

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA**

PROJETO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**TÍTULO:
SUBTÍTULO (SE HOVER)**

Discente: Henrique Alende da Silveira
Orientador: Prof. Arcanjo Lenzi, PhD.

Florianópolis

2013

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 4 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 4 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 4 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRAFICA PRELIMINAR ... | 5 |
| 2.1 | CICLO DE REFRIGERAÇÃO..... | 5 |
| 2.2 | COMPRESSOR ALTERNATIVO | 6 |
| 2.3 | FONTES DE RUÍDO EM REFRIGERADORES | 7 |
| 3 | CONCLUSÃO | 11 |
| | REFERÊNCIAS | 13 |

1 INTRODUÇÃO

Os refrigeradores domésticos estão entre os principais eletrodomésticos das residências brasileiras, presentes atualmente em mais de 93,7% dos domicílios (IBGE, 2012). Tendo em vista a expressividade de produção desse produto, ocorre uma crescente preocupação com a poluição sonora e o controle de ruído associados a esse eletrodoméstico.

A principal função de um refrigerador doméstico é a conservação de alimentos através da manutenção da temperatura de um compartimento termicamente isolado, conhecido como gabinete - que é responsável pelo armazenamento de alimentos e a conservação da temperatura interna.

Em geral, um sistema de refrigeração típico é composto, basicamente, por um compressor, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador mostrados na Figura 1. Esse sistema, por sua vez, remove calor do interior do gabinete e o rejeita ao ambiente externo (HERMES, 2006).

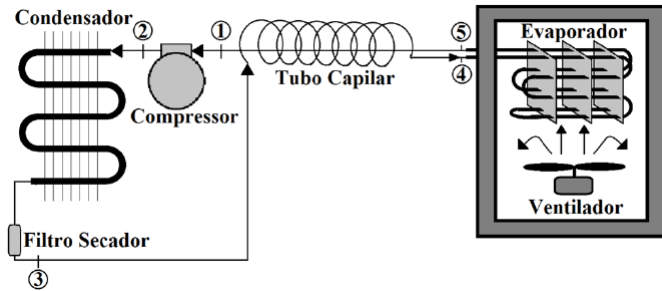


Figura 1 – Esquema de um ciclo frigorífico ideal e de um refrigerador típico (CAETANO, 2013).

Pelo fato do compressor estar acoplado ao gabinete, a excitação ocorre pela transmissão da energia vibracional através da interação com os demais componentes do sistema (*Structure-borne*), e através da interação via fluido-estrutura (*Fluid-borne*). Além disso, o compressor radia energia sonora diretamente ao meio externo (*Airborne*).

Para Moorhouse (2005), pode-se classificar a excitação do compressor para o gabinete da maneira como é radiada a energia sonora. Em um refrigerador doméstico essa transmissão ocorre diretamente

através da carcaça do compressor (*Airborne*), através da vibração da descarga e sucção dos tubos (*Structure-borne*), pela pulsação do gás na descarga e sucção (*Fluid-borne*) e através da vibração da placa base do compressor (*Structure-borne*).

Segundo Jeon, You e Chang (2007) os refrigeradores em um domicílio produzem um nível de potência sonora em torno de 40 dBA, e as principais fontes responsáveis são o compressor e o ventilador. Porém, o nível de pressão sonora não é o único parâmetro que deve ser analisado, visto que quando avalia-se eletrodomésticos operando em ambientes, o conteúdo espectral, as oscilações temporais e o horário de operação do equipamento também são importantes parâmetros a serem considerados no conforto acústico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho será analisar o efeito da pulsação da sucção no compressor, para diferentes tipos de excitação de um refrigerador doméstico.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa dissertação serão apresentados nos itens a seguir:

- Análise do campo acústico interno e da distribuição de pressão do caminho de transmissão entre evaporador e a sucção do compressor.
- Desenvolver um modelo numérico vibroacústico do caminho de transmissão entre o evaporador e a sucção do compressor, com o intuito de simular a excitação pela pulsação e pela vibração do compressor.
- Avaliar a vibração do tubo de sucção e determinar sua radiação sonora direta.
- Desenvolver um modelo numérico vibroacústico para avaliar os modos acústicos presentes nas cavidades de sucção e expansão do compressor.
- Avaliar a vibração do compressor para diferentes velocidades de rotação.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA PRELIMINAR

Nesse capítulo serão abordados as fontes de ruídos presentes em um ciclo de refrigeração de um refrigerador doméstico. A análise é feita tomando como base o compressor excitando o sistema de refrigeração.

2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO

Em um ciclo de refrigeração o sistema mais comum, e presente na maioria dos refrigeradores domésticos, é o ciclo de refrigeração por compressão de vapor. Nesse ciclo é utilizada uma substância pura denominada fluido refrigerante. Os fluidos refrigerantes amplamente empregados na refrigeração doméstica são o HFC-134a e o HC-600a (HENSE, 2015).

O fluido refrigerante deve possuir algumas características específicas, tais como: baixa temperatura de condensação com um valor elevado de calor latente correspondente e, também, de pressões relativamente baixas para passar do estado gasoso ao estado líquido, mesmo que esteja na temperatura ambiente (VENTURINI et al., 2005)

Segundo Hense (2015) a pressão está diretamente relacionada com a temperatura de saturação do fluido em um ciclo de refrigeração a vapor. Como o processo é endotérmico e a evaporação do fluido acontece quando o mesmo se encontra a baixa pressão e temperatura, a evaporação do fluido é a responsável pela absorção do calor no interior do refrigerador. O ciclo de refrigeração a vapor é exibido na Figura 2.

Necessariamente, para ocorrer o ciclo de refrigeração o sistema deve apresentar mecanismos básicos como um compressor, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador. Geralmente, em um sistema típico, utiliza-se ainda um ventilador no evaporador com o objetivo de aumentar a eficiência no processo de absorção do calor.

Como observado na Figura 2(b) o fluido passa pelo estado de vapor superaquecido na descarga do compressor até a entrada do condensador. No condensador ocorre uma diminuição do título do fluido até chegar à condição de líquido sub-resfriado na saída do mesmo. Para a expansão do fluido refrigerante é comumente utilizado um tubo capilar (HENSE, 2015).

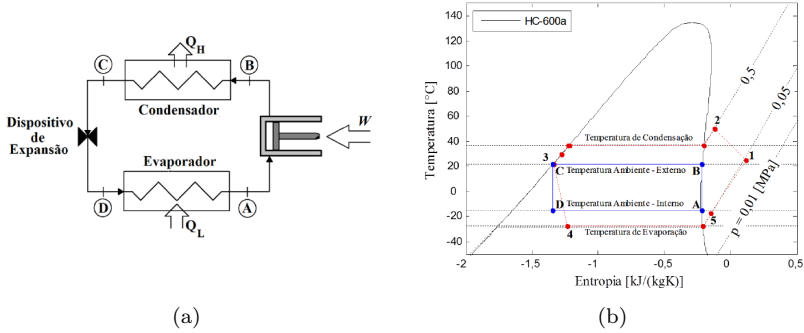


Figura 2 – (a) Ciclo de refrigeração, (b) Estados termodinâmicos do gás em um ciclo completo (CAETANO, 2013).

2.2 COMPRESSOR ALTERNATIVO

O compressor é uma bomba acionada mecanicamente por um motor elétrico, que retira fluido refrigerante do ramo da tubulação que o antecede (Linha de sucção) através da redução de sua pressão, e posteriormente injeta este fluido no ramo da tubulação que o sucede (Linha de descarga), aumentando sua pressão através de um sistema do tipo cilindro, pistão e biela (CARVALHO, 2008). Assim o compressor consegue promover a circulação do fluido refrigerante em um sistema de refrigeração.

Em refrigeradores domésticos são os compressores alternativos, o movimento alternativo é gerado pelo movimento rotativo do motor elétrico, que é convertido em movimento linear através do sistema biela-manivela, conforme a Figura 3. O compressor alternativo é composto essencialmente por um pistão que se move alternadamente dentro de um cilindro e válvulas automáticas para permitir a sucção e a descarga do fluido refrigerante (GOMES, 2006).

Na admissão, o cilindro desloca-se para baixo injetando o fluido refrigerante para dentro da câmara de sucção através da válvula de sucção. Quando o sistema atinge o ponto morto inferior inicia-se o movimento oposto do cilindro, ou seja, ocorre o fechamento imediato da válvula de sucção. Assim a pressão no interior da câmara de expansão aumenta até atingir a pressão da câmara de descarga, de modo que a válvula de descarga é acionada e o gás é liberado em alta pressão para o sistema de refrigeração. O processo acontece até o pistão atingir o

ponto morto superior.

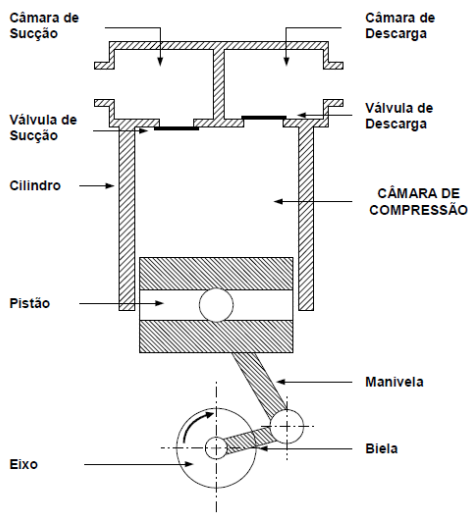


Figura 3 – Compressor alternativo (GOMES, 2006).

2.3 FONTES DE RUÍDO EM REFRIGERADORES

A habilidade do sistema auditivo de receber informações não é determinado apenas pela relação entre o som e o nível de pressão sonora, mas também pela relação entre o estímulo acústico e a sensação auditiva atribuída. (ZWICKER; FASTL, 2013). Portanto, quando se trata de eletrodomésticos, o nível de pressão sonora não é o único parâmetro que deve ser levado em consideração na execução do projeto acústico. O espectro em frequência, a variação da pressão sonora do ruído emitido, o horário de operação, também são parâmetros importantes a serem considerados no conforto acústico proporcionado pelo equipamento.

Segundo Jeon, You e Chang (2007) e Sato, You e Jeon (2007) as principais fontes sonoras em um refrigerador doméstico são o compressor e o ventilador, e o nível de potência sonora global que o eletrodoméstico produz é cerca de 40 dBA, conforme Tabuenca e París (2004), o nível de potência sonora radiado diretamente pela carcaça do compressor é de 36 dBA à 39 dBA em uma faixa de frequência de 2 KHz à 6 kHz, e o ruído via estrutura emitido pelo condensador é de

38 dB à 40 dB em uma faixa de frequência de 125 Hz à 1,5 kHz. O espectro típico da potência sonora radiada por um refrigerador típico é exibido na Figura 4.

Para Vorländer (2007) e Carvalho (2008), pode-se dividir o ruído gerado por um refrigerador de acordo como a energia sonora é radiada. De forma direta, onde a energia sonora é transmitida para o ambiente diretamente (*Airborne*), ou indireta, onde a energia sonora é transmitida através da vibração de elementos estruturais ou fluido dinâmicos para estruturas que possuam superfícies com boa eficiência de radiação (*Structure-borne* ou *Fluid-borne*). De acordo com Moorhouse (2005), definindo o compressor como fonte sonora principal de um refrigerador, pode-se determinar os principais mecanismos de radiação sonora do mesmo.

- Radiação sonora direta da carcaça do compressor;
- Vibração dos tubos de descarga e sucção;
- Pulsação de gás nos tubos de descarga e sucção;
- Vibração da placa base do compressor.

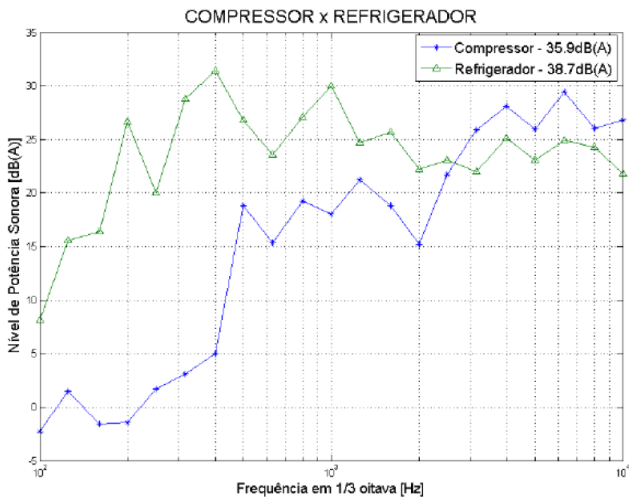


Figura 4 – Nível de potência sonora (NPS) de um refrigerador típico, avaliado em banda de terço de oitava (Fontes: Embraco S/A e Multibrás).

A energia vibratória é gerada no conjunto moto-compressor devido, principalmente, às variações bruscas de pressão no interior do cilindro durante o ciclo de compressão do gás e também em função do impacto causado pelo mecanismo alternativo pistão-biela-manivela (LENZI, 2003).

Por se tratar de um sistema rotativo, pode ocorrer desbalanceamento, de modo que forças de inércias indesejáveis e movimentos laterais de grande intensidade se fazem presente. Além disso, um sistema desbalanceado pode causar folgas, que de acordo com Carmo (2001), causam bruscas e grandes variações de aceleração, provocando, assim, impactos geradores de vibrações no bloco.

O gabinete, por sua vez, torna-se um importante irradiador de energia sonora, conforme mostra a Figura 5. A energia radiada pelo compressor, diretamente e indiretamente, é transmitida para o gabinete. A transmissão indireta ocorre através das conexões estruturais entre o compressor e o gabinete através dos tubos de sucção e descarga e pela placa base.

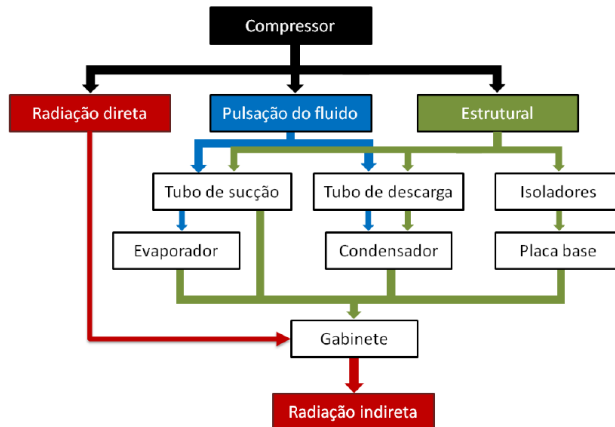


Figura 5 – Caminhos de transmissão entre o compressor e refrigerador (HENSE, 2015).

Cada caminho de transmissão tem alguma contribuição para o ruído total radiado pelo refrigerador, portanto, surge a necessidade de avaliar cada caminho separadamente e determinar suas contribuições. Uma técnica para avaliar caminhos de transmissão de energia é denominada TPA (*Transfer Path Analysis*) Operacional, utilizada nos

trabalhos de Carvalho (2008) e Martinez (2014).

A Figura 6 exibe a contribuição de cada caminho de transmissão no ruído global de um refrigerador típico.

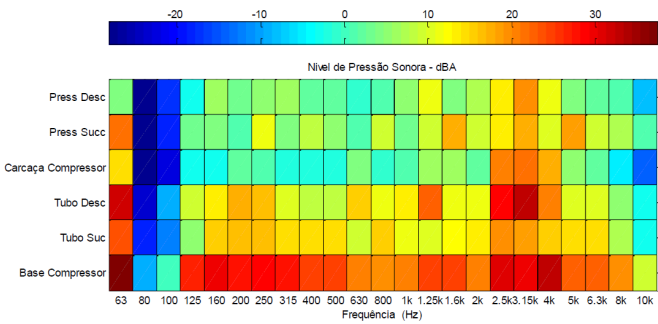


Figura 6 – Contribuições dos caminhos para o ruído radiado pelo refrigerador (MARTINEZ, 2014).

3 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

CAETANO, A. L. G. **Estudo da Propagação do Ruído Gerado pela Expansão de Gás no Evaporador de um Refrigerador Doméstico**. [Dissertação]. UFSC. Florianópolis, 2013.

CARMO, M. G. V. do. **Fluxo de Energia Vibratória do Conjunto Moto-Compressor para a Carcaça de um Compressor Hermético Através das Molas de Suspensão**. [Dissertação]. UFSC. Florianópolis, 2001.

CARVALHO, R. S. T. de. **Métodos de Identificação de Fontes de Ruído em um Refrigerador**. [Dissertação]. UFSC. Florianópolis, 2008.

GOMES, A. R. **Análise Comparativa de Mecanismos de Compressão para Aplicação em Refrigeração Doméstica**. [Dissertação]. UFSC. Florianópolis, 2006.

HENSE, A. **Análise do Ruído de um Refrigerador Excitado pelo Compressor**. [Dissertação]. UFSC. Florianópolis, 2015.

HERMES, C. J. L. **Uma Metodologia para a Simulação Transiente de Refrigeradores Domésticos**. [Tese]. UFSC. Florianópolis, 2006.

IBGE. [S.l.], 2012.

JEON, J. Y.; YOU, J.; CHANG, H. Y. Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments. **Applied Acoustics**, Elsevier, v. 68, n. 10, p. 1118–1134, 2007.

LENZI, A. **Relatório Embraco: Identificação Experimental de Caminhos de Transmissão em Compressores**. UFSC. Florianópolis, 2003.

MARTINEZ, J. A. O. **Fluxo de Energia Vibratória do Compressor ao Gabinete de um Refrigerador Típico**. [Tese]. UFSC. Florianópolis, 2014.

MOORHOUSE, A. Virtual acoustic prototypes: listening to machines that don't exist. **Acoustics Australia**, v. 33, n. 3, p. 97, 2005.

SATO, S.-i.; YOU, J.; JEON, J. Y. Sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments with relation to psychoacoustical and autocorrelation function parameters. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Acoustical Society of America, v. 122, n. 1, p. 314–325, 2007.

TABUENCA, B. S.; PARÍS, J. L. Experimental analysis and reduction of the noise emitted by a household refrigerator. **Eleventh International Congress on Sound and Vibration**, Russia, 2004.

VENTURINI, O. J. et al. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial: manual prático**. [S.l.]: Eletrobrás, 2005.

VORLÄNDER, M. **Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2007.

ZWICKER, E.; FASTL, H. **Psychoacoustics: Facts and models**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.