	1,36E+00	3,60E-02	0,02647059	-31,5447	25	0,04	9,60E-03	86,4
50	1,40E+00	7,60E-02	0,05428571	-25,3063	25	0,02	5,00E-03	90
100	1,40E+00	1,44E-01	0,10285714	-19,7553	25	0,01	2,24E-03	80,64
500	1,40E+00	6,40E-01	0,45714286	-6,79896	25	0,002	3,40E-04	61,2
600	1,40E+00	7,40E-01	0,52857143	-5,53793	25	0,001666667	2,80E-04	60,48
700	1,40E+00	8,40E-01	0,6	-4,43697	25	0,001428571	2,08E-04	52,416
800	1,40E+00	9,00E-01	0,64285714	-3,83771	25	0,00125	1,60E-04	46,08
900	1,40E+00	9,60E-01	0,68571429	-3,27714	25	0,001111111	1,36E-04	44,064
950	1,40E+00	1,00E+00	0,71428571	-2,92256	25	0,001052632	1,28E-04	43,776
1000	1,42E+00	1,02E+00	0,71830986	-2,87376	25	0,001	1,20E-04	43,2
1200	1,42E+00	1,12E+00	0,78873239	-2,06141	25	0,000833333	8,00E-05	34,56
1500	1,42E+00	1,22E+00	0,85915493	-1,31857	25	0,000666667	6,40E-05	34,56
1600	1,42E+00	1,24E+00	0,87323944	-1,17733	25	0,000625	5,60E-05	32,256
1900	1,42E+00	1,30E+00	0,91549296	-0,7669	25	0,000526316	4,40E-05	30,096
2000	1,42E+00	1,32E+00	0,92957746	-0,63429	25	0,0005	3,60E-05	25,92
2200	1,42E+00	1,34E+00	0,94366197	-0,50367	25	0,000454545	3,20E-05	25,344
2500	1,42E+00	1,36E+00	0,95774648	-0,37499	25	0,0004	2,40E-05	21,6
2700	1,42E+00	1,38E+00	0,97183099	-0,24819	25	0,00037037	2,00E-05	19,44
3000	1,44E+00	1,40E+00	0,97222222	-0,24469	25	0,000333333	1,80E-05	19,44
3500	1,44E+00	1,42E+00	0,98611111	-0,12148	25	0,000285714	1,40E-05	17,64
4000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,00025	1,10E-05	15,84
5000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,0002	7,00E-06	12,6
6000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,000166667	5,00E-06	10,8
7000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,000142857	3,00E-06	7,56
8000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,000125	2,00E-06	5,76
9000	1,42E+00	1,44E+00	1,01408451	0,121483	25	0,000111111	1,58E-06	5,1192
10000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,0001	1,00E-06	3,6
15000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	6,66667E-05	0,00E+00	0
20000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	0,00005	0,00E+00	0
30000	1,42E+00	1,42E+00	1	0	25	3,33333E-05	0,00E+00	0
50000	1,44E+00	1,44E+00	1	0	25	0,00002	0,00E+00	0
100000	1,46E+00	1,38E+00	0,94520548	-0,48948	25	0,00001	-1,00E-06	-36
150000	1,62E+00	1,12E+00	0,69135802	-3,20594	25	6,66667E-06	-7,20E-07	-38,88

200000	1,48E+00	8,40E-01	0,56756757	-4,91965	25	0,000005	-7,20E-07	-51,84
250000	1,62E+00	6,60E-01	0,40740741	-7,79942	25	0,000004	-7,20E-07	-64,8
300000	1,56E+00	5,20E-01	0,33333333	-9,54243	25	3,33333E-06	-6,00E-07	-64,8
400000	1,62E+00	4,00E-01	0,24691358	-12,1491	25	0,0000025	-4,80E-07	-69,12
500000	1,62E+00	3,20E-01	0,19753086	-14,0873	25	0,000002	-4,00E-07	-72
600000	1,62E+00	2,60E-01	0,16049383	-15,8908	25	1,66667E-06	-3,80E-07	-82,08
700000	1,62E+00	2,20E-01	0,13580247	-17,3418	25	1,42857E-06	-3,20E-07	-80,64
800000	1,62E+00	2,00E-01	0,12345679	-18,1697	25	0,00000125	-3,00E-07	-86,4
900000	1,62E+00	1,80E-01	0,11111111	-19,0849	25	1,11111E-06	-2,60E-07	-84,24
1000000	1,60E+00	1,60E-01	0,1	-20	25	0,000001	-2,16E-07	-77,76
1500000	1,54E+00	1,04E-01	0,06753247	-23,4097	25	6,66667E-07	-1,68E-07	-90,72
1800000	1,50E+00	8,00E-02	0,05333333	-25,46	25	5,55556E-07	-1,40E-07	-90,72
2000000	1,48E+00	7,60E-02	0,05135135	-25,789	25	0,0000005	-1,28E-07	-92,16
2400000	1,40E+00	6,40E-02	0,04571429	-26,799	25	4,16667E-07	-1,16E-07	-100,224

### Anexo U: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 6.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s)=P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em °) = $t^*360/P$
25	1,60E+00	6,00E-03	0,00375	-48,5194	25	0,04	0,00E+00	0
50	1,60E+00	8,00E-03	0,005	-46,0206	25	0,02	0,00E+00	0
100	1,60E+00	8,80E-03	0,0055	-45,1927	25	0,01	0,00E+00	0
500	1,64E+00	8,80E-03	0,005366	-45,4072	25	0,002	0,00E+00	0
800	1,60E+00	8,80E-03	0,0055	-45,1927	25	0,00125	0,00E+00	0
1000	1,60E+00	8,80E-03	0,0055	-45,1927	25	0,001	0,00E+00	0
5000	1,60E+00	9,60E-03	0,006	-44,437	25	0,0002	0,00E+00	0
8000	1,60E+00	9,60E-03	0,006	-44,437	25	0,000125	0,00E+00	0
10000	1,56E+00	8,80E-03	0,005641	-44,9728	25	0,0001	1,60E-06	5,76
30000	1,60E+00	1,20E-02	0,0075	-42,4988	25	3,33333E-05	4,00E-06	43,2
50000	1,60E+00	1,52E-02	0,0095	-40,4455	25	0,00002	2,80E-06	50,4
100000	1,64E+00	2,80E-02	0,017073	-35,3537	25	0,00001	1,40E-06	50,4
200000	1,68E+00	5,40E-02	0,032143	-29,8583	25	0,000005	1,00E-06	72
300000	1,84E+00	9,20E-02	0,05	-26,0206	25	3,33333E-06	6,40E-07	69,12
400000	1,84E+00	1,34E-01	0,072826	-22,7543	25	0,0000025	4,60E-07	66,24
500000	1,84E+00	2,04E-01	0,11087	-19,1038	25	0,000002	2,40E-07	43,2
600000	1,84E+00	1,72E-01	0,093478	-20,5858	25	1,66667E-06	3,40E-07	73,44
700000	1,84E+00	2,80E-01	0,152174	-16,3532	25	1,42857E-06	2,88E-07	72,576
750000	1,84E+00	3,40E-01	0,184783	-14,6668	25	1,33333E-06	2,64E-07	71,28
800000	1,88E+00	4,24E-01	0,225532	-12,9358	25	0,00000125	2,16E-07	62,208
850000	1,92E+00	5,44E-01	0,283333	-10,954	25	1,17647E-06	1,84E-07	56,304
870000	1,92E+00	6,08E-01	0,316667	-9,98795	25	1,14943E-06	1,76E-07	55,1232
890000	1,96E+00	6,80E-01	0,346939	-9,19494	25	1,1236E-06	1,52E-07	48,7008
900000	2,00E+00	7,28E-01	0,364	-8,77797	25	1,11111E-06	1,50E-07	48,6

930000	2,08E+00	9,40E-01	0,451923	-6,89871	25	1,07527E-06	1,36E-07	45,5328
960000	2,24E+00	1,18E+00	0,526786	-5,56732	25	1,04167E-06	9,60E-08	33,1776
990000	2,52E+00	1,52E+00	0,603175	-4,39114	25	1,0101E-06	5,60E-08	19,9584
1000000	2,60E+00	1,62E+00	0,623077	-4,10917	25	0,000001	3,20E-08	11,52
1010000	2,68E+00	1,72E+00	0,641791	-3,85213	25	9,90099E-07	1,60E-08	5,8176
1015000	2,72E+00	1,76E+00	0,647059	-3,78112	25	9,85222E-07	0,00E+00	0
1020000	2,72E+00	1,80E+00	0,661765	-3,58593	25	9,80392E-07	0,00E+00	0
1025000	2,76E+00	1,82E+00	0,65942	-3,61675	25	9,7561E-07	-8,00E-09	-2,952
1030000	2,76E+00	1,82E+00	0,65942	-3,61675	25	9,70874E-07	-1,60E-08	-5,9328
1040000	2,72E+00	1,82E+00	0,669118	-3,48995	25	9,61538E-07	-2,40E-08	-8,9856
1050000	2,72E+00	1,78E+00	0,654412	-3,68298	25	9,52381E-07	-3,20E-08	-12,096
1100000	2,36E+00	1,40E+00	0,59322	-4,53568	25	9,09091E-07	-8,80E-08	-34,848
1150000	2,08E+00	1,06E+00	0,509615	-5,85515	25	8,69565E-07	-1,20E-07	-49,68
1180000	1,96E+00	9,00E-01	0,459184	-6,76027	25	8,47458E-07	-1,36E-07	-57,7728
1200000	1,92E+00	8,00E-01	0,416667	-7,60422	25	8,33333E-07	-1,36E-07	-58,752
1250000	1,80E+00	6,40E-01	0,355556	-8,98185	25	0,0000008	-1,52E-07	-68,4
1300000	1,76E+00	5,40E-01	0,306818	-10,2624	25	7,69231E-07	-1,52E-07	-71,136
1350000	1,72E+00	4,60E-01	0,267442	-11,4554	25	7,40741E-07	-1,52E-07	-73,872
1400000	1,68E+00	4,00E-01	0,238095	-12,465	25	7,14286E-07	-1,52E-07	-76,608
1450000	1,68E+00	3,60E-01	0,214286	-13,3801	25	6,89655E-07	-1,48E-07	-77,256
1500000	1,64E+00	3,20E-01	0,195122	-14,1939	25	6,66667E-07	-1,52E-07	-82,08
1600000	1,60E+00	2,60E-01	0,1625	-15,7829	25	0,000000625	-1,44E-07	-82,944
1700000	1,60E+00	2,08E-01	0,13	-17,7211	25	5,88235E-07	-1,44E-07	-88,128
1800000	1,56E+00	1,84E-01	0,117949	-18,5661	25	5,55556E-07	-1,36E-07	-88,128
1900000	1,52E+00	1,60E-01	0,105263	-19,5545	25	5,26316E-07	-1,32E-07	-90,288
2000000	1,48E+00	1,44E-01	0,097297	-20,238	25	0,0000005	-1,28E-07	-92,16
2200000	1,44E+00	1,20E-01	0,083333	-21,5836	25	4,54545E-07	-1,16E-07	-91,872
2400000	1,40E+00	9,60E-02	0,068571	-23,2771	25	4,16667E-07	-1,04E-07	-89,856

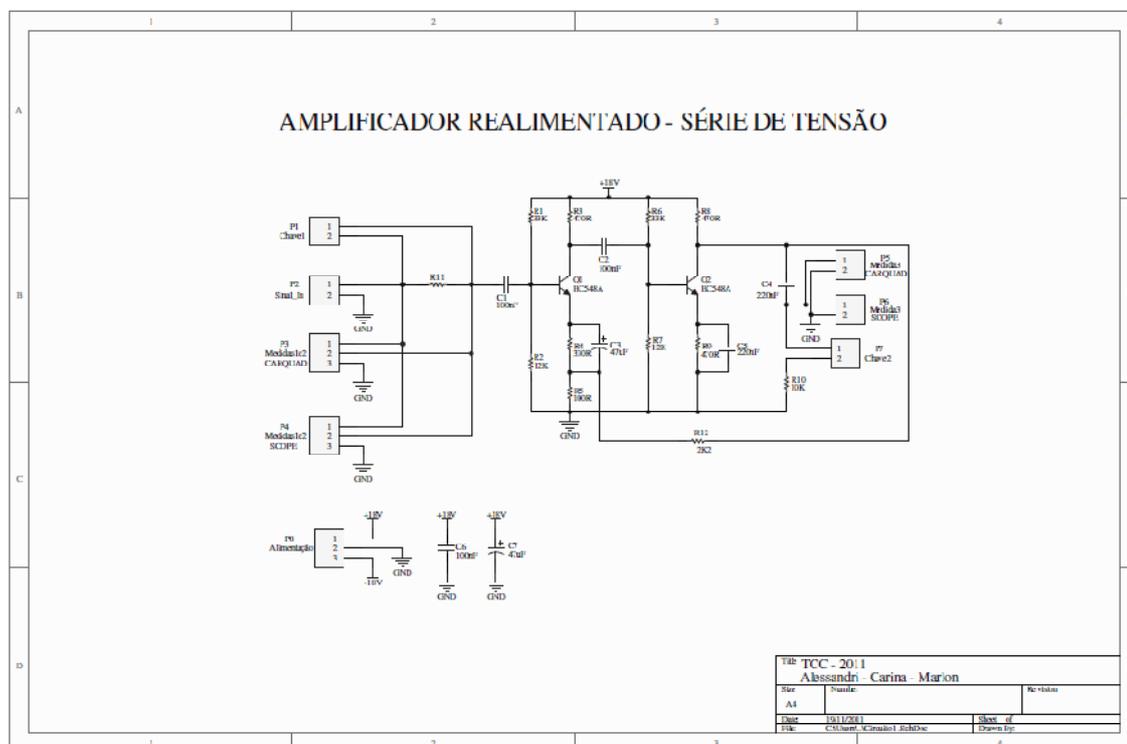
## Anexo V: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 7.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s) = P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em °) = $t^*360/P$
100	2,40E+00	2,40E-04	0,0001	-80	25	0,01	2,48E-03	89,28
500	2,48E+00	8,80E-04	0,00035484	-68,9994	25	0,002	4,80E-04	86,4
800	2,48E+00	1,36E-03	0,00054839	-65,2183	25	0,00125	3,00E-04	86,4
1000	2,48E+00	1,68E-03	0,00067742	-63,3828	25	0,001	2,40E-04	86,4
5000	2,48E+00	8,60E-03	0,00346774	-49,1991	25	0,0002	4,60E-05	82,8
8000	2,48E+00	1,36E-02	0,00548387	-45,2183	25	0,000125	3,00E-05	86,4
10000	2,48E+00	1,68E-02	0,00677419	-43,3828	25	0,0001	2,32E-05	83,52
30000	2,48E+00	4,80E-02	0,01935484	-34,2642	25	3,33333E-05	8,00E-06	86,4
50000	2,48E+00	8,20E-02	0,03306452	-29,6128	25	0,00002	4,40E-06	79,2
100000	2,48E+00	1,76E-01	0,07096774	-22,9788	25	0,00001	2,32E-06	83,52
150000	2,48E+00	2,96E-01	0,11935484	-18,4632	25	6,66667E-06	1,36E-06	73,44
200000	2,48E+00	4,24E-01	0,17096774	-15,3417	25	0,000005	8,80E-07	63,36
250000	2,40E+00	6,40E-01	0,26666667	-11,4806	25	0,000004	6,80E-07	61,2
270000	2,56E+00	7,60E-01	0,296875	-10,5485	25	3,7037E-06	6,00E-07	58,32
290000	2,48E+00	9,20E-01	0,37096774	-8,61328	25	3,44828E-06	5,20E-07	54,288
300000	2,40E+00	1,00E+00	0,41666667	-7,60422	25	3,33333E-06	4,60E-07	49,68
310000	2,32E+00	1,10E+00	0,47413793	-6,48191	25	3,22581E-06	4,00E-07	44,64
320000	2,24E+00	1,20E+00	0,53571429	-5,42134	25	0,000003125	3,20E-07	36,864
325000	2,24E+00	1,24E+00	0,55357143	-5,13653	25	3,07692E-06	2,78E-07	32,526
330000	2,16E+00	1,30E+00	0,60185185	-4,41021	25	3,0303E-06	2,40E-07	28,512
340000	2,08E+00	1,40E+00	0,67307692	-3,43871	25	2,94118E-06	1,80E-07	22,032
350000	2,00E+00	1,48E+00	0,74	-2,61537	25	2,85714E-06	1,00E-07	12,6
360000	1,92E+00	1,52E+00	0,79166667	-2,02915	25	2,77778E-06	4,00E-08	5,184
365000	1,92E+00	1,54E+00	0,80208333	-1,91561	25	2,73973E-06	0,00E+00	0
370000	1,92E+00	1,54E+00	0,80208333	-1,91561	25	2,7027E-06	-8,00E-08	-10,656
380000	1,92E+00	1,54E+00	0,80208333	-1,91561	25	2,63158E-06	-1,20E-07	-16,416
390000	2,00E+00	1,50E+00	0,75	-2,49877	25	2,5641E-06	-2,00E-07	-28,08
400000	2,08E+00	1,44E+00	0,69230769	-3,19402	25	0,0000025	-2,20E-07	-31,68
420000	2,24E+00	1,28E+00	0,57142857	-4,86076	25	2,38095E-06	-3,40E-07	-51,408
425000	2,24E+00	1,24E+00	0,55357143	-5,13653	25	2,35294E-06	-3,40E-07	-52,02
450000	2,40E+00	1,08E+00	0,45	-6,93575	25	2,22222E-06	-4,00E-07	-64,8
500000	2,56E+00	8,00E-01	0,3125	-10,103	25	0,000002	-4,00E-07	-72
550000	2,64E+00	6,40E-01	0,24242424	-12,3085	25	1,81818E-06	-4,00E-07	-79,2
600000	2,72E+00	5,20E-01	0,19117647	-14,3713	25	1,66667E-06	-3,80E-07	-82,08
700000	2,80E+00	3,68E-01	0,13142857	-17,6262	25	1,42857E-06	-3,40E-07	-85,68
800000	2,80E+00	2,88E-01	0,10285714	-19,7553	25	0,00000125	-3,20E-07	-92,16
900000	2,80E+00	2,32E-01	0,08285714	-21,6334	25	1,11111E-06	-3,04E-07	-98,496
1000000	2,80E+00	1,84E-01	0,06571429	-23,6468	25	0,000001	-2,80E-07	-100,8
1200000	2,80E+00	1,28E-01	0,04571429	-26,799	25	8,33333E-07	-2,48E-07	-107,136
1500000	2,72E+00	7,20E-02	0,02647059	-31,5447	25	6,66667E-07	-2,00E-07	-108
1800000	2,64E+00	3,20E-02	0,01212121	-38,3291	25	5,55556E-07	-1,76E-07	-114,048
2000000	2,56E+00	1,20E-02	0,0046875	-46,5812	25	0,0000005	-1,68E-07	-120,96

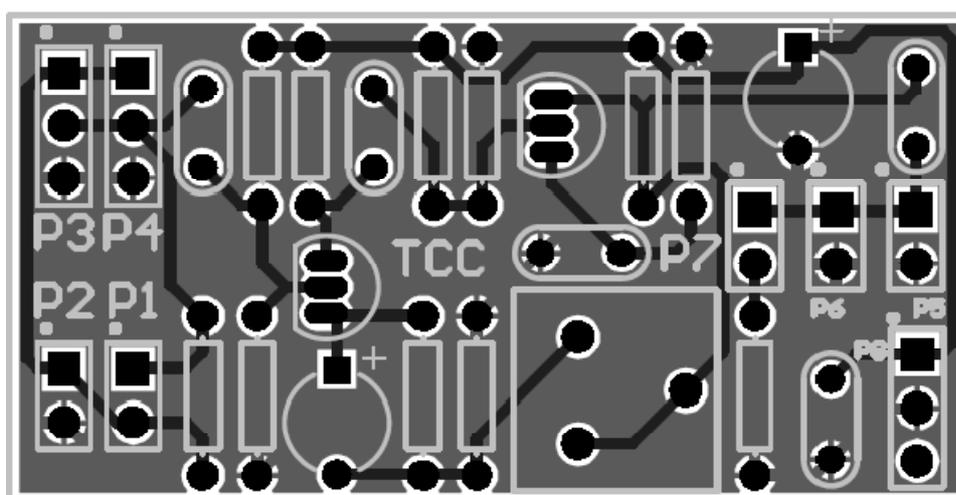
### Anexo W: Obtenção da curva de resposta prática para o circuito 8.

f(Hz)	Vi(V)	Vo(V)	Av	Av(dB)	T(°C)	Período sinal de entrada (s) = P	$\Delta T$ (vin e vout) em s = t	Defasagem (em °) = t*360/P
25	1,40E+00	2,00E-03	0,00142857	-56,902	25	0,04	1,84E-02	165,6
50	1,42E+00	7,20E-03	0,00507042	-45,8991	25	0,02	7,80E-03	140,4
100	1,42E+00	2,92E-02	0,02056338	-33,7381	25	0,01	3,90E-03	140,4
300	1,42E+00	1,80E-01	0,12676056	-17,9403	25	0,003333333	1,12E-03	120,96
500	1,42E+00	3,68E-01	0,25915493	-11,7288	25	0,002	5,40E-04	97,2
600	1,42E+00	4,64E-01	0,32676056	-9,71541	25	0,001666667	4,20E-04	90,72
700	1,42E+00	5,44E-01	0,38309859	-8,33379	25	0,001428571	3,40E-04	85,68
800	1,42E+00	6,16E-01	0,43380282	-7,25415	25	0,00125	2,60E-04	74,88
900	1,42E+00	6,88E-01	0,48450704	-6,294	25	0,001111111	2,16E-04	69,984
1000	1,42E+00	7,52E-01	0,52957746	-5,52141	25	0,001	1,84E-04	66,24
2000	1,40E+00	1,08E+00	0,77142857	-2,25409	25	0,0005	6,00E-05	43,2
3000	1,40E+00	1,20E+00	0,85714286	-1,33894	25	0,000333333	3,20E-05	34,56
4000	1,40E+00	1,28E+00	0,91428571	-0,77836	25	0,00025	1,80E-05	25,92
5000	1,40E+00	1,32E+00	0,94285714	-0,51108	25	0,0002	1,20E-05	21,6
6000	1,40E+00	1,34E+00	0,95714286	-0,38046	25	0,000166667	8,00E-06	17,28
7000	1,40E+00	1,34E+00	0,95714286	-0,38046	25	0,000142857	4,00E-06	10,08
8000	1,40E+00	1,34E+00	0,95714286	-0,38046	25	0,000125	4,00E-06	11,52
9000	1,38E+00	1,32E+00	0,95652174	-0,3861	25	0,000111111	4,00E-06	12,96
10000	1,38E+00	1,32E+00	0,95652174	-0,3861	25	0,0001	3,20E-06	11,52
12000	1,38E+00	1,32E+00	0,95652174	-0,3861	25	8,33333E-05	2,40E-06	10,368
15000	1,38E+00	1,32E+00	0,95652174	-0,3861	25	6,66667E-05	1,60E-06	8,64
20000	1,40E+00	1,34E+00	0,95714286	-0,38046	25	0,00005	8,00E-07	5,76
30000	1,40E+00	1,34E+00	0,95714286	-0,38046	25	3,33333E-05	0,00E+00	0
50000	1,42E+00	1,34E+00	0,94366197	-0,50367	25	0,00002	0,00E+00	0
80000	1,42E+00	1,34E+00	0,94366197	-0,50367	25	0,0000125	0,00E+00	0
100000	1,44E+00	1,36E+00	0,94444444	-0,49647	25	0,00001	0,00E+00	0
150000	1,44E+00	1,36E+00	0,94444444	-0,49647	25	6,66667E-06	0,00E+00	0
200000	1,44E+00	1,38E+00	0,95833333	-0,36967	25	0,000005	0,00E+00	0
250000	1,46E+00	1,40E+00	0,95890411	-0,3645	25	0,000004	0,00E+00	0
300000	1,60E+00	1,52E+00	0,95	-0,44553	25	3,33333E-06	0,00E+00	0
350000	1,60E+00	1,52E+00	0,95	-0,44553	25	2,85714E-06	0,00E+00	0
400000	1,60E+00	1,50E+00	0,9375	-0,56057	25	0,0000025	-2,00E-08	-2,88
500000	1,60E+00	1,52E+00	0,95	-0,44553	25	0,000002	0,00E+00	0
600000	1,60E+00	1,54E+00	0,9625	-0,33199	25	1,66667E-06	-1,60E-08	-3,456
700000	1,60E+00	1,52E+00	0,95	-0,44553	25	1,42857E-06	0,00E+00	0
800000	1,60E+00	1,52E+00	0,95	-0,44553	25	0,00000125	-8,00E-09	-2,304
900000	1,60E+00	1,52E+00	0,95	-0,44553	25	1,11111E-06	-8,00E-09	-2,592
1000000	1,58E+00	1,50E+00	0,94936709	-0,45132	25	0,000001	-1,60E-08	-5,76
1500000	1,56E+00	1,50E+00	0,96153846	-0,34067	25	6,66667E-07	-1,20E-08	-6,48
1800000	1,52E+00	1,48E+00	0,97368421	-0,23164	25	5,55556E-07	-1,20E-08	-7,776
2000000	1,48E+00	1,44E+00	0,97297297	-0,23798	25	0,0000005	-1,20E-08	-8,64
2400000	1,44E+00	1,40E+00	0,97222222	-0,24469	25	4,16667E-07	-8,00E-09	-6,912

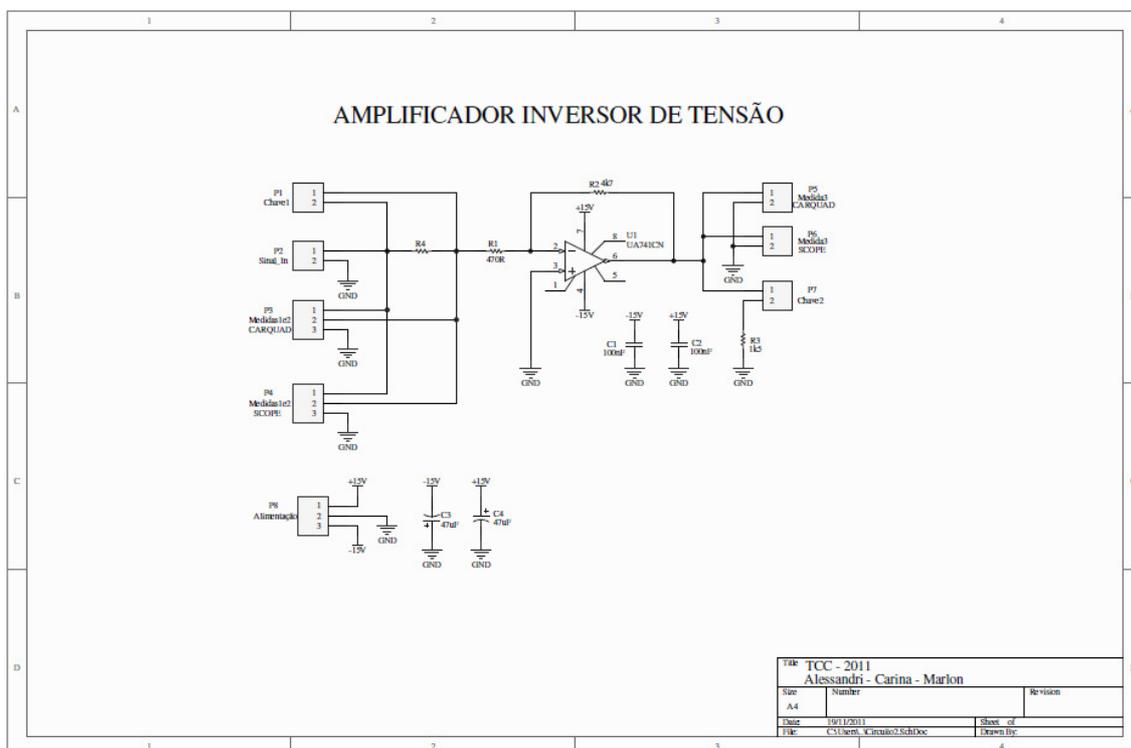
**Anexo X: Diagrama esquemático do circuito de teste 1- amplificador realimentado série de tensão.**



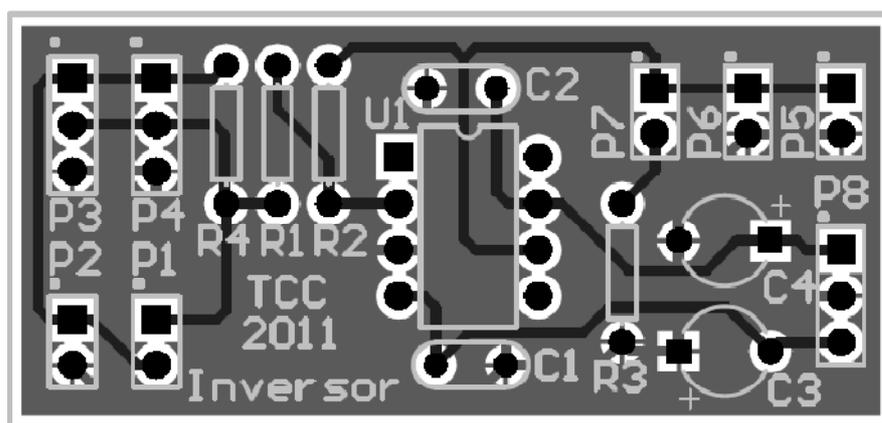
**Anexo Y: Layout da placa do circuito 1 – amplificador realimentado série de tensão.**



**Anexo Z: Diagrama esquemático do circuito de teste 2- amplificador inversor de tensão.**

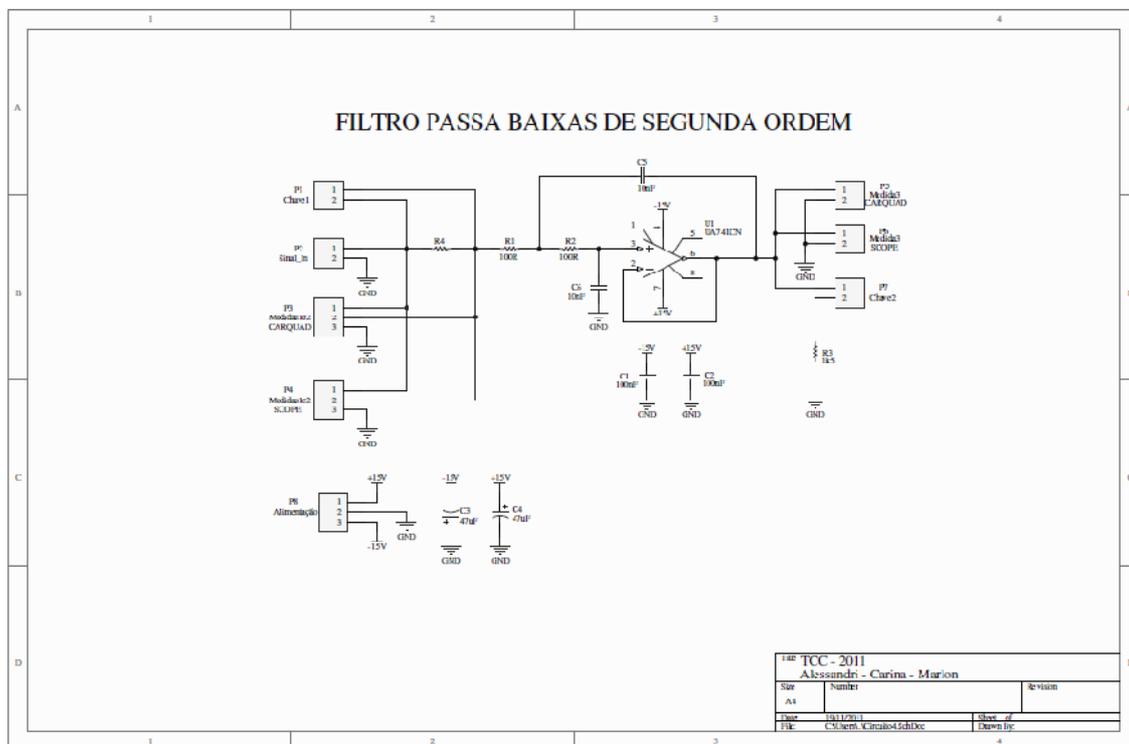


**Anexo AA: Layout da placa do circuito 2 – amplificador inversor de tensão.**

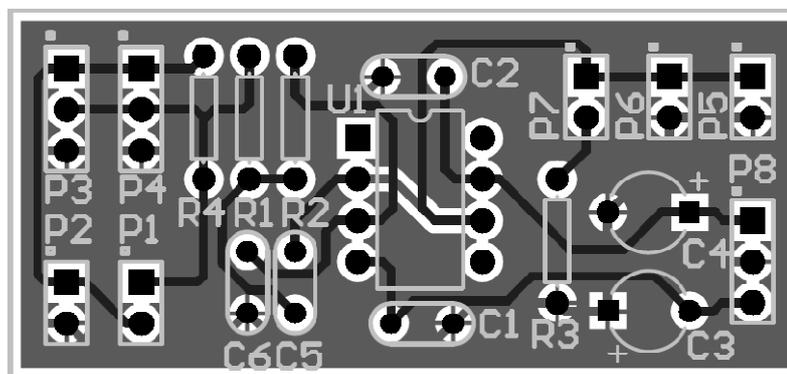




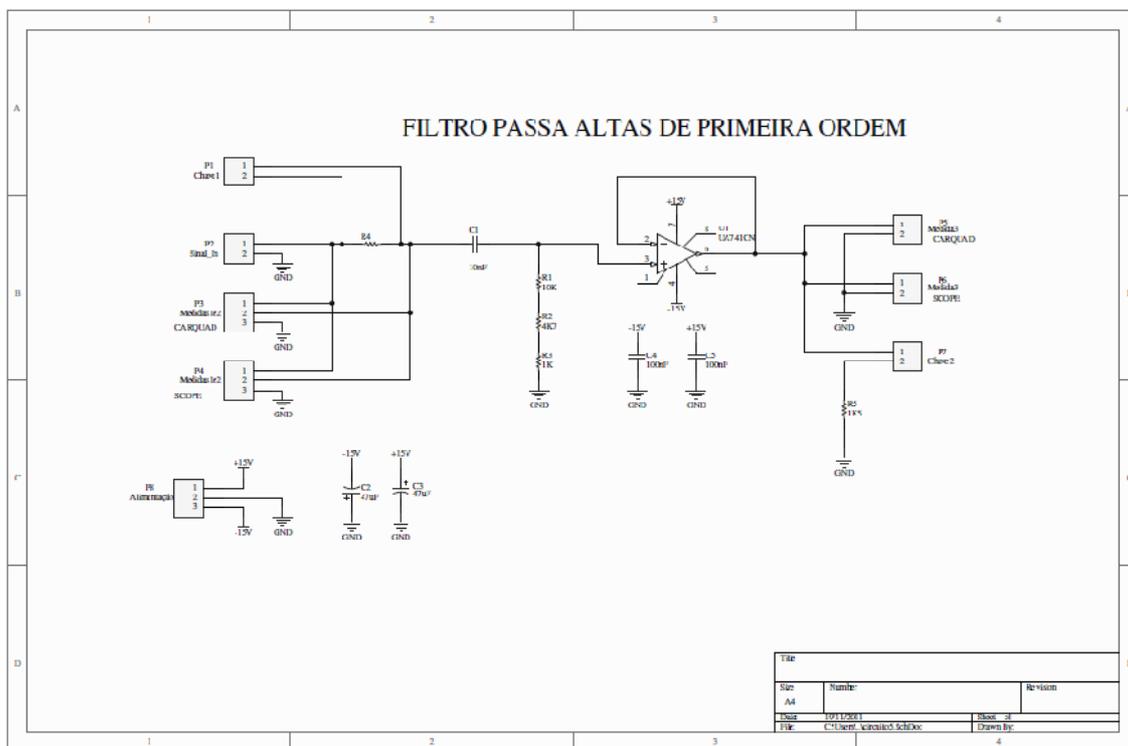
**Anexo AD: Diagrama esquemático do circuito de teste 4- filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem.**



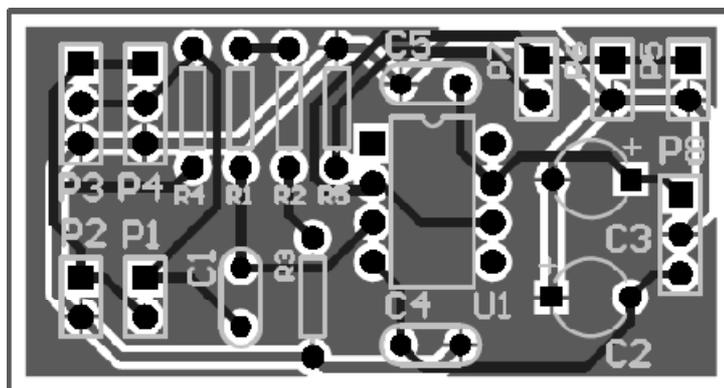
**Anexo AE: Layout da placa do circuito 4 – filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem.**



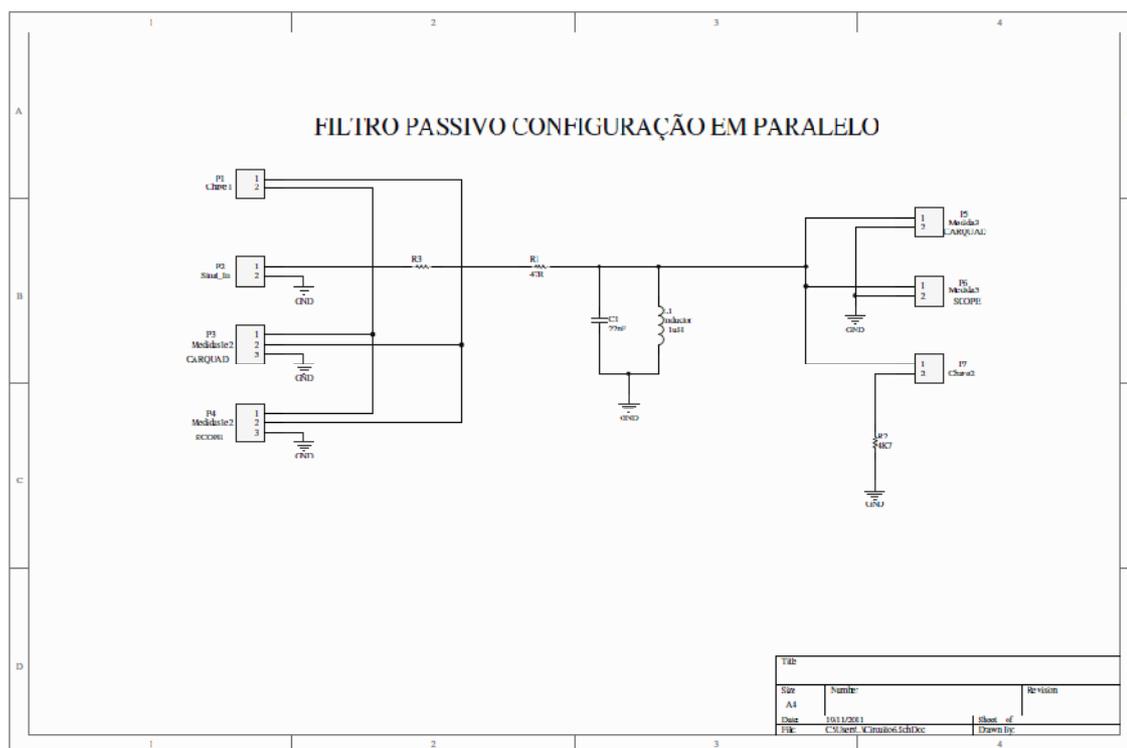
**Anexo AF: Diagrama esquemático do circuito de teste 5- filtro ativo passa-altas de 1ª ordem.**



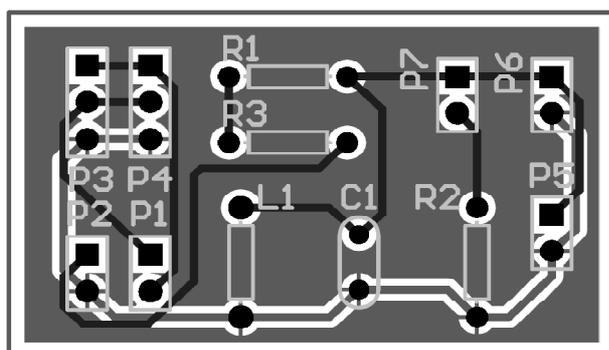
**Anexo AG: Layout da placa do circuito 4 – filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem.**



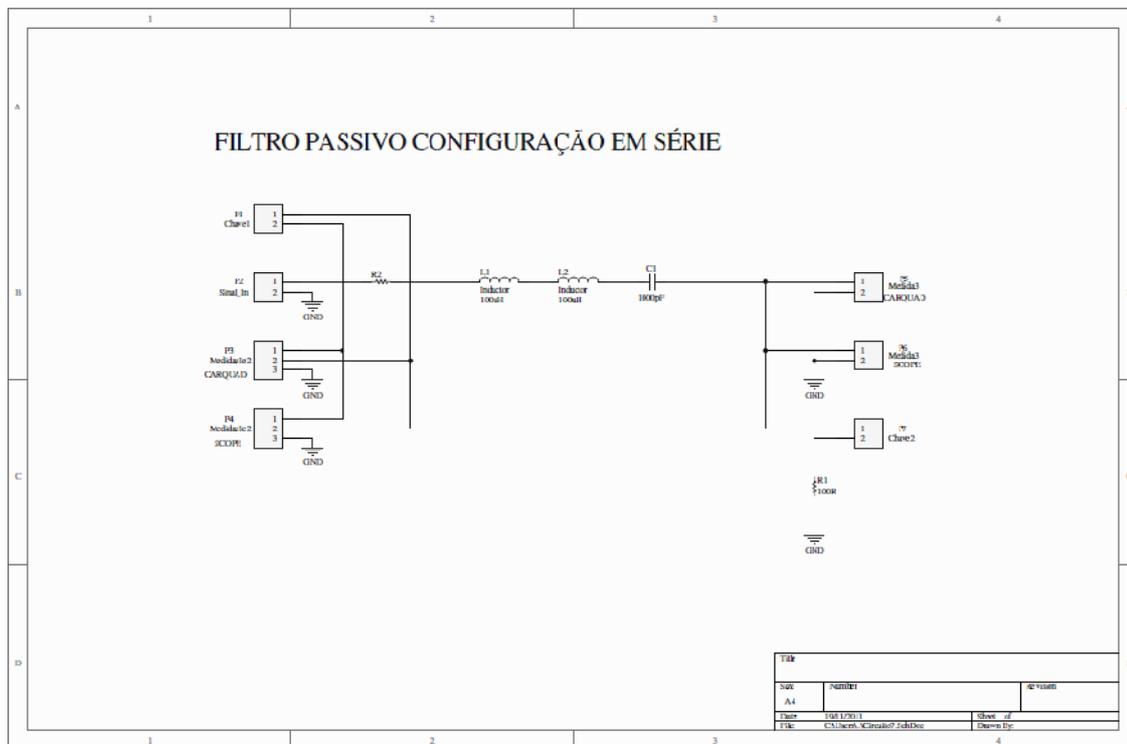
**Anexo AH: Diagrama esquemático do circuito de teste 6- filtro passivo configuração em paralelo.**



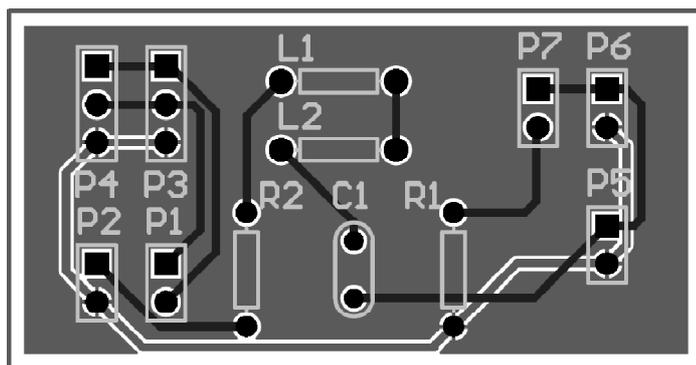
**Anexo AI: Layout da placa do circuito 6 – filtro passivo configuração em paralelo.**



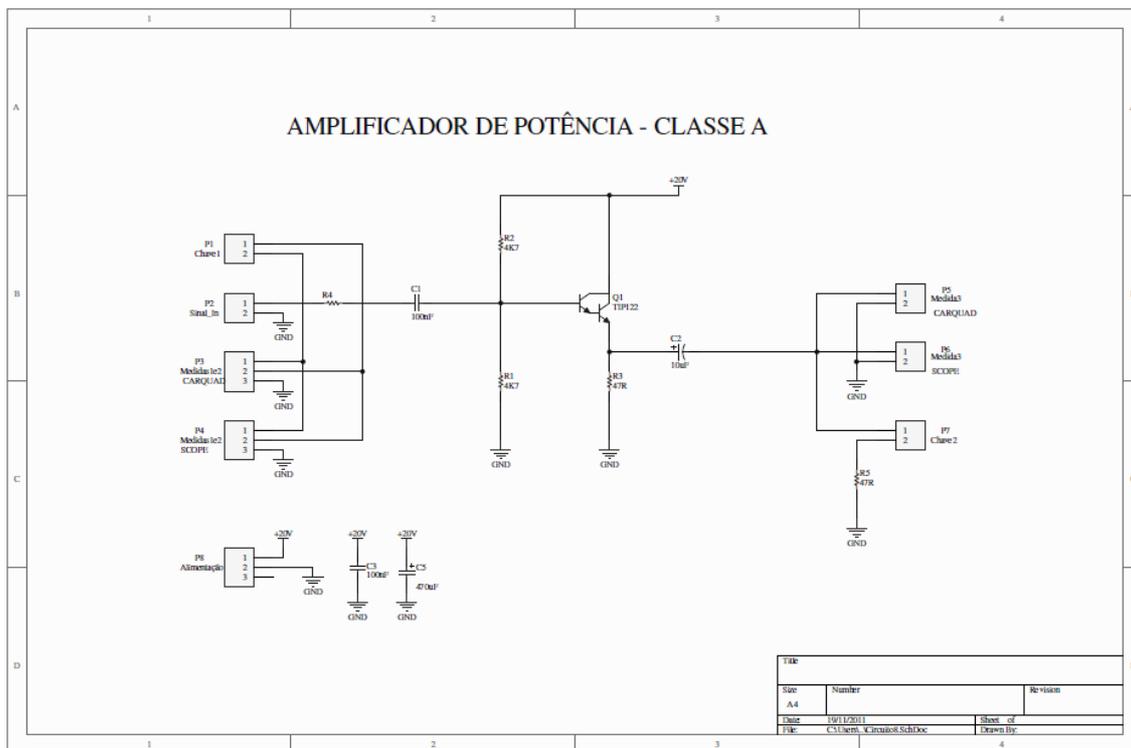
**Anexo AJ: Diagrama esquemático do circuito de teste 7- filtro passivo configuração em série.**



**Anexo AK: Layout da placa do circuito 7 – filtro passivo configuração em série.**



**Anexo AL: Diagrama esquemático do circuito de teste 8- amplificador de potência classe A.**



**Anexo AM: Layout da placa do circuito 8 – amplificador de potência classe A.**

