

# Simulação de Circuito e Confecção de Hardware de um Rádio Receptor de sinais FM e sinais VHF

Allan Gustavo de Souza, Matheus Erkmann Bechtold

Instituto Federal de Santa Catarina

Campus Itajaí

Email: matheus.eb@aluno.ifsc.edu.br, allan.g@aluno.ifsc.edu.br

## Resumo

Proposta de projeto final com ênfase na temática de recepção de sinais FM e VHF na disciplina de Sistema de Comunicação, no curso de graduação em Engenharia Elétrica do IFSC.

## Palavras Chave

PCB, LTSpice, Receptor, Comunicação, Antena.

## I. INTRODUÇÃO

Ao analisar como acontece a transmissão de ondas de rádio frequência pode parecer algo mágico para algumas pessoas. Quando liga-se o equipamento de rádio, pode-se ouvir uma música, uma voz ou qualquer outro sinal sonoro que esteja sendo transmitido de uma fonte localizada a centenas ou até milhares de quilômetros de distância. Com isto, escolheu-se este tema para o estudo do artigo (com oscilador transistorizado) devido à abrangência de técnicas que o rádio engloba, tanto para transmissão e recepção, sendo de grande interesse e fascínio o sistema de recepção e demodulação de sinais, especialmente em ondas curtas, onde sinais de rádio, mesmo que em baixa potência podem percorrer distância quilométricas devido à propagação. Portanto, foi proposto aos alunos a construção de um sistema de recepção de sinais. Este equipamento poderia ser de escolha dos autores.

Desta forma, foi decidido a construção de um receptor de FM e VHF. O circuito conta com um demodulador de frequências através de um transistor BF495, onde a partir deste, será possível criar um demonstrador didático, representando a onda modulada, demodulada e amplificada (tom final).

O circuito elétrico será baseado em um projeto feito por Newton Braga em 1990, o qual utilizou este receptor para sinais desde AM até VHF. Ele sintonizará desde as faixas disponíveis para canais de televisão (a partir de 50MHz), faixas disponíveis para as ondas de rádio FM (88 MHz a 108 MHz) e faixas disponíveis para ondas VHF e para radioamadores (118 MHz a 136 MHz e 136MHz a 150 MHz, respectivamente).

O software a ser utilizado é o Proteus® e LTSPICE® e toda a parte de simulação serão feitas através destes. O hardware será desenvolvido em Printed Circuit Board (PCB) devido à alta frequência de trabalho.

## II. MÉTODOS E IMPLEMENTAÇÃO

O objetivo principal deste trabalho é implementar um rádio para recepcionar, demodular e tornar audível sinais de 50 MHz à 300 MHz. Os objetivos específicos são: 1 - elaborar o esquemático do circuito proposto no software Proteus®; 2 - e a simulação através do LTSPICE®. 3 - Confeccionar o hardware em uma PCB.

Os materiais utilizados foram:

Semicondutores:

- BF 495 (Transistor NPN de RF)
- BC 547 ( Transistor NPN de uso geral )
- TBA 820M ( Amplificador de áudio integrado )

Resistores:

- 47kΩ ( amarelo, violeta, laranja )
- 10kΩ ( marrom, preto, laranja )
- 4 x 3,3kΩ ( laranja, laranja, vermelho )
- 2M2Ω ( vermelho, vermelho, verde )
- 27kΩ ( vermelho, violeta, laranja )

Trimpot:

- 47 kΩ
- 10 kΩ
- 1 kΩ

### Capacitores:

- 47 mF x 16V ( eletrolítico )
- 1,2 nF ( cerâmico )
- 1 pF ( cerâmico )
- 5 x 2,2 nF ( cerâmico )
- 2 x 10 nF ( cerâmico )
- 2 x 100 nF ( cerâmico )
- 2 x 100 mF x 16 V ( eletrolítico )
- 220 mF x 16 V ( eletrolítico )
- 4 pF ( cerâmico )
- Trimmer de Porcelana ( 2 - 20 pF )

### Diversos:

- Bobina
- XRF – Micro Choque Comercial de RF (  $47 \mu\text{H}$  )
- PCI - Placa de circuito impresso ( 8 cm x 6 cm )
- FTE - Alto-falante de 2W x 8 ( 5 cm ou maior )
- S1 - Interruptor simples
- Ferro de solda (estanhador)
- Multímetro digital

### A. Diagrama do circuito e suas características

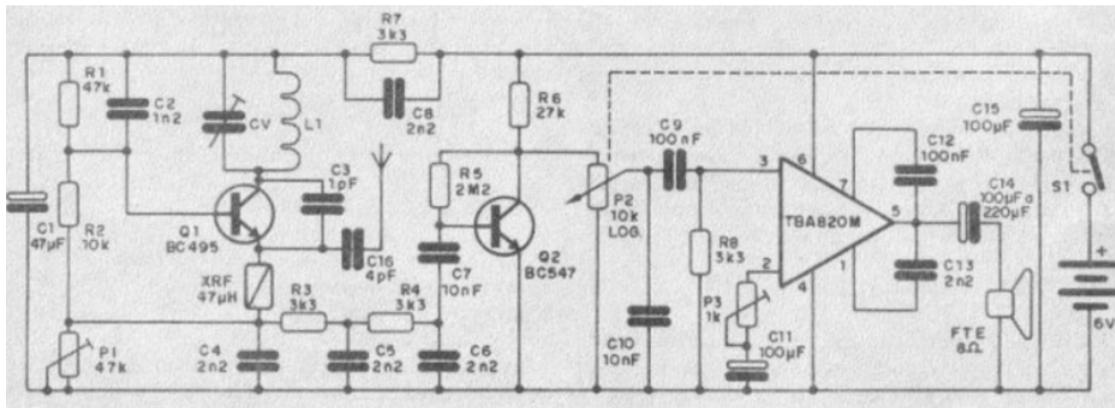


Figura 1. Circuito elétrico do receptor [1]

Este projeto tem como base a configuração básica de um receptor super-regenerativo (com a realimentação positiva sobre o circuito-tanque LC), e pode ser dividido em três blocos: oscilador local; regeneração; e amplificador de saída.

O oscilador local é sintonizado na frequência desejada, neste caso, determinada pelo circuito-tanque composto por um Trimmer (CV - capacitor variável) e um indutor (L1 - bobina). Este circuito LC terá uma frequência própria de ressonância, tendo uma bobina de valor fixo no projeto, como visto na Figura 2, e podendo alterar o valor do capacitor de 4,2 pF a 20 pF, formando, assim, o circuito de sintonia.

Devido à escassez de instrumentos de medição de indutância ou faixa de frequência do oscilador, optou-se por este método para determinar as faixas cobertas pela bobina. Sendo assim, através de um fio esmaltado comum (AWG nº 18 a 22), fabrica-se a própria bobina, com aproximadamente 10 mm de diâmetro, e cobrindo as seguintes faixas de frequência em acordo com o número de voltas:

- 50 a 88 MHz = 5 voltas (TV)
- 88 a 108 MHz = 4 voltas (FM)
- 118 a 136 MHz = 3 voltas (VHF)
- 136 a 150 MHz = 2 voltas (radio amador)

O sinal captado pela antena telescópica, primeiramente, é pré amplificado pelo transistor BF 495 (que constitui um amplificador-demodulador de Rádio-Frequência) e, em seguida, é acoplado ao oscilador, onde a intensidade do sinal gerado pelo oscilador varia de acordo com o deslocamento da frequência do sinal captado.

Como na modulação FM, a frequência do sinal varia proporcionalmente à amplitude do sinal de áudio, temos que a variação na intensidade do sinal do oscilador local é equivalente ao áudio que modulou o sinal captado pelo receptor. O sinal de áudio

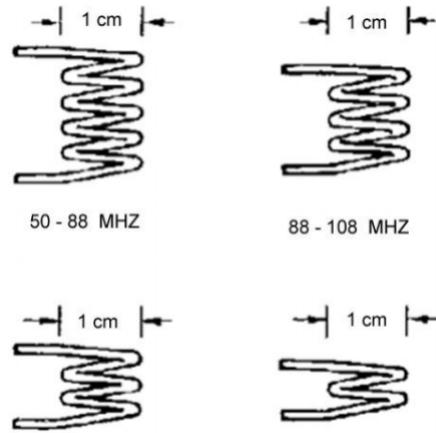


Figura 2. Voltas da bobina x Faixas de frequência [1]

de baixa frequência é separado do sinal de alta frequência gerado pelo oscilador local e parte deste é levado pelo circuito de regeneração, novamente, ao circuito oscilador para que seja amplificado. O oscilador funciona como amplificador para o sinal de áudio que é de baixa frequência. O ponto ideal de funcionamento depende do sinal sintonizado, tendo este “ponto” ajustado pelo potenciômetro P1, para realizar o controle da regeneração. Desta forma, a etapa de sintonia demodula o sinal de alta e amplifica simultaneamente o sinal de baixa frequência. O sinal pré-amplificado retirado da etapa de regeneração é levado ao amplificador de saída (segunda etapa) para que tenha intensidade para acionar o alto-falante.

Esta segunda etapa é formada pelo transistor BC 547 (Q2), para realizar a pré-amplificação do sinal sintonizado, onde o potenciômetro (P2) realiza o ajuste de ganho (controle do volume), e pelo CI (circuito integrado) TBA 820M (amplificador de áudio integrado), utilizado como amplificador de potência classe B de baixa frequência, podendo ser alimentado em 6V (como no caso deste projeto), além de possuir baixa corrente quiescente, baixo número de componentes externos, boa rejeição de ondulação, sem distorção cruzada e baixa dissipação de energia, segundo dados de seu *datasheet*.

Este tipo de receptor possui excelente sensibilidade, porém possui ajustes de regeneração em P1 que regula o ponto de operação com maior ganho. Este tipo de ajuste torna este tipo de receptor desconfortável para o uso comercial, porém, pode ser encontrado em receptores profissionais para a faixa de VHF.

#### B. Exemplo de PCI

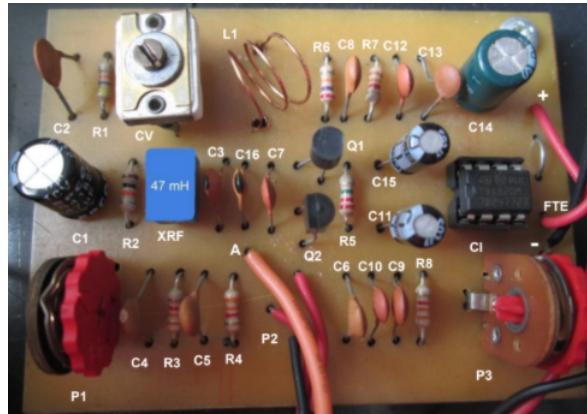


Figura 3. Placa de circuito impresso [2]

A Figura 3 é um exemplo de placa de circuito impresso a ser reproduzida pelos autores, foi desenvolvida por Mauricio Bastos [2] em seu canal no YouTube©.

### III. RESULTADOS

#### A. Confecção e testes da PCI

Como já previsto, o hardware foi elaborado com base em um projeto já desenvolvido por diversos autores. Utilizou-se o software Proteus para confecção do hardware virtual em 3D, conforme as imagens 4 e 5:

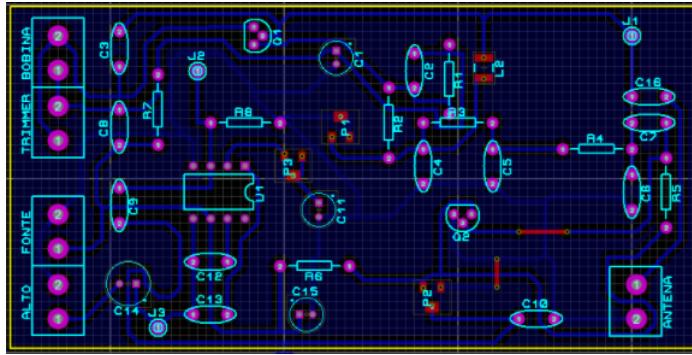


Figura 4. Leiaute PCB

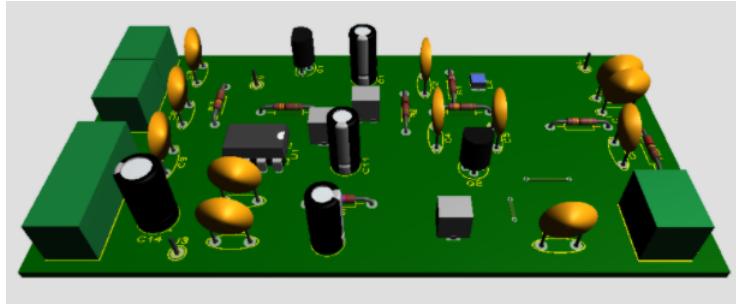


Figura 5. Visualizador 3D

O hardware possibilita a conexão, através dos bornes, dos seguintes itens: da Fonte Linear de 6V 1A; da Antena Telescópica de 60cm; Alto-Falante 8Ω 10W; do Trimmer (capacitor variável); e do indutor (bobina caseira). Além disso, a PCI possui pontos específicos para análise, disponibilizados por pinos para conexão de um conector “jacaré” para análise em osciloscópio ou multímetro, como os pontos: do sinal modulado (após o indutor micro-choque); do sinal pré amplificado (na entrada do TBA 820M) e sinal de saída (entrada do Alto-Falante) [3].

Em seguida, as ilhas e trilhas da PCB foram exportadas do software para serem impressas à laser em papel fotográfico. Na figura abaixo, é apresentado as impressões:

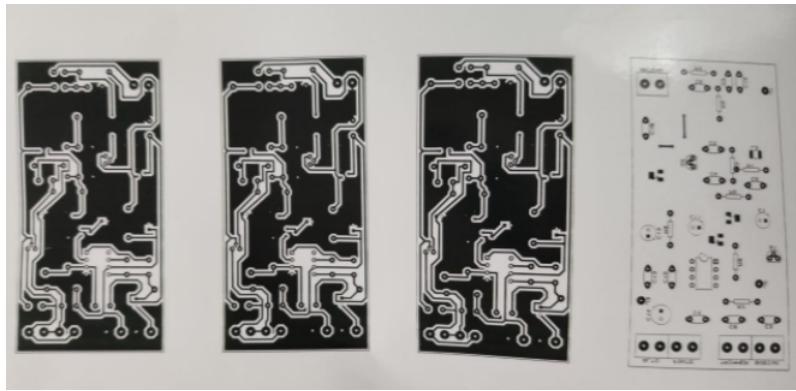


Figura 6. Impressão a laser em papel fotográfico

Já com as vias impressas e com auxílio de um ferro industrial à vapor, foi possível realizar a transferência térmica das trilhas e ilhas para a placa de fenolite, como visto na Figura 7. Após isto, realizou-se a corrosão da placa com percloroeto de ferro, eliminando a fina camada de cobre da parte exposta da placa de fenolite, mantendo apenas as vias e trilhas impressas, apresentado na Figura 8. Com auxílio de uma furadeira manual, foram realizados os furos nas ilhas com broca de aço rápido de 1 mm (Figura 9). Em seguida, iniciou-se o processo de solda dos componentes (Figura 10).

Após serem fixados todos os componentes nas ilhas da placa de circuito impresso, foram conectados os demais por meio dos bornes, entre eles a Fonte de 6V com uma chave “ON/OFF” em série para alimentação do circuito, o Alto falante na saída do equipamento, a antena telescópica, o capacitor variável e a bobina caseira.

Para realizar os testes do hardware, como aconselhou o artigo base do projeto, foi confeccionada uma bobina para o circuito

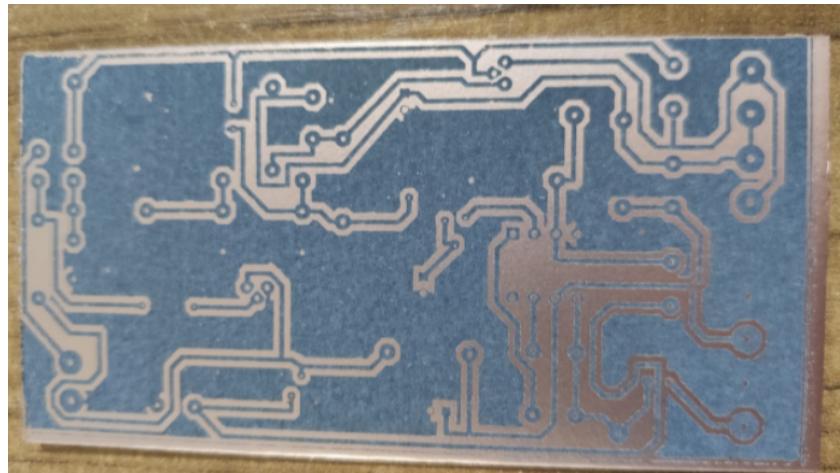


Figura 7. PCI após transferência térmica

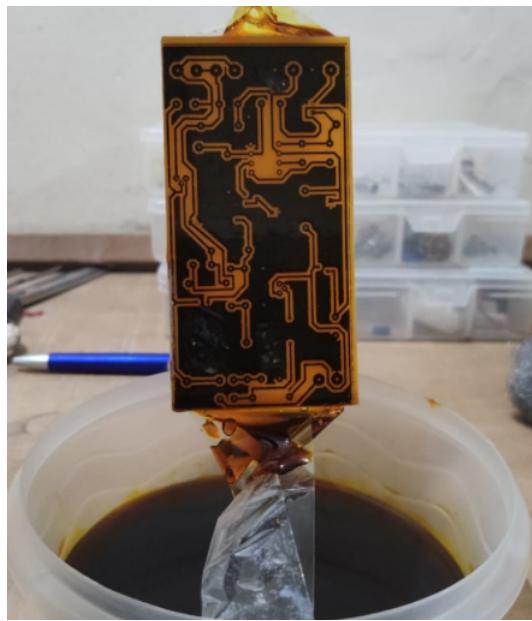


Figura 8. PCI após corrosão com perclorato de ferro

oscilador com 4 voltas, para atuar nas faixas de sinais FM (entre 88 a 108 MHz). Esta faixa de frequência é aconselhada para início dos testes, pois os sinais da faixa FM possuem estações operando com maior potência, verificando-se assim o funcionamento do circuito com mais facilidade e adquirindo-se prática no manuseio dos ajustes.

Entretanto, ao realizar o primeiro teste, mesmo variando os ajustes em P1, P2, P3 e Trimmer, não foi verificado nenhum sinal ou ruído na saída (no alto-falante). Desta forma, verificou-se alguma divergência entre projeto e execução. Foi analisado o circuito ponto-a-ponto e procurou-se relatos de outras pessoas [4] que se propuseram à confeccionar o mesmo projeto, e, assim, foi visto que havia uma conexão discordância entre o Diagrama apresentado no arquivo base e a PCI disponibilizada a ser impressa. Com isto, a correção foi realizada: uma conexão entre os pinos 6 e 7 do TBA 820M [5].

Dando prosseguimento aos testes, com auxílio de um multímetro, através de testes de continuidade, foi verificado pontos com “solda fria”, que ocorre quando a solda não adere devidamente ao componente que está sendo soldado e a placa de circuito impresso, não fornecendo, assim, o contato elétrico necessário para o funcionamento do aparelho. Sendo assim, alguns pontos foram refeitos para suprir o problema.

Além disso, verificando com um multímetro a amplitude da onda (limitado até 400 Hz conforme Manual do Multímetro Digital ZT98), a partir da entrada do sinal, foi visto que o sinal atenuava a partir do BC547, este que serviria para amplificar o sinal. Portanto, foi realizado a troca deste componente.

Com todas as alterações feitas, foi realizada uma nova análise do sinal de saída do equipamento. Desta vez, a partir de testes feitos na etapa de simulação, entendeu-se que o sinal poderia ser demodulado somente quando o potenciômetro P1 estiver setado para um valor próximo à  $40\text{ k}\Omega$ . E, assim, um valor aproximado foi ajustado e foi então possível ouvir um “chiado”

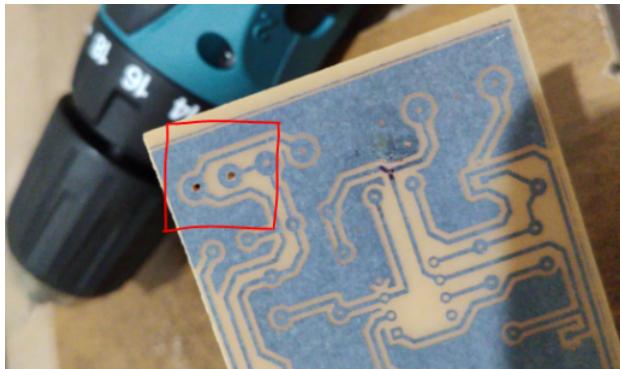


Figura 9. Furação das ilhas

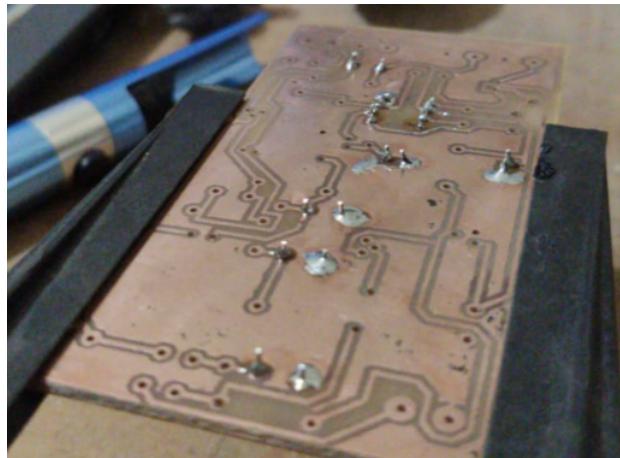


Figura 10. Solda dos componentes, vista inferior

no alto-falante, prova que o circuito estava com bom funcionamento e seriam necessários apenas alterar os valores dos ajustes em P1, P2, P3 e *Trimmer*. A bobina é a última troca a ser realizada nos testes caso a sintonia não seja atingida.

Dando sequência nos testes, com a bobina em 4 voltas e variando o *Trimmer*, observou-se uma faixa de rádio tocando uma música nítida, porém não foi possível observar qual canal se tratava.

Após inúmeros testes sintonizando os canais de rádio FM, sabendo da dificuldade que é encontrar a frequência da potadora sem um equipamento de medição como um osciloscópio, foi possível encontrá-la por meio da divulgação dos próprios locutores da rádio. Com isto, foi possível identificar que a rádio sintonizada era a 106 FM (106,7 MHz), sinal transmitido da cidade de Itajaí, Santa Catarina, e recepcionado na cidade vizinha, Navegantes. Também foi feita a gravação da rádio no momento dos testes para registro.

Entretanto, visando aprimorar o projeto, foi visto a necessidade de elevar o ganho do sinal, uma vez que o sinal obtido na saída do equipamento (na entrada do altofalante) era de baixa amplitude e afetado facilmente por ruídos sonoros (chiassos), prejudicando a qualidade do áudio. Desta forma, analisou-se duas possibilidades de melhorias [6].

Primeiro, foi realizada a troca do altofalante para um conjunto de 2 (dois) altofalantes ( $2 \times 4\Omega$ ) conectados em série, com uma caixa acústica. Esta caixa acústica tem como finalidade impedir que se misturem as ondas sonoras dianteiras e traseiras emitidas pelos alto-falantes, o que causa interferência destrutiva e anula o som. No entanto, também é usada para melhorar a acústica da reprodução sonora, tanto em resposta em frequência quanto em tempo de resposta.

Por segundo, foi realizada a troca do potenciômetro P2 (trimpot), responsável pelo ganho do BC 547, o qual teria equivalência de  $10 \text{ k}\Omega$ . Este foi substituído por um potenciômetro de  $50 \text{ k}\Omega$ , elevando consideravelmente o ganho do sistema.

Com as devidas alterações, já foi possível obter um resultado agradável, sabendo das dificuldades de um projeto envolvendo a confecção de um hardware. A sintonização com os canais é feita minuciosamente através do capacitor variável, sendo bem difícil para o operador realizar o procedimento, pois qualquer chave magnética já afeta no circuito ressonante LC. Através de algumas tentativas, é possível navegar por diversas faixas de frequência e obter um sinal audível.

#### B. Familiarização do circuito através de simulação

Para entender melhor o funcionamento do circuito, vale ressaltar a diferença entre um sinal AM para o FM. Enquanto o primeiro possui modulação em ângulo, o segundo possui em frequência, ou seja, podem variar a frequência instantânea



Figura 11. Soldering of components, top view



Figura 12. Variable capacitor 4pF-20pF (trimmer)

proporcionalmente ao sinal modulante.

O processo de modulação ocorre quando um tom, como por exemplo:

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) = 2,5 \cos(2\pi \times 5140t) \quad (1)$$

é submetido à uma onda portadora, como por exemplo:

$$A_c \cos(2\pi f_c t) = 1,44 \cos(2\pi \times 153600t) \quad (2)$$

com variações crescentes linearmente no tempo. O sinal FM resultante será

$$S_{FM} = 1,44 \cos(2\pi \times 5140t + 9 \sin(2\pi \times 5140t)) \quad (3)$$

Este sinal possui um desvio em frequência, ou seja, o quanto a frequência instantânea desvia da frequência portadora, além do desvio de fase (também chamado de índice de modulação FM), utilizado para indicar quanto de banda base está sendo utilizado na modulação.

Como a banda, de acordo com a regra de Carson [7], é o somatório do dobro da frequência do tom com o dobro do desvio de frequência, pode-se encontrá-la através da equação:

$$Banda = 2\Delta f + 2fm \quad (4)$$

Desta forma, é possível calcular o desvio de fase " $\beta$ ", utilizando:



Figura 13. Bobina fabricada manualmente (indutor)



Figura 14. Fonte chaveada 6V - 1A

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (5)$$

Assim, se o desvio de fase for menor que 1, é dito um sinal de modulação de banda estreita (NBFM), caso contrário, é um sinal de modulação de banda larga (WBFM).

O circuito foi simulado no software LTSPICE, ignorando a etapa de amplificação do sinal, apenas considerando a demodulação do sinal com modulação FM. Mostrado na Figura 21, realizou-se algumas adaptações como por exemplo os transistores, pois os descritos no projeto não estão disponíveis no software, entretanto, foram escolhidos componentes com requisitos equivalentes ou similares aos originais de projeto. Além disso, não foi possível utilizar capacitores e resistores variáveis (potenciômetros), fatores que dificultaram o ajuste do ponto de operação do circuito.

Inicialmente, a componente SFFM foi parametrizada com os valores de frequência da portadora considerando a rádio BAND FM de Itajaí, para utilizar valores comerciais. Portanto, a frequência da portadora foi definida em 92,8MHz e a frequência do sinal em 15kHz, tom de voz audível pelo ser humano, equivalente à um tom agudo de música, por exemplo.

Desta forma, e utilizando os conceitos explanados acima, basta calcular o índice de modulação utilizando a onda portadora e a frequência do tom, com isso, o índice de modulação calculado foi de:

$$\text{beta} = \frac{\Delta f}{f_m} = 5 \quad (6)$$

### C. Simulação

A simulação não ocorreu de maneira esperada, possivelmente pelo ajuste do potenciômetro e do capacitor variável. Isto será corrigido através da montagem prática ou tentativa e erro que serão realizadas. Após diversas tentativas sem sucesso, os alunos então resolveram separar a simulação em partes, primeiramente sem o sinal SFFM e depois com a inserção deste.

Para a segunda fase de testes, os autores tiveram que modificar os componentes do circuito a fim de verificar o funcionamento via computação gráfica, por mais que este não represente mais o circuito físico montado.

Para definir os novos valores de capacitâncias, resistências e indutâncias, é necessário entender o funcionamento do circuito. A base do circuito é um detector super regenerativo com os componentes R5, R6, R7, C12, C11, C1, L1 e L12. O capacitor C11 e o indutor L2 em paralelo funcionam como um circuito que possui troca de energia entre o indutor e capacitor, que oscilam justamente na frequência de ressonância dada pela fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

Entretanto este fenômeno é finito e sem presença do transistor Q1 amplificando o sinal, o processo seria interrompido [8].



Figura 15. Altofalante 8Ω - 10W



Figura 16. Antena telescópica dupla

Por isso é de extrema importância a polarização do transistor Q1, uma vez que este deve estar polarizado de tal forma que o circuito fique a ponto de oscilar. A oscilação deve ocorrer apenas com a presença do sinal de áudio captado pela antena [8].

Com a amplitude do sinal SFFM em 0V, o valor da frequência da portadora foi alterada para 290MHz, o índice de modulação alterado para 10, a frequência do sinal para 10kHz, o valor da capacitância C11 substituída por 2pF e a indutância L2 para 50nH, assim, a nova frequencia de ressonancia se tornou 503,3MHz.

Agora o intuito dos autores é ajustar o resistor R7 para que o ramo super regenerativo fique a ponto de oscilar, para que assim que o sinal SFFM entre no emissor do transistor, ocorra a oscilação e o processo de demodulação ocorra. Com o valor do resistor R7 em 17kΩ, os valores típicos apresentados são [8]:

Tabela I  
VALORES TÍPICOS DE MEDIÇÃO

Resistência (R7) [kΩ]	17
Tensão de operação Q1 [V]	2,78
Amplitude emissor Q1 [V]	0,37
Tensão SFFM [V]	0
Frequência de oscilação [MHz]	502,86

Após uma longa análise, foi percebido que a resistência de 17kΩ foi a mais próxima da oscilação do circuito, o que representa um comportamento ideal para o circuito, ou seja, a ponto de oscilar. Entretanto, após aplicar uma amplitude de 1V no sinal de áudio SFFM, o circuito não se comportou de maneira esperada.

Em nenhum momento pode-se observar um sinal cíclico no coletor do transistor Q2 na frequência de 10kHz. Isto era esperado pois neste ponto o sinal demodulado, mesmo que não amplificado, apareceria.

Diversas formas diferentes foram tratadas para fazer o circuito funcionar corretamente, dentre elas: alterar o circuito LC super regenerativo, alterar a polarização do transistor Q1, com o auxílio dos potenciômetros, além de variar a amplitude do sinal SFFM.

Em todos os casos não foi obtido sucesso, os autores tiveram bastante dificuldades quanto a processamento de máquina para simulação, além de restrições de componentes do software, falta de equipamentos para mensurar e comparar o projeto prático

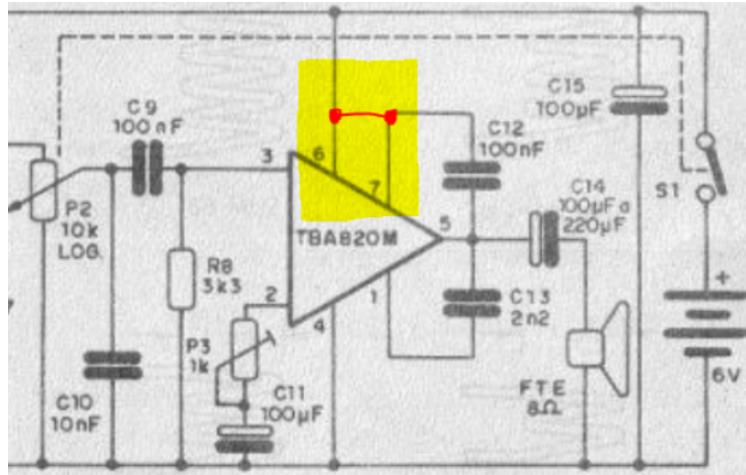


Figura 17. Ajuste no circuito TBA 820M [1]



Figura 18. Protótipo receptor

com o simulado.

#### REFERÊNCIAS

- [1] N. BRAGA, *RÁDIO RECEPTOR DE FM E VHF: Curso Prático de Eletrônica 1ª e 2ª Lição*. Eletrônica Total, 1990.
- [2] M. BASTOS. (2018, Apr.) Receptor caseiro de fm e vhf. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?list=UU5OVZw4frA2ucJAD4FIvI3w&time\\_continue=10&v=99pzfzfdIo](https://www.youtube.com/watch?list=UU5OVZw4frA2ucJAD4FIvI3w&time_continue=10&v=99pzfzfdIo)
- [3] N. BRAGA. (2020, Apr.) Radio vhf e fm transistorizado (art1806). [Online]. Available: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/telecom/16412-radio-vhf-e-fm-transistorizado-art1806>
- [4] J. AIRTON. (2018, Apr.) Rádio receptor de fm e vhf. [Online]. Available: <http://receptordevhf.blogspot.com/>
- [5] STMicroelectronics. (2003, Aug.) Tba 820m. [Online]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/499899/STMicroelectronics/TBA820M/1>
- [6] N. BRAGA. (2020, Aug.) Solda fria (duv342). [Online]. Available: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/duvidas-dos-internautas/6135-duv342.html#:~:text=Solda%20fria%20%C3%A9%20quando%20a,iss%C3%A3o%20ocorre%C3%A7%C3%A3o%20falhas%20de%20funcionamento>
- [7] B. P. LATHI and Z. Ding, "Sistemas de comunicações analógicos e digitais modernos," *LTC, Rio de Janeiro*, 2012.
- [8] N. BRAGA. (Aug.) Receptorvhf/fm. [Online]. Available: <https://www.newtoncbraga.com.br/arquivos/mem0048.pdf>



Figura 19. Protótipo receptor (PCB)



Figura 20. Trimmer para sintonizar o canal do rádio

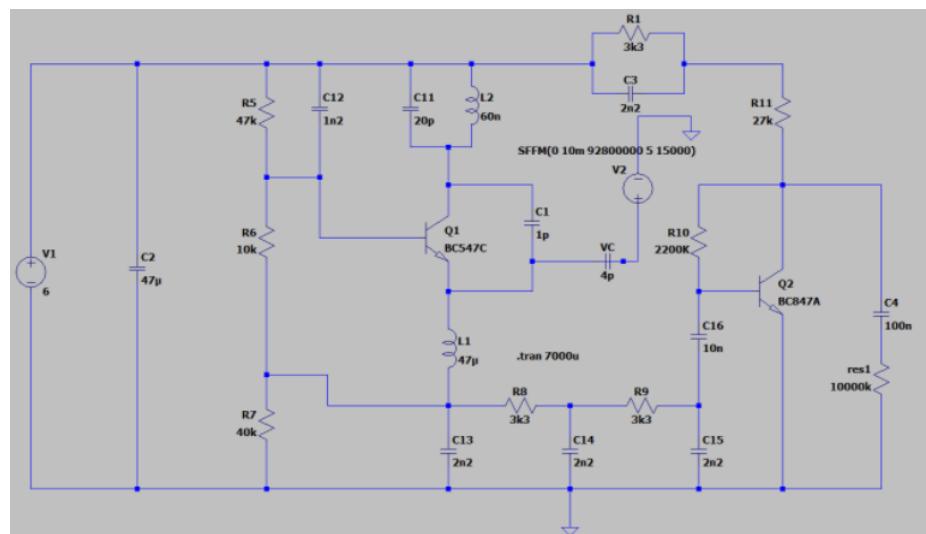


Figura 21. Circuito no LTSPICE

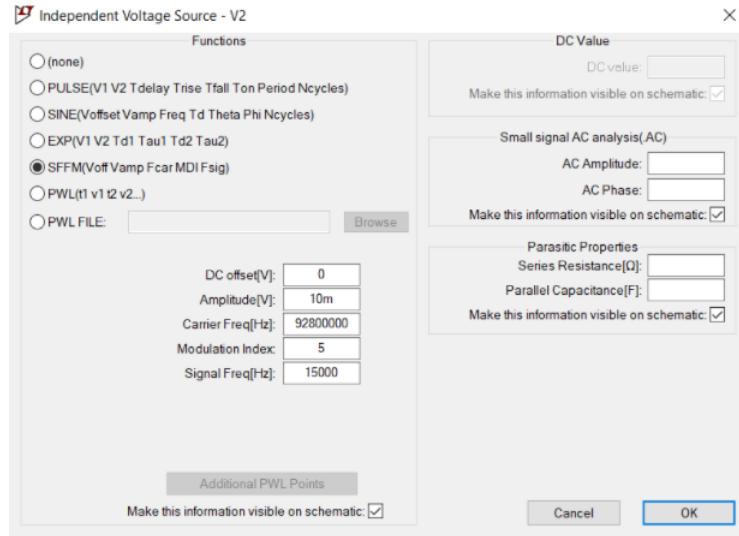


Figura 22. Configuração SFFM

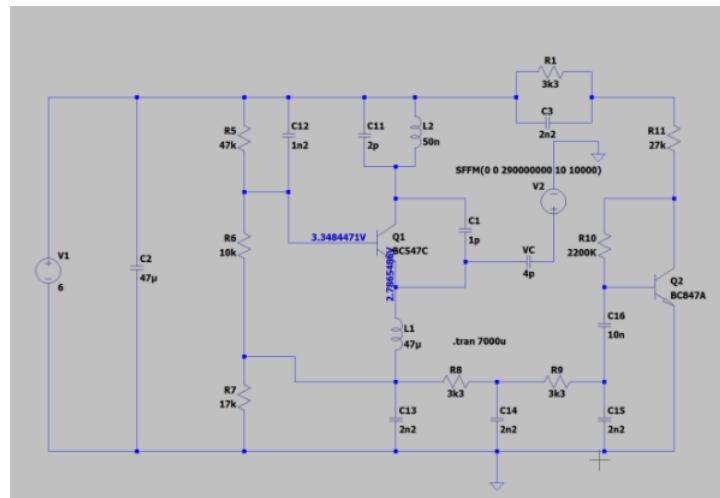


Figura 23. Circuito modificado

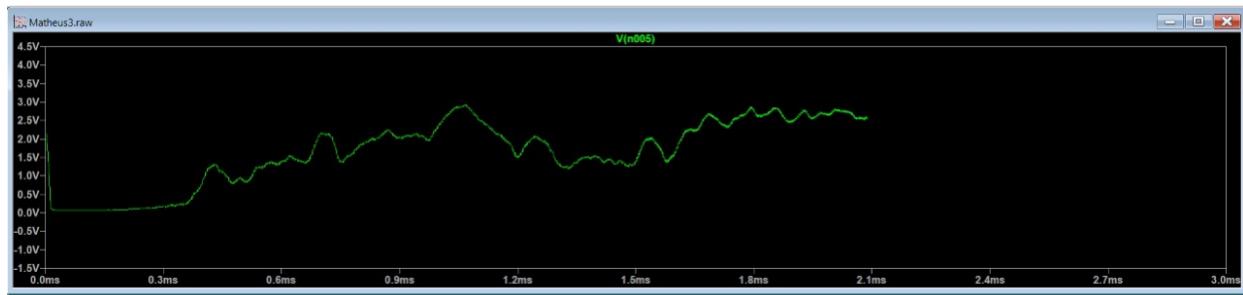


Figura 24. Tensão no coletor do transistor Q2