



AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS

AMPLIFIERS FOR HEARING AID

AMPLIFICADORES PARA AUDÍFONOS

Mônica Alves Alexandre¹, Danilo Carlos Rosseto Minhoni², Fabiana Florian³

e3122303

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i12.2303>

PUBLICADO: 12/2022

RESUMO

A deficiência auditiva é um empecilho no meio de comunicação de muitas pessoas. O tratamento mais indicado, na maioria dos casos, é o uso dos aparelhos de amplificação sonora. Os aparelhos auditivos consistem basicamente em um circuito que capta o som externo e amplifica o sinal para dentro do ouvido do paciente. No Brasil, ainda existe muita dificuldade em adquirir o aparelho, principalmente pelo seu custo elevado. O presente trabalho propõe-se a investigar alternativas mais simples para o circuito do amplificador, de modo a facilitar o acesso ao tratamento em casos de perdas leves e moderadas. Os circuitos escolhidos foram analisados através de simulações, tanto no domínio do tempo como no domínio da frequência, de acordo com seu desempenho de amplificação para sinais na faixa de áudio. Após as simulações, tornou-se explícito quais ajustes necessários devem ser feitos para a melhoria desses circuitos, para que assim, possam ser utilizados como um amplificador sonoro. Apesar de ambos os amplificadores analisados mostrarem alguma inadequação para utilização como tratamento da doença, um dos circuitos mostrou um desempenho que atende muito melhor ao que se deseja nesta aplicação, com ganho suficiente para correção de perdas leves praticamente constante em boa parte da faixa de frequência sonora, enquanto o outro não performou conforme esperado. Ainda que sejam necessários alguns ajustes, o primeiro circuito mostrou-se promissor para a aplicação em casos de perdas leves, e pode ser mais bem desenvolvido para também atender a casos moderados.

PALAVRAS-CHAVE: Amplificador Sonoro. Aparelho auditivo. Deficiência auditiva. Frequência Sonora. Tratamento.

ABSTRACT

Hearing impairment is an obstacle to communication for many people. The most indicated treatment in most cases is the use of sound amplification devices. Hearing aids basically consist of a circuit that captures external sound and amplifies the signal into the patient's ear. In Brazil, there is still a lot of difficulty in acquiring the device, mainly because of its high cost. The present work proposes to investigate simpler alternatives for the amplifier circuit, in order to facilitate access to treatment in cases of mild and moderate losses. The chosen circuits were analyzed through simulations, both in the time and frequency domain, according to their amplification performance for signals in the audio range. After the simulations it became explicit which adjustments needed to be made for the improvement of these circuits, so that it can be used as an audio amplifier. Although both amplifiers analyzed showed some inadequacy for use as a disease treatment, one of the circuits showed a performance that meets much better what is desired in this application, with sufficient gain for correction of light losses practically constant in much of the sound frequency range, while the other did not perform as expected. Although some adjustments are needed, the first circuit showed promise for application in cases of mild losses and can be further developed to also serve moderate cases.

KEYWORDS: Hearing impairment. Treatment. Hearing aid. Sound amplifier. Sound frequency.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP

² Orientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

³ Coorientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

RESUMEN

La discapacidad auditiva es un obstáculo para la comunicación de muchas personas. El tratamiento más adecuado en la mayoría de los casos es el uso de dispositivos de amplificación de sonido. Los audífonos consisten básicamente en un circuito que capta el sonido externo y amplifica la señal en el oído del paciente. En Brasil, todavía hay mucha dificultad para adquirir el dispositivo, principalmente debido a su elevado coste. El presente trabajo propone investigar alternativas más sencillas para el circuito amplificador, con el fin de facilitar el acceso al tratamiento en casos de pérdidas leves y moderadas. Los circuitos elegidos se analizaron mediante simulaciones, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, en función de su rendimiento de amplificación para señales en el rango de audio. Después de las simulaciones se hizo explícito qué ajustes necesarios deben hacerse para la mejora de estos circuitos, para que pueda ser utilizado como un amplificador de sonido. Aunque los dos amplificadores analizados mostraron cierta inadecuación para su uso como tratamiento de la enfermedad, uno de los circuitos mostró un rendimiento que responde mucho mejor a lo que se desea en esta aplicación, con una ganancia suficiente para corregir las ligeras pérdidas prácticamente constantes en gran parte del rango de frecuencias del sonido, mientras que el otro no tuvo el rendimiento esperado. Aunque son necesarios algunos ajustes, el primer circuito resultaba prometedor para su aplicación en casos de pérdidas leves, y puede seguir desarrollándose para servir también en casos moderados.

PALABRAS CLAVE: Amplificador de sonido. Audífono. Discapacidad auditiva. Frecuencia de sonido. Tratamiento.

1 INTRODUÇÃO

Os cinco sentidos humanos são primordiais para a interação com o ambiente, dentre estes os mais importantes para a comunicação são visão e audição. A audição é excepcionalmente o sentido que permite o desenvolvimento da fala, habilidade essencial para a convivência em sociedade. A falha na audição gera a deficiência auditiva que afeta os portadores, tanto psicologicamente quanto socialmente, uma vez que essas pessoas tendem a ter uma maior dificuldade de se integrar à sociedade. Segundo Gandra (2019), cerca de 10,7 milhões de brasileiros apresentam deficiência auditiva, destas apenas 37% estão no mercado de trabalho, e 20% dos idosos com deficiência auditiva não conseguem sair sozinhos.

O tratamento mais recomendado pelos fonoaudiólogos é o uso das próteses, uma vez que os casos operatórios são raros. Estes aparelhos são pequenos dispositivos que ficam em contato com o canal auditivo externo, amplificando as ondas sonoras que chegam em seu microfone para dentro do ouvido. Cada paciente possui seu próprio diagnóstico, e, portanto, a equalização de ganho do aparelho deve ser individual.

Apesar de todo o avanço da tecnologia, as próteses auditivas ainda possuem algumas falhas como por exemplo, ruídos muito altos, devido às interferências, causando desconforto ao paciente.

Além disso, as baterias que geralmente são utilizadas por estes aparelhos descarregam com rapidez, possuem um custo elevado e não são recarregáveis. Por estes motivos, geram alta quantidade de lixo eletrônico, contribuindo para a poluição e impactos ambientais, uma vez que são constituídas por materiais tóxicos que podem até mesmo causar graves doenças.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

Segundo Gandra (2019), 87% das pessoas com deficiência auditiva não utilizam aparelho auditivo. Dentre os fatores que podem estar contribuindo para este número, além do desconforto, é o alto custo do tratamento, fator limitante para muitos brasileiros.

Fez-se um levantamento dos preços de cada aparelho no interior do estado de São Paulo, e os valores estão entre R\$4.500,00 e R\$20.000,00 (foram feitas cotações de aparelhos das marcas Argosy e Oticon). Segundo Machado (2022), o salário-mínimo no Brasil é de R\$1.212,00. Dessa forma, uma pessoa que ganhe um salário-mínimo e precise do tratamento para os dois ouvidos precisaria desembolsar o equivalente a mais de 7 meses de trabalho somente para a compra dos aparelhos.

O objetivo deste trabalho é comparar circuitos de amplificação para utilização em um aparelho auditivo simples, isto é, cujo circuito seja fácil de se montar, dessa forma, ampliando o acesso de deficientes ao tratamento da doença. Propõe-se como casos a serem tratados, pacientes de perdas leves e moderadas, o que já engloba uma parte significativa dos pacientes.

O projeto foi desenvolvido através da simulação dos circuitos, analisando e comparando os seus desempenhos, tanto com relação à resposta temporal, quanto à de frequências, tendo como referência a faixa de áudio (20 Hz a 20 kHz). Almeja-se determinar um circuito cujo ganho seja razoavelmente constante neste intervalo, e que consiga compensar a deficiência de um paciente com perdas leves ou moderadas, isto é, pelo menos 60 dB de ganho entre o sinal de entrada e o de saída.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA AUDITIVO HUMANO

O sistema auditivo humano é composto por três partes, ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. (SILVA, s.d.)

O externo é constituído pelo pavilhão auricular, canal auditivo e tímpano e sua função é a captação e condução do som. A cavidade timpânica, os pares de ossículos auditivos e os músculos dos ossículos formam o ouvido médio que serve para transformar uma onda sonora de uma amplitude elevada em uma vibração de baixa amplitude transmitindo-a no ouvido interno. O ouvido interno que recebe o nome de cóclea possui milhares de células sensoriais que estão conectadas ao sistema auditivo central (Figura 1). (SILVA, s.d.)

Anatomia da Orelha

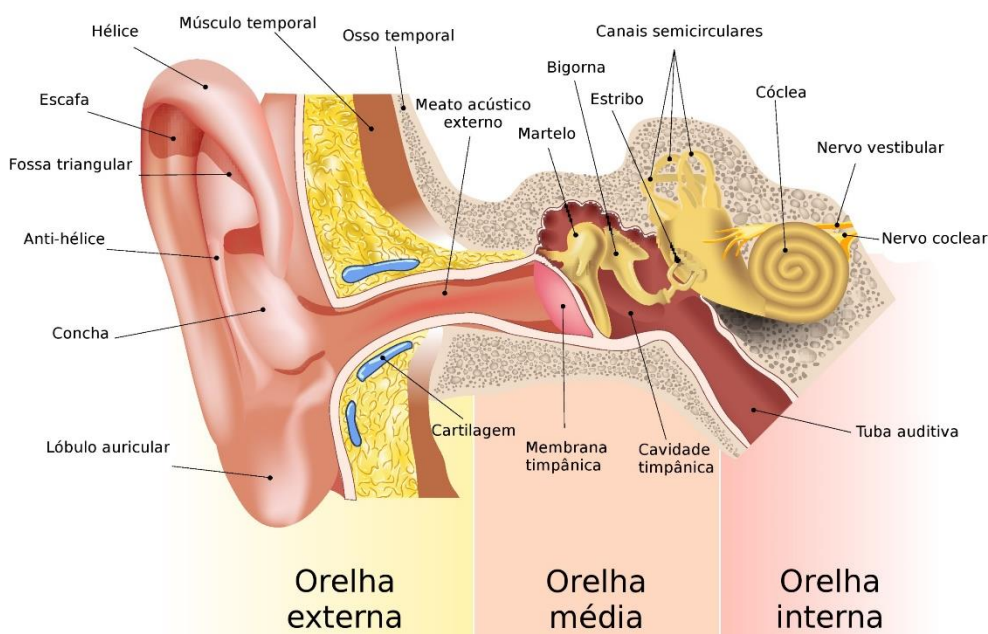


Figura 1 - Anatomia da orelha (anteriormente chamado de Ouvido).
 Fonte: SILVA (s.d.)

O som chega aos ouvidos por ondas sonoras que chegam através do ar e fazem com que os tímpanos vibrem detectando desde o menor ao mais alto som. Estas vibrações movem os ossículos no ouvido médio enviando as vibrações sonoras a cóclea localizada no ouvido interno. (SILVA, s.d.)

Os estímulos atingem a membrana do tímpano e produzem uma vibração ao longo do aparelho auditivo até atingir o espiral (Corti).

Neste órgão de Corti (Figura 2) a energia mecânica é transformada em energia elétrica. Nela pode-se observar as estruturas responsáveis por transdução (células ciliadas internas, células ciliadas externas, células de sustentação etc.) (SILVA, s.d.).

Os estímulos captados por essa estrutura são transformados em impulsos nervosos e conduzidos ao córtex cerebral onde são interpretados pelo cérebro.

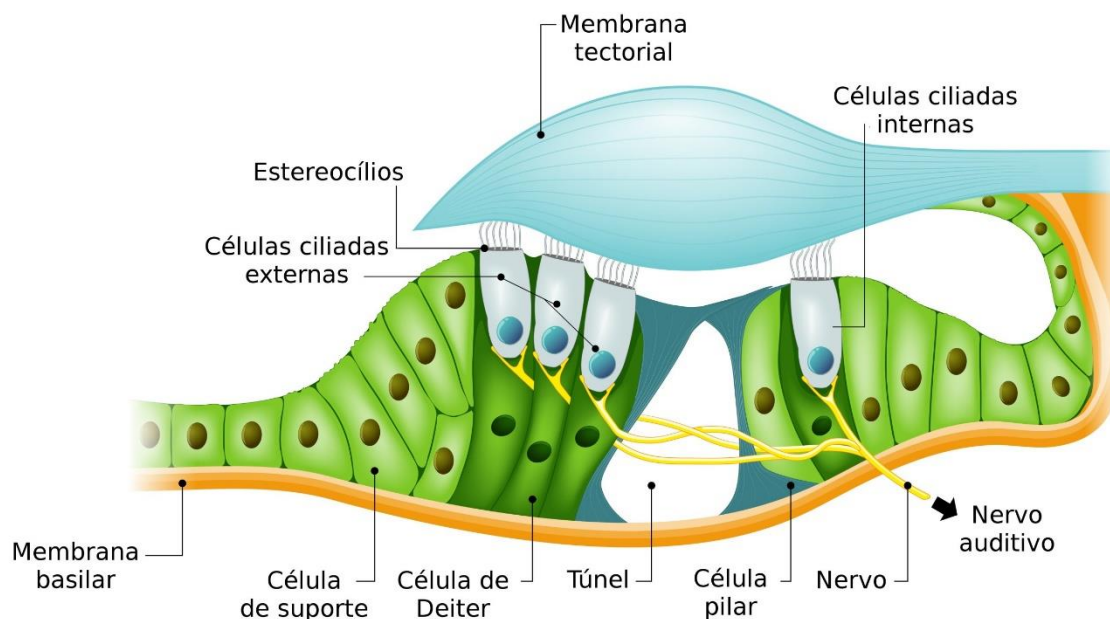


Figura 2 - Órgão de Corti (órgão espiral).
Fonte: SILVA (s.d.)

2.2 DEFICIÊNCIA AUDITIVA

Dependendo do local em que se encontra a lesão, algumas das perdas auditivas são classificadas em diferentes grupos: condutiva, neurossensorial, central e mista (LOPES FILHO, 1997).

As condutivas são as ondas sonoras que não alcançam a orelha interna, por problemas na orelha externa ou média, o que resulta em redução da acuidade auditiva. A perda neurossensorial é quando as células ciliares estão danificadas ou reduzidas, assim não estimulam as células ganglionares espirais do nervo auditivo. Na central os pacientes não conseguem compreender as falas, e quanto mais complexa a mensagem, maior a dificuldade de compreensão. E a mista é uma perda que combina as características condutivas e sensoriais (LOPES FILHO, 1997).

As causas da deficiência auditiva podem ocorrer por questões genéticas, doenças metabólicas, ototóxicas, traumas acústicos, excesso de ruído, neoplasia diversas, infecções e danos vasculares. Geralmente as perdas acontecem após os 18 anos, mas é devidamente percebido por volta dos 60 anos, quando a dificuldade em compreender os diálogos se torna comum, por isso, os idosos são o grupo com maior número de diagnósticos (SOUZA, 2009).

As intensidades das perdas podem ser classificadas como: perda moderada (atenuação de 41 a 60 dB); perda severa (atenuação de 61 a 80 dB); e perda profunda (atenuação menor ou igual a 81 dB) (SOUZA, 2009).

Outro fator importante na classificação da deficiência auditiva é a faixa de frequências em que esta ocorre. Cada paciente possui um perfil de perdas diferentes, sendo necessário realizar o



exame chamado de audiograma que identifica a capacidade de interpretar os sons e as palavras além de auxiliar no tratamento (SOUZA, 2009).

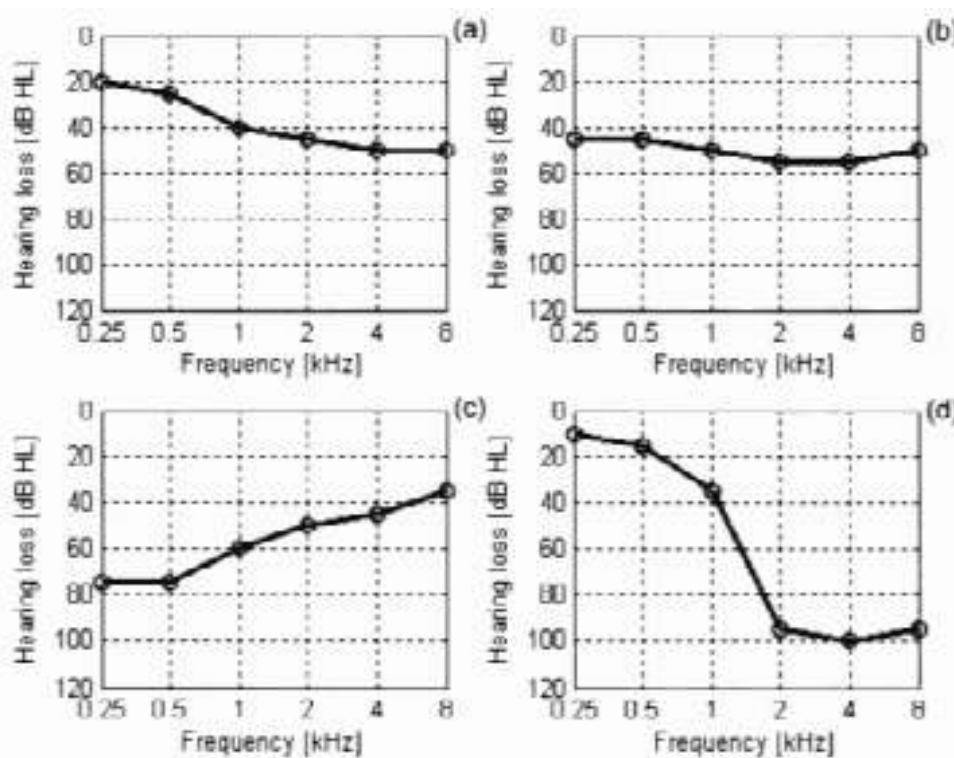


Figura 3 - Diferentes resultados de audiograma
Fonte: SOUZA, 2009

2.3 TIPOS DE APARELHOS AUDITIVOS: ANALÓGICOS E DIGITAIS

Antes da popularização dos sistemas digitais, as soluções adotadas levavam circuitos analógicos, que dentre outras particularidades, são totalmente dependentes dos cálculos de um projetista responsável, não contando com nenhum tipo de programação para personalização do aparelho de acordo com o paciente (SOUZA, 2009).

Com relação aos aparelhos auditivos, há uma necessidade de se ajustar o dispositivo individualmente, para cada paciente, dependendo seu esforço e tempo, assim como o do especialista responsável pelo ajuste. Além disso, a utilização deste tipo de aparelho requeria um reajuste periódico, o que tornava ainda mais incômodo ao usuário (SOUZA, 2009).

Outros fatores também podem ser apontados como negativos para esta classe de dispositivos, como a inconstância na qualidade do som – muitas vezes relatadas por pacientes – e o desconforto causado durante o uso.

Com o avanço tecnológico, o modelo mais recente do mercado são os aparelhos auditivos digitais. Eles possuem um microprocessador DSP que processa o sinal do áudio como filtragens múltiplas do sinal, amplificadores multicanais, controle automático do ganho e diversas melhorias comparado aos analógicos. Os totalmente digitais possuem um menor tamanho, uma vez que toda a parte dos controles mecânicos dos aparelhos analógicos foram retiradas (SOUZA, 2009).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

Os aparelhos digitais são compostos por um microfone eletreto que capta o som que recebe convertendo-o em um sinal elétrico, o amplificador recebe esse sinal elétrico e amplia o som enviando-o ao receptor que converte o sinal elétrico em som, logo é encaminhado ao ouvido e em seguida esses impulsos são enviados para o cérebro. Os AASI proporcionam energia através de uma bateria (SOUZA, 2009).

2.4 AMPLIFICADOR LM386

O LM386 também conhecido como JRC386, é o amplificador utilizado nas simulações dos circuitos deste trabalho. São dispositivos de baixa potência, em faixa de 0,1 a 1W. Esse componente pode ser usado em circuitos de efeitos sonoros, pesquisadores de sinais, intercomunicadores e outros. Algumas das características desse amplificador é a versatilidade, baixo custo, consumo e a qualidade de áudio. Além disso, nos circuitos em que ele é utilizado pode-se alimentar através de baterias ou pilhas da mesma maneira que um aparelho auditivo em geral (TEXAS INSTRUMENTS, s.d.).

Esse amplificador (Figura 4) é composto por 8 pinos: o 1 e 8 são o controle de ganho; 2 é a entrada negativa; 3 é a entrada do sinal para ser amplificado; o pino 4 é o GND (terra) do circuito; pino 6 é a entrada de alimentação para a amplificação; o 5 é a saída e por fim, o 7 é desvio (bypass) que serve para reduzir o ruído da entrada e a distorção de intermodulação. (TEXAS INSTRUMENTS, s.d.)

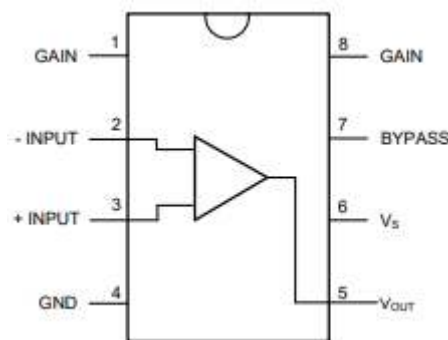


Figura 4 - Pinagem Amplificador LM386
Fonte: TEXAS INSTRUMENTS, 2004.

O ganho fixo desse amplificador é 20 vezes por motivos técnicos, porém, basta inserir um capacitor de 10 μF entre os pinos 1 e 8 e o ganho da saída aumentará em até 200 vezes.

3 DESENVOLVIMENTO

Dois diferentes circuitos de amplificação foram avaliados no presente trabalho. As Figuras 5 (Electro Schematics, s.d.) e 6 (OurPCB, s.d.) trazem os circuitos "1" e "2" - respectivamente - a ser considerados. No primeiro, tem-se como componentes principais amplificadores operacionais, o que



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

gera uma saída diferencial, diferente do segundo circuito, cujos componentes principais são transistores.

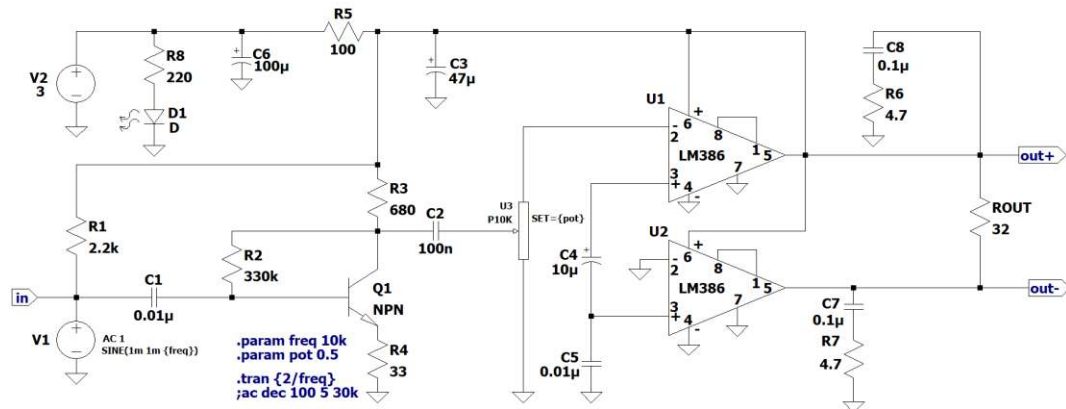


Figura 5 - Circuito eletrônico de amplificador sonoro 1.
Fonte: Elaboração Própria.

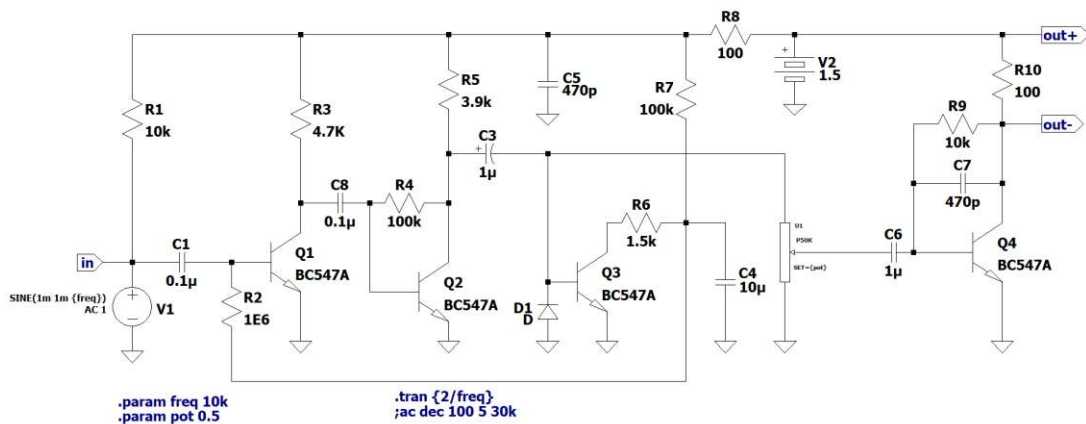


Figura 6 - Circuito eletrônico de amplificador sonoro 2.
Fonte: Elaboração Própria.

Para analisar o desempenho dos amplificadores, utilizou-se ondas senoidais, que devem ser determinadas por suas duas características: amplitude e frequência (considerando que a fase não é um atributo relevante neste caso).

Segundo Fox (s.d.), “Os níveis de microfone estão nominalmente entre 1mV (-60 dBV) e 100mV (-20 dBV)”. Por isso, o valor de amplitude adotado para a análise transiente foi de 1mV. As frequências utilizadas foram de 100Hz, 10kHz e 20kHz, uma vez que a faixa de frequência de um microfone é de 20Hz a 20kHz. Com a simulação dos circuitos nas diferentes frequências



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

mencionadas, calculou-se, em cada caso, os valores de ganho e fase do sinal, que foram reunidos em tabelas.

Com relação ao alto-falante de saída, foi adotada uma impedância de 32Ω . De acordo com Wilson (2022) “A impedância do fone de ouvido é normalmente classificada entre $8-600\Omega$, com um padrão em torno de 32Ω , se tornando cada vez mais comum.”. Os potenciômetros, responsáveis pelo controle de “volume” da saída foram configurados sempre em 50%.

Por fim, realizou-se também a análise de resposta em frequência dos circuitos, a fim de comparar os resultados da análise transiente, e obter um perfil completo da resposta na faixa de frequência de interesse.

A ferramenta de simulação do circuito foi o LTspice, um *software* que simula circuitos eletrônicos, ou seja, um simulador SPICE de alto desempenho, que contém uma interface gráfica de captura dos sinais, sendo assim, através dessas capturas pode-se observar a resposta de frequência, ganho, amplitude.

3.1 ANÁLISE TRANSIENTE (.tran)

A análise transiente apresenta as variações na tensão e na corrente quando um sinal de entrada é aplicado no circuito eletrônico. Para o uso dessa função é necessário selecionar o tipo de onda, a amplitude e a frequência adequada ao circuito que estará em análise, e em seguida adicionar o tempo em que deseja parar essa transação. Portanto, foi aplicado três valores diferentes, sendo eles, 100 Hz, 10kHz e 20kHz, esses valores foram escolhidos devido a faixa de frequência dos microfones serem em torno de 20Hz a 20kHz, procurando não ser tão prejudicial a audição, uma vez que, nem mesmo os aparelhos podem estar com uma frequência elevada (SPICEMAN, 2019).

3.2 ANÁLISE DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (.ac)

Essa função tem como objetivo analisar as características de frequência dos circuitos eletrônicos, tais como ganho e fase, ao longo de toda a faixa de frequências de interesse. Para se utilizar este tipo de simulação, deve-se adicionar a pelo menos uma das fontes – no caso, a fonte de tensão de entrada – um sinal a ser modelado como “pequeno sinal” (SPICEMAN, 2019).

4 RESULTADOS

Conforme explicitado anteriormente, realizou-se a análise de resposta temporal do circuito 1 nas frequências escolhidas, de forma a abranger todo o espectro sonoro. As Figuras 7, 8 e 9 trazem as simulações destes transientes para as frequências de 100 Hz, 10 kHz e 20 kHz, respectivamente.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

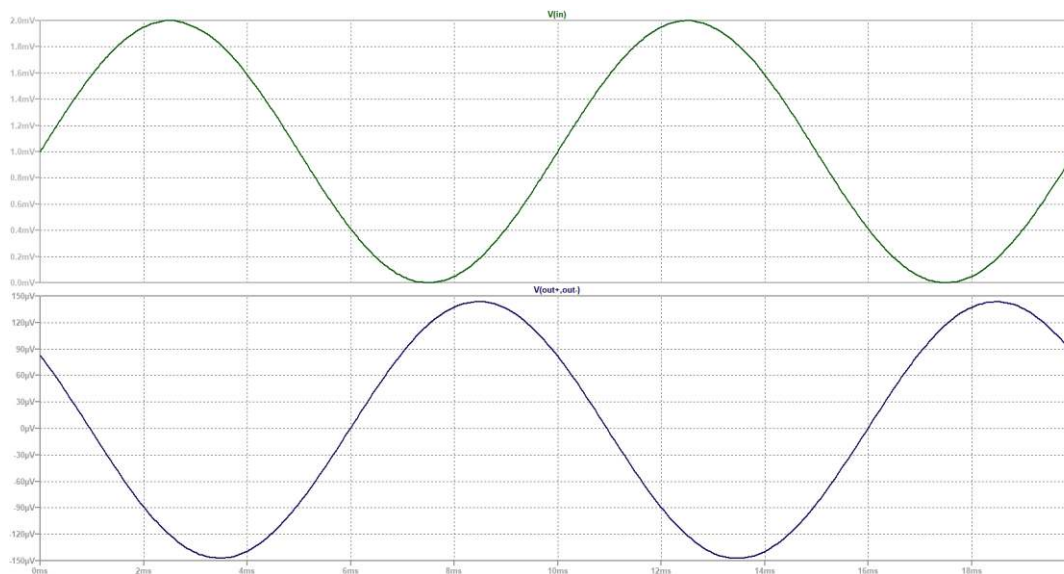


Figura 7 - Análise transiente do circuito 1 com sinal de entrada de frequência 100 Hz.

Fonte: Elaboração Própria.

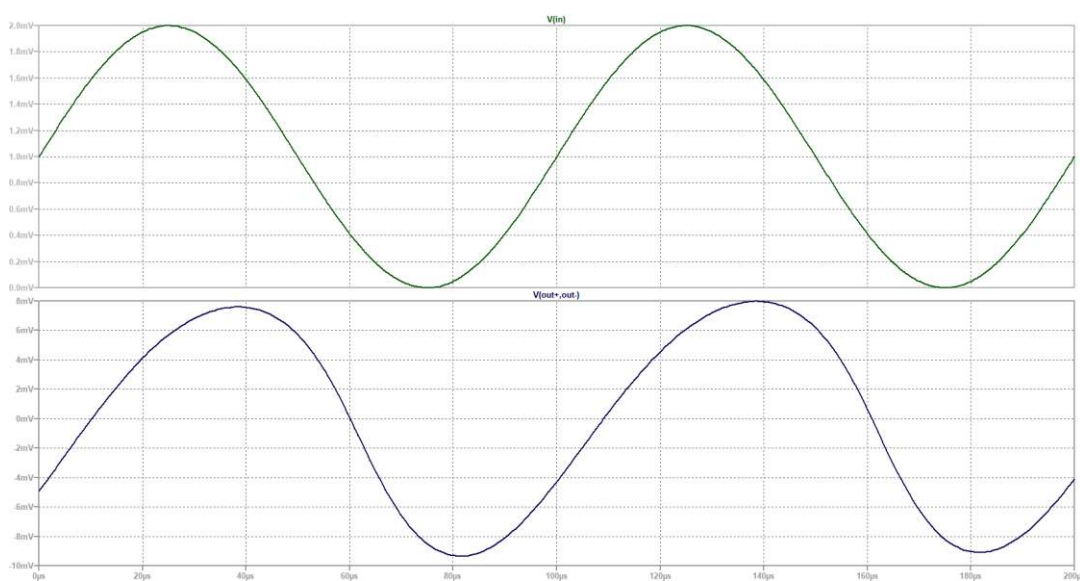


Figura 8 - Análise transiente do circuito 1 com sinal de entrada de frequência 10 kHz.

Fonte: Elaboração Própria.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

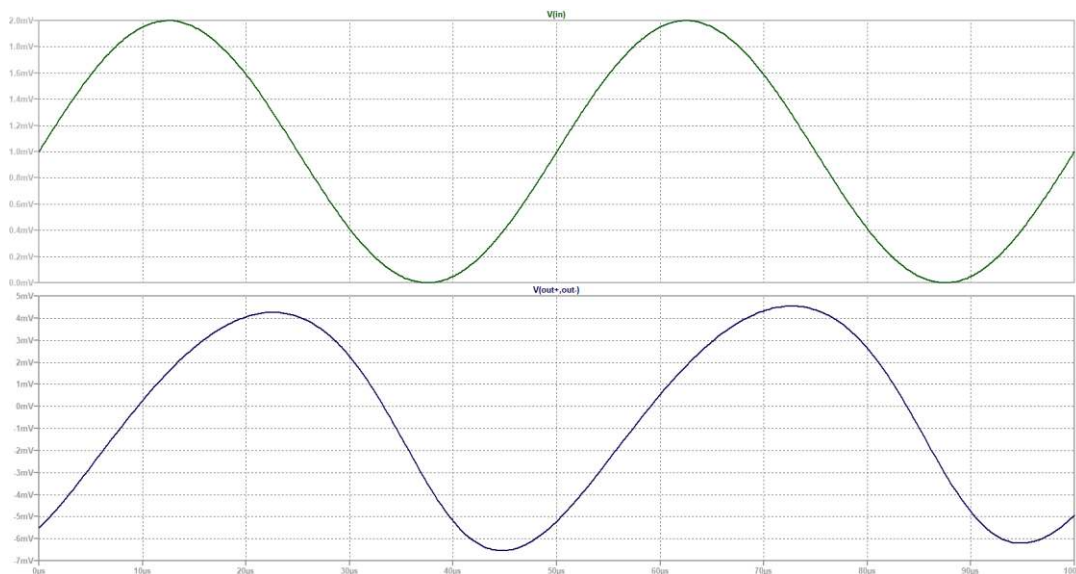


Figura 9 - Análise transiente do circuito 1 com sinal de entrada de frequência 20 kHz.
Fonte: Elaboração Própria.

Um ponto a se destacar, observando as figuras 7, 8 e 9, é que há um certo deslocamento do “zero” da senoide de saída, isso é, o sinal não oscila em torno de 0V, que no caso das frequências de 10 kHz e 20 kHz chega a cerca de -0,95 mV.

Para cada uma das situações mostradas, calculou-se os valores de ganho (em dB) e fase (em graus). Os valores obtidos são exibidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das simulações transiente do circuito 1.

	Ganho (dB)	Fase (°)
100 Hz	-16,84	215,75
10 kHz	18,56	30,08
20 kHz	14,65	54,76

Fonte: Elaboração Própria.

Observando os resultados do sinal de entrada de 100 Hz, é perceptível que o sinal é atenuado, ou seja, o ganho é menor que 0 dB. A fase é próxima a 180°, portanto, ocorre uma inversão de fase, isto é, a saída possui os ciclos invertidos em relação a entrada.

Já nos casos de 10 kHz e 20kHz, a situação é diferente: ambos os ganhos estão acima dos 14 dB, e a fase obtida está próxima dos 30° no caso de 10 kHz, e abaixo de 60° em 20 kHz.

Como no caso de 100 Hz obteve-se um valor elevado de fase, e nas demais o valor foi próximo de 0°, isto pode indicar que houve um cruzamento dos 360° entre os 100 Hz e os 10 kHz, informação que será comprovada analisando a resposta em frequência.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

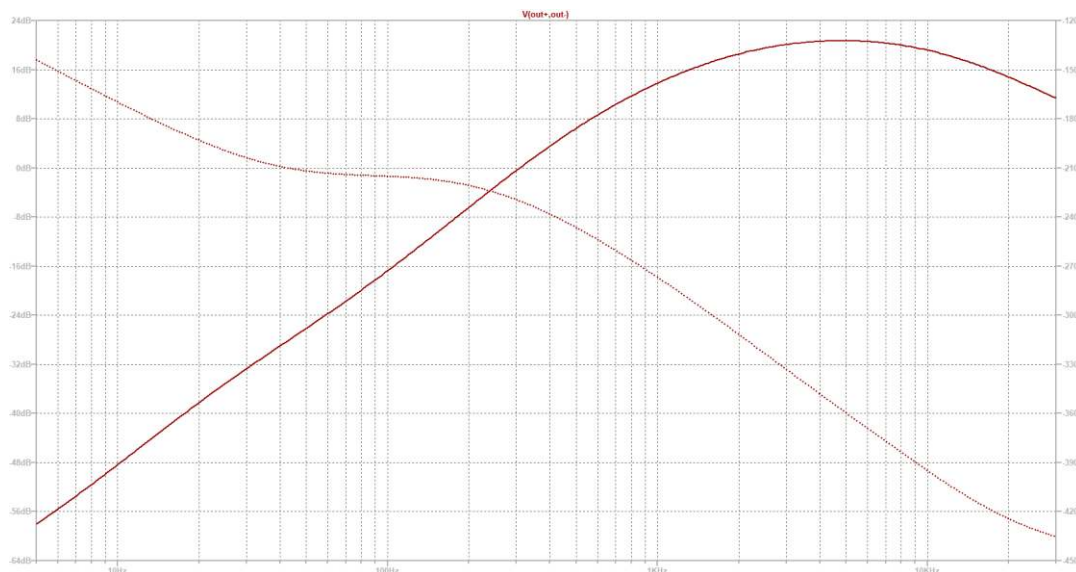


Figura 10 - Resposta de frequência do circuito 1.
Fonte: Elaboração Própria.

Por fim, realizou-se a simulação da resposta em frequência do circuito, resultado observado na Figura 10.

Com relação ao ganho, observa-se uma atenuação do sinal, até próximo de 250 Hz, e então o ganho passa a aumentar, até pouco mais de 7 kHz, e depois volta a ter uma ligeira queda.

Já no que diz respeito à fase, observa-se que, diferente do que é possível calcular a partir da análise transiente (figuras 7, 8 e 9), a fase tende a aumentar em conjunto com o aumento da frequência, ultrapassando os 360° em torno de 5 kHz, e chegando em cerca de 430° em 30 kHz. Esta observação só é possível de ser feita na simulação de resposta em frequência, uma vez que na análise transiente só se consegue identificar diferenças de fase até 360°. A defasagem, portanto, é superior a um ciclo completo do sinal, para frequências acima de 5 kHz.

Da mesma forma, realizou-se a análise de resposta temporal do circuito 2, nas frequências escolhidas. As Figuras 11, 12 e 13 trazem as simulações destes transientes para as frequências de 100 Hz, 10 kHz e 20 kHz, respectivamente.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

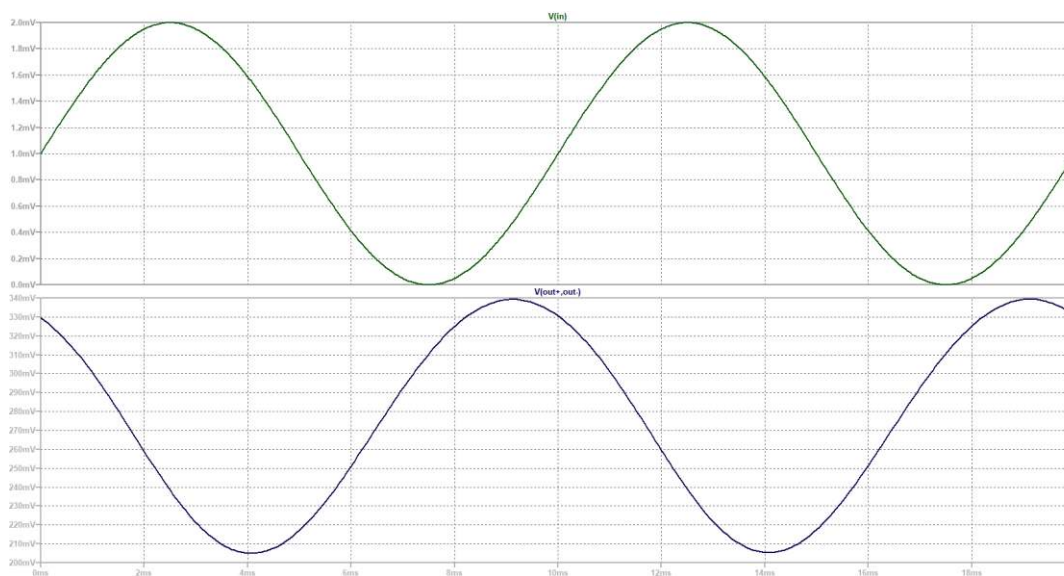


Figura 11 - Análise transiente do circuito 2 com sinal de entrada de frequência 100 Hz.
Fonte: Elaboração Própria.

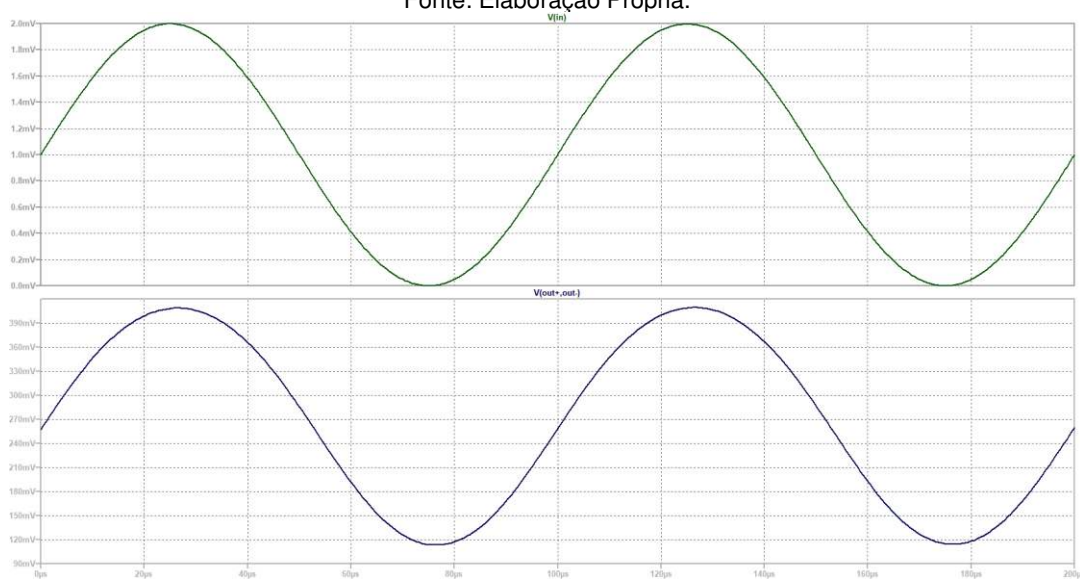


Figura 12 - Análise transiente do circuito 2 com sinal de entrada de frequência 10 kHz.
Fonte: Elaboração Própria.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

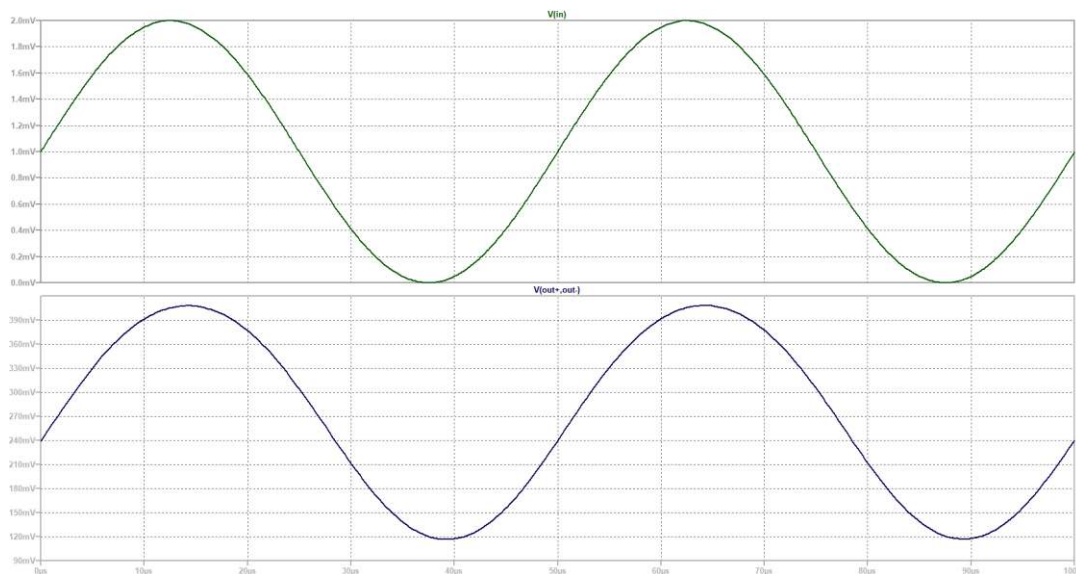


Figura 13 - Análise transiente do circuito 2 com sinal de entrada de frequência 20 kHz.
Fonte: Elaboração Própria.

Diferente do que ocorre no caso anterior, o circuito 2 não tende a produzir uma saída simétrica, isso é, que oscila em torno de 0V, o que se é esperado, uma vez que não se trata de um amplificador diferencial. O desvio em relação ao zero é equivalente à tensão de coletor-emissor de Q4 (V_{CE}).

Da mesma forma como foi feita para o circuito 1, obteve-se a tabela com os ganhos e fases em cada uma das situações, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das simulações transiente do circuito 2.

	Ganho (dB)	Fase (°)
100 Hz	36,56	234,73
10 kHz	43,41	1,37
20 kHz	43,27	8,60

Fonte: Elaboração Própria.

Analisando os resultados do circuito 2, não foi observada atenuação em nenhum dos casos. No sinal de entrada de 100 Hz o ganho é maior que 36 dB e a fase de 240°, já no caso das frequências de 10k Hz e 20k Hz, o ganho foi de cerca de 43 dB, e as fases inferiores a 10°.

Da mesma forma que no circuito anterior, observa-se um possível cruzamento dos 360° entre os 100 Hz e os 10 kHz. Tal fato é analisado através da resposta em frequência, na figura 14.

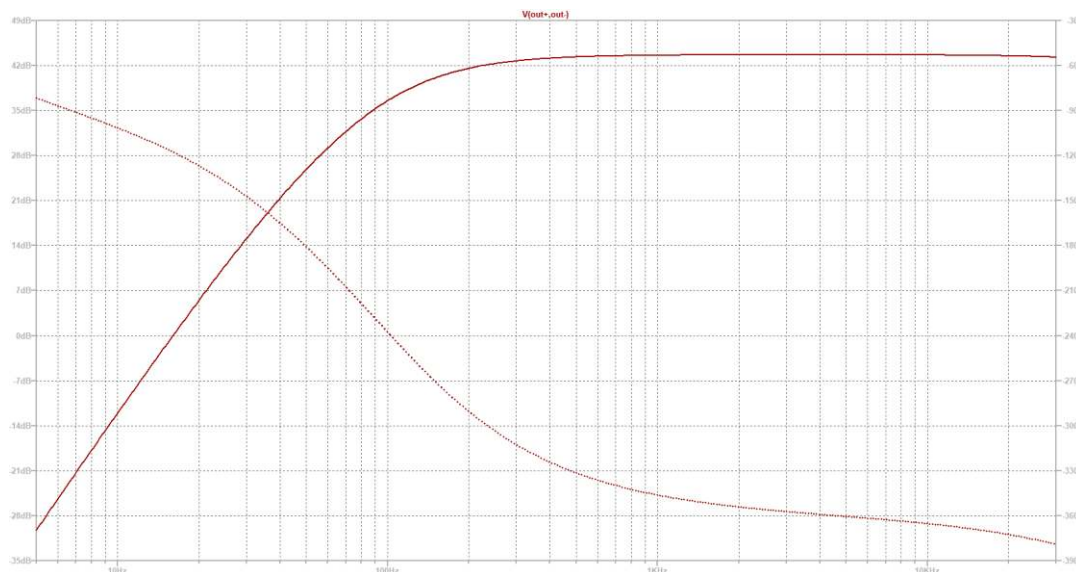


Figura 14 - Resposta de frequência do circuito 2.
 Fonte: Elaboração Própria.

Analisando a resposta em frequência do circuito 2, observa-se um comportamento muito semelhante a um filtro passa-altas – cruzando o ponto de ganho unitário (0 dB) entre 10 Hz e 11 Hz – mas com um ganho próximo a 43 dB.

Com relação à fase, conforme esperado, esta torna-se cada vez maior à medida que a frequência aumenta, e cruzando os 360° em aproximadamente 4 kHz. Por esta razão é que se identificou uma aparente diminuição brusca da fase na análise transiente.

5 CONCLUSÃO

Considerando a faixa de áudio, isto é, 20 Hz a 20k Hz, o circuito 1 não apresentou uma suficiente adequação, principalmente em relação ao ganho, pois até aproximadamente 1k Hz possui ganho muito variável, e até 800 Hz o sinal é atenuado. Acima de 900 Hz o ganho é um pouco mais estável, mas ainda assim varia cerca de 14 dB até 20k Hz.

No circuito 2, observa-se um ganho bastante variável até aproximadamente 200 Hz e acima disso possui um comportamento muito mais estável que o anterior, variando menos que 3 dB até o final da faixa de áudio.

Em relação ao atraso, ambos os circuitos possuem uma fase elevada para toda a faixa de áudio, sendo menor para baixas frequências e aumentando conforme a frequência, inclusive ultrapassando os 360°.

Analisando a faixa de voz de um adulto de aproximadamente 125 Hz a 250 Hz (*NISHIDA et al.*, s.d.), o circuito 1 atenua o sinal, ou seja, está próximo de 0 dB e o circuito 2 está quase estabilizado, variando de 40 dB a 44 dB.

De maneira geral, o circuito 2 demonstrou ser muito mais adequado para amplificação de áudio que o primeiro, com um ganho estável ao longo de grande parte da faixa sonora, inclusive na



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

faixa de voz. Ainda assim, pelos resultados obtidos, tal circuito poderia ser empregado no máximo para casos de perda leve, uma vez que seu ganho se estabiliza em 44 dB.

Como próximos passos deste projeto, para o circuito 1, deve-se ajustar o ganho interno do circuito, de forma a alcançar pelo menos os 60 dB, além de se estudar modificações no circuito que tornem o ganho mais estável ao longo da faixa sonora. Já no circuito 2, bastaria realizar algumas modificações dos componentes que controlam o ganho do circuito, para que este também atinja os 60 dB, e torne-se adequado para casos leves e moderados de perda auditiva, uma vez que este já possui uma relativa estabilidade em grande parte da faixa de áudio.

REFERÊNCIAS

A&R APARELHOS AUDITIVOS. **Frequência sonora**: Entenda o que é e como interfere na audição. [S. l.]: A&R Aparelhos auditivos, [s.d.]. Disponível em: <https://aeraparelhosauditivos.com.br/frequencia-sonora/#:~:text=Som%20aud%C3%ADvel&text=Na%20escala%2C%20ela%20encontra%2Dse,s%C3%A3o%20captadas%20pelo%20nervo%20auditivo>. Acesso em: 14 set. 2022.

ELECTRO SCHEMATICS. **Hearing Aids Circuit**. [S. l.]: Electro Schematics, [s. d.]. Disponível em: <https://www.electroschematics.com/digital-hearing-aids-circuit/>. Acesso em: 01 maio 2022.

FERRAZ, R. *et al.* **Análise da qualidade de um amplificador de áudio associado com divisor de frequência**. Uberlândia, MG: iSOBRAEP Template, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rafael-Ferraz-6/publication/333587358_Analise_da_Qualidade_de_um_Amplificador_de_Audio_Associado_com_Divisor_de_Frequencia/links/5cfe4f4c4585157d15a01814/Analise-da-Qualidade-de-um-Amplificador-de-Audio-Associado-com-Divisor-de-Frequencia.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

FOX, Arthur. **What Is A Microphone Audio Signal, Electrically Speaking?**. [S. l.]: My new microfone, [s.d.]. Disponível em: <https://mynewmicrophone.com/microphone-audio-signal/#:~:text=Microphones%20are%20said%20to%20produce,proximity%20of%20the%20sound%20source>. Acesso em: 22 set. 2022.

GANDRA, A. País tem 10,7 milhões de pessoas com deficiência auditiva, diz estudo: Entre os que têm deficiência auditiva severa, 15% já nasceram surdos. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-10/brasil-tem-107-milhoes-de-deficientes-auditivosdizestudo#:~:text=Publicado%20em%2013%2F10%2F2019,3%20milh%C3%B5es%20t%C3%AAm%20defici%C3%Aancia%20severa>. Acesso em: 12 jun. 2022.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. **Aparelho de surdez**. [S. l.]: Instituto Newton C. Braga, 2010. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1231-art170.html>. Acesso em: 25 set. 2022.

LOPES FILHO, O. Deficiência auditiva. *In*: **Tratado de Fonoaudiologia**. São Paulo: Manole, 1997.

MACHADO, S. Salário-mínimo: saiba o valor em 2022 e previsão para 2023. **Uol**, 2022. Disponível em <https://www.google.com/search?q=como+referenciar+uma+materia+de+um+site&og=como+referenciar+uma+materia+&ags=chrome.0.0i512j69i57i0i22i30i7.6981j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso em: 06 nov. 2022.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

AMPLIFICADORES PARA APARELHOS AUDITIVOS
 Mônica Alves Alexandre, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

NISHIDA, S. M. *et al.* **O corpo humano**. São Paulo: Museu escola do IB, [s.d.]. Disponível em: https://www2.ibb.unesp.br/nadi/Museu2_qualidade/Museu2_corpo_humano/Museu2_como_funciona/Museu_homem_nervoso/Museu2_homem_nervoso_audicao/Museu2_homem_nervoso_audicao_voz.htm. Acesso em: 04 nov. 2022.

OURPCB. **Hearing Aid Circuit: An Easy and Affordable DIY Project**. [S. l.]: OurPCB, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ourpcb.com/hearing-aid-circuit.html>. Acesso em: 01 maio 2022.

PENTEADO S. P.; BENTO, R. F. Project and Development of the Low-Cost Digital Hearing Aid - "Manaus". **Int. Arch. Otorhinolaryngol.**, v. 12, n. 3, p. 347-355, 2008. Disponível em http://www.arquivosdeorl.org.br/additional/acervo_port.asp?id=539. Acesso em: 1 maio 2022.

SILVA M. A., Audição. **InfoEscola**, [s.d.]. Disponível em <https://www.infoescola.com/anatomia-humana/audicao/> Acesso em 12 jun. 2022.

SOUZA M. R. **Estudo sobre aparelhos auditivos digitais**: Princípio dos circuitos essenciais de projeto e visão geral das tecnologias atuais. Orientador: José Carlos Pereira. 2009. 65 f. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-23042010-111946/?&lang=br>. Acesso em 1 maio 2022.

SPICEMAN. **LTspice-AC Analysis**. [S. l.]: Spiceman, 2019. Disponível em: <https://spiceman.net/ltspace-ac-analysis/> Acesso em: 26 set. 2022.

SPICEMAN. **LTSPICE-Transient Analysis**. [S. l.]: Spiceman, 2019. Disponível em: <https://spiceman.net/ltspace-transient-analysis/> Acesso em: 26 set. 2022.

WILSON, Trav. **Headphone Impedance Demystified: Do I Need a Headphone Amp?**. [S. l.]: Headphonesty, 2022. Disponível em: <https://www.headphonesty.com/2019/04/headphone-impedance-demystified/> Acesso em: 25 set. 2022.