

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**INVESTIGAÇÃO DO RUÍDO GERADO POR INSTALAÇÕES
HIDROSSANITÁRIAS EM UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Livia Ribeiro Pavanello

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**INVESTIGAÇÃO DO RUÍDO GERADO POR INSTALAÇÕES
HIDROSSANITÁRIAS EM UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR**

por

Lívia Ribeiro Pavanello

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Área de Concentração em Construção Civil e
Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Orientador (a): Prof^a. Dra. Dinara Xavier da Paixão

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**INVESTIGAÇÃO DO RUÍDO GERADO POR INSTALAÇÕES
HIDROSSANITÁRIAS EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR**

elaborada por
Lívia Ribeiro Pavanello

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA :

Dinara Xavier da Paixão, Dra. (UFSM)
Presidente/Orientador

Giane de Campos Grigoletti, Dra. (UFSM)

Stelamaris Rolla Bertoli, Dra. (UNICAMP)

Santa Maria, 14 de agosto de 2014.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o pai do meu Mestre Jesus Cristo, motivo da minha alegria, em quem tenho encontrado força, consolo, segurança, paz, direção e uma razão para viver.

Aos meus pais, Ivonnir e Vera, pela confiança na possibilidade dos meus sonhos e por investirem tempo, bens e sua vida, para que eles se tornassem realidade.

Ao meu irmão Guilherme, pela paciência, amizade, ânimo, incentivo e ajuda prestada nas etapas finais deste trabalho. Sua “parceria” me fez chegar até aqui.

À minha orientadora Dinara Xavier da Paixão, que apesar das adversidades durante o trabalho, me apoiou até o fim. Em todos os anos de convivência aprendi muito com seu exemplo de dedicação, ética e humanidade.

À Eng^a Simone Pozzobon, por ter se apresentado extremamente solícita e generosa.

À minha amiga Márcia Alves, que durante esta etapa se tornou a irmã que eu não tive.

Às colegas de mestrado Renata da Silva, Andriele Panosso e Tenile Piovesan, por todos os conhecimentos compartilhados e pela amizade que vai além da UFSM.

À colega de mestrado Larissa Tamiosso, aos alunos da Engenharia Acústica Vinicius Oliveira, André Lunge, Michael Klein e ao Prof Marco Antonio, pelas muitas ajudas prestadas com os equipamentos, dúvidas e medições. Sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus estimados colegas da Prefeitura de Cachoeira do Sul, Eng. Sr. George, Arq. Cristine, Eng. Camillo, Eng. Gehrke, Aida, Tálison, Cibelle e a “chefinha” Rosi, pela amizade, coleguismo e compreensão quando precisei estar ausente.

Aos meus amigos da Comunidade e do Projeto “100porUm”, Josnei, Nara, Gabi, Lucas, Alana, Débora, Laurinha, Sérgio, Mirian, Elo e Cordeiro, pela amizade, compreensão em relação aos momentos de ausência e por executarem minhas tarefas melhor do que eu.

Ao meu irmão africano, Emanuel, pela imensa ajuda prestada nos últimos segundos.

À amiga Dani Marçal pelas seções de coaching, pela preocupação e por não me deixar desistir, junto com toda a “família MPC” e com as amigas Rafaela Galdino e Cássia Motta.

À Professora Eliane e a todos do curso Yázigi, pelos ensinamentos de Língua Inglesa.

A todos que cooperaram com esta conquista, a minha sincera gratidão.

“Que aproveita ao homem ganhar o mundo inteiro e perder a sua alma?”

(Marcos 8:36)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

INVESTIGAÇÃO DO RUÍDO GERADO POR INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

AUTORA: LÍVIA RIBEIRO PAVANELLO

ORIENTADORA: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 14 de agosto de 2014.

No Brasil, o ruído gerado pelas instalações prediais hidrossanitárias ainda é pouco estudado. Apesar dessa patologia seguidamente ser citada como motivo de desconforto e reclamações, por parte de moradores de edificações residenciais multifamiliares verticais, ainda não há no país uma norma que regulamente medições de ruído de instalações hidrossanitárias *in loco*. Este trabalho teve como objetivo estabelecer um procedimento de medição dos níveis de pressão sonora, com base na ISO 16032 (ISO, 2004), apropriado para avaliação de ruído de instalações hidrossanitárias executadas conforme os padrões brasileiros, visando proporcionar conforto acústico aos usuários. Para a verificação da aplicabilidade da norma, foi escolhido um prédio residencial de 10 pavimentos, ainda não habitado, na cidade de Santa Maria, com estrutura de concreto armado e paredes de alvenaria. Os aparelhos hidrossanitários medidos foram a torneira do lavatório e a caixa de descarga da bacia sanitária, ambos localizados no banheiro da suíte dos apartamentos de fundo. As medições foram realizadas nas suítes em cinco diferentes pavimentos e no banheiro da suíte do 9º andar. Por norma, os aparelhos sanitários a serem medidos são acionados no banheiro da unidade autônoma situada um pavimento acima de onde se instala o microfone. Isso foi realizado e, além disso, no 10º e no 7º pavimento realizaram-se medições referentes aos aparelhos hidrossanitários do mesmo pavimento e de dois pavimentos acima, respectivamente. Foram medidas e, posteriormente analisadas, todas as grandezas recomendadas pela ISO 16032 (ISO, 2004), nas ponderações A e C, são elas: $L_{eq,nT}$, $L_{Fmax,nT}$ e $L_{Smax,nT}$. Também foram realizadas medições do tempo de reverberação das suítes, segundo a ISO 3382-2 (ISO, 2008). Após a análise dos resultados, foi constatado que, na situação das medições, houve resultados do lavatório que foram influenciados ou mascarados pelo ruído residual. Por fim, para garantir a utilidade do procedimento de medição adotado, os resultados foram comparados com os valores únicos expressos na NBR 15575-6 (ABNT, 2013) e foi, então, avaliado o desempenho das instalações hidrossanitárias da edificação, nas situações que se aplicam à norma. Considera-se, portanto, que esse trabalho contribuiu para o avanço dos estudos que buscam ampliar o conforto acústico nas edificações brasileiras, ao estabelecer um procedimento de medição dos níveis de pressão sonora para avaliação do ruído de instalações hidrossanitárias.

Palavras-chave: Ruído. Instalações hidrossanitárias. Medição.

ABSTRACT

Masters Degree Dissertation
Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

INVESTIGATION OF NOISE GENERATED PLUMBING SYSTEMS IN A MULTIFAMILY RESIDENTIAL BUILDING

AUTHOR: LÍVIA RIBEIRO PAVANELLO

ADVISOR: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Place and Date of public defense: Santa Maria, August 14th 2014.

In Brazil, the noise generated by plumbing systems into buildings is still little studied. Despite residents of multi-family vertical building citing this pathology as a cause of discomfort and complaints, there is not yet a standard that regulate noise measurements of hydrosanitary installations in the country *in loco*. This paper has as objective to establish an adequate measurement procedure of sound pressure level based in ISO 16032 (ISO, 2004) appropriate to evaluation the noise of plumbing systems, executed according to national standards, aiming to provide acoustic comfort to users. To verify the standard applicability, a 10 floor residential building, not inhabited yet, in the city of Santa Maria, with reinforced concrete structure and masonry wall, was chosen. The hydrosanitary devices measured were the faucet of the sink and the flushing cistern of the toilet bowl, both located in the master bathroom of the background apartments. The measurements was realized in suites, in 5 floors, and in the master bathroom of the 9th floor. The general rule was that the sanitary devices to be measured were triggered in the master bathroom, of the autonomous unit situated 1 floor above the suite, where was the microphone. However, exceptions occurred on the 10th and on the 7th floor, where measurements were made relating to hydrosanitary devices of the same floor and of two floors above, respectively. Therefore were measured and subsequently analyzed, all quantities allowed by ISO 16032 (ISO, 2004), in the weighting A and C, they are: $L_{eq,nT}$, $L_{Fmax,nT}$ and $L_{Smax,nT}$. Were also performed measurements of the reverberation time of the suites according to ISO 3382-2 (ISO, 2008). After analyzing the results, it was found that in the situation of measurements, some results of the sink were influenced or masked by residual noise. Finally, to ensure the usefulness of the measurement procedure used, the results were compared with unique values expressed in NBR 15575-6 (ABNT, 2013) and was then evaluated the performance of hydrosanitary installations of the building, in situations that apply to standard. It is considered, therefore, that this paper contributed to the improvement of studies that search to enlarge the acoustic comfort in the Brazilian buildings, to establish measurement procedure of sound pressure level for the noise evaluation of plumbing systems.

Key-words: Noise. Plumbing systems. Measurements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2. 1 – Sistema de abastecimento misto.....	25
Figura 2. 2 – Sistema indireto com bombeamento.....	26
Figura 2. 3 – Barrilete, coluna de distribuição e ramal.....	27
Figura 2. 4 – Sistema de aquecimento por acumulação com respiro.....	30
Figura 2. 5 – Caminho percorrido pelo esgoto sanitário: coleta até o destino final.....	32
Figura 2. 6 – Exemplo de sifão com fecho hídrico.....	33
Figura 2. 7 – Sistema predial de esgoto sanitário detalhado.....	34
Figura 2. 8 – Sistema predial de esgoto sanitário completo.....	34
Figura 2. 9 – Instalação predial de águas pluviais.....	37
Figura 2. 10 – Instalação predial de água quente com tubulação embutida na parede.....	39
Figura 2. 11 – Instalação de esgoto sanitário sob uma laje nervurada.....	40
Figura 2. 12 – Sistema de instalação hidrossanitário fixado sob a laje.....	41
Figura 2. 13 – Parede hidráulica com tubulação de água fria.....	42
Figura 2. 14 – Shaft em obra de alvenaria estrutural.....	43
Figura 2.15 – Ilustração do caminho percorrido pelo som até provocar uma sensação sonora.....	47
Figura 2. 16 – Exemplos de fontes de ruído estrutural.....	54
Figura 2. 17 – Modelo físico simplificado do sistema de piso flutuante.....	56
Figura 2. 18 – Sistema de fixação de tubulação de água quente.	62
Figura 2. 19 – Planta baixa do banheiro e da sala de reuniões, com os pontos de medição....	64
Figura 2. 20 – Nível de pressão sonora L_{max}	68
Figura 2.21 – Distância da posição de canto – P1.....	73
Figura 2.22 – Distância entre os pontos P1, P2 e P3.....	74
Figura 3. 1 – Situação do prédio onde foram realizadas as medições.....	79
Figura 3. 2 – Fachada frontal do prédio.....	79
Figura 3. 3 – Fachada lateral.....	79
Figura 3. 4 – Pavimento tipo do edifício.....	81
Figura 3. 5 – Apartamento escolhido para realização das medições.....	82
Figura 3. 6 – Aparelhos sanitários.....	84
Figura 3. 7 – Box e <i>shaft</i>	84
Figura 3. 8 – Planta baixa do banheiro da suíte, dos apartamentos de fundo.....	85
Figura 3. 9 – Elevações das instalações do banheiro da suíte.....	86
Figura 3. 10 – Situação de medição no apartamento 1004.....	88
Figura 3. 11 – Pontos de microfona na suíte do apartamento 1004.....	89
Figura 3. 12 – Banheiro da suíte do apartamento 904 com posições de microfona.....	91
Figura 4. 1 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o lavatório.	94
Figura 4. 2 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para a descarga.	95
Figura 4. 3 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o ruído residual. ..	95
Figura 4. 4 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no Apto 1004.	97
Figura 4. 5 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no Apto 1004.	98
Figura 4. 6 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no Apto 1004.	98
Figura 4. 7 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 1004.	100
Figura 4. 8 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o lavatório – apto 904.	102

Figura 4. 9 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para a descarga – Apto 904.	102
Figura 4. 10 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o ruído residual – Apto 904.	103
Figura 4. 11 – Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Fmin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – lavatório apto 904.	104
Figura 4. 12 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – lavatório apto 904.	104
Figura 4. 13 – Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Fmin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – descarga apto 904.	105
Figura 4. 14 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – descarga apto 904.	105
Figura 4. 15 – Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Fmin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – ruído residual apto 904.	106
Figura 4. 16 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – ruído residual apto 904.	106
Figura 4. 17 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 904.	107
Figura 4. 18 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 904.	108
Figura 4. 19 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 904.	108
Figura 4. 20 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 904.	110
Figura 4. 21 – Gráfico comparativo entre $L_{Smáx}$, L_{Smin} e L_{eq} – Lavatório medido no banheiro do apto 904.	111
Figura 4. 22 – Gráfico comparativo entre $L_{Smáx}$, L_{Smin} e L_{eq} – Descarga medida no banheiro do apto 904.	112
Figura 4. 23 – Gráfico comparativo entre $L_{Smáx}$, L_{Smin} e L_{eq} – ruído residual medido no banheiro do apto 904.	113
Figura 4. 24 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmáx}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no banheiro da suíte do apto 904.	114
Figura 4. 25 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smáx}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no banheiro da suíte do apto 904.	114
Figura 4. 26 – Gráfico comparativo entre o L_{eq} do lavatório, da descarga e do ruído residual no banheiro da suíte do apto 904.	115
Figura 4. 27 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – Lavatório medido na suíte do apto 604.	117
Figura 4. 28 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – Descarga medida na suíte do apto 604.	117
Figura 4. 29– Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – ruído residual medido na suíte do apto 604.	118
Figura 4. 30 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 604.	119
Figura 4. 31 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 604.	119
Figura 4. 32 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 604.	120
Figura 4. 33 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 604.	121
Figura 4. 34 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 404.	123
Figura 4. 35 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 404.	123
Figura 4. 36 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 404.	124
Figura 4. 37 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 404.	125

Figura 4. 38 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 704.	127
Figura 4. 39 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 704.	127
Figura 4. 40 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 704.	128
Figura 4. 41 – Gráfico dos TR's das suítes, onde foram realizadas medições.	129
Figura 4. 42 – Gráfico do $L_{Fmax,nT}$ do ruído residual das suítes medidas.	130
Figura 4. 43 – Gráfico do $L_{Smax,nT}$ do ruído residual das suítes medidas.	130
Figura 4. 44 – Gráfico do $L_{eq,nT}$ do ruído residual das suítes medidas.	131
Figura 4. 45 – Gráfico do $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, quando medido nas suítes.	132
Figura 4. 46 – Gráfico do $L_{Smax,nT}$ do lavatório, quando medido nas suítes.	132
Figura 4. 47 – Gráfico do $L_{eq,nT}$ do lavatório, quando medido nas suítes.	133
Figura 4. 48 – Gráfico do $L_{Fmax,nT}$ da descarga, quando medida nas suítes.	134
Figura 4. 49 – Gráfico do $L_{Smax,nT}$ da descarga, quando medida nas suítes.	135
Figura 4. 50 – Gráfico do $L_{eq,nT}$ da descarga, quando medida nas suítes.	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Grandezas escalares que podem ser obtidas nas medições.....	72
Quadro 2.2 – Valores máximos de nível de pressão sonora medidos em dormitórios.....	76
Quadro 2.3 – Valores máximos do nível de pressão sonora máximo, $L_{ASmax,nT}$, medido em dormitórios.....	77
Quadro 3.1 – Resumo das medições realizadas.....	92
Quadro 4.1 – Resultados da medição do apartamento 1004.....	94
Quadro 4.2 – Valores de correção para as ponderação A e C.....	96
Quadro 4.3 – Resultados da medição na suíte do apartamento 904.....	101
Quadro 4.4 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 904.....	111
Quadro 4.5 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 604.....	116
Quadro 4.6 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 404.....	122
Quadro 4.7 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 704.....	126

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

dB – decibel

dB(A) – decibel com ponderação no filtro A

dB(C) – decibel com ponderação no filtro C

Hz – Hertz

ISO – *International Standards Organization*

kHz – quilohertz

kPa – quilopascal

L_{eq} – Nível de pressão sonora equivalente

L_{max} – Nível de pressão sonora máximo

L_{Fmax} – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “F”

L_{Smax} – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “S”

L_{Aeq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado no filtro A

L_{AFmax} – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “F” no filtro A

L_{ASmax} – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “S” no filtro A

L_{Ceq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado no filtro C

L_{CFmax} – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “F” no filtro C

L_{CSmax} – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “S” no filtro C

$L_{eq,nT}$ – Nível de pressão sonora equivalente padronizado para o tempo de reverberação de 0,5s

$L_{Fmax,nT}$ – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “F” padronizado para o tempo de reverberação de 0,5s

$L_{Smax,nT}$ – Nível de pressão sonora máximo com tempo de ponderação “S” padronizado para o tempo de reverberação de 0,5s

MNPS – Medidor de Nível de Pressão Sonora

NPS – Nível de Pressão Sonora

OMS – Organização Mundial de Saúde

Pa – Pascal

TR – Tempo de Reverberação

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa e problema da pesquisa	16
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Instalações Hidrossanitárias	19
2.1.1 Instalações Hidrossanitárias no Brasil.....	211
2.1.1.1 Instalações Prediais de Água Fria.....	24
2.1.1.2 Instalações Prediais de Água Quente.....	28
2.1.1.3 Instalações Prediais de Esgoto Sanitário	31
2.1.1.4 Instalações Prediais de Águas Pluviais.....	35
2.1.2 Tecnologias Utilizadas no Brasil.....	38
2.1.3 Patologias Encontradas.....	44
2.2 O ruído	45
2.2.1 Percepção humana ao ruído.....	46
2.2.2 O ruído e a saúde	48
2.2.3 Tipos de ruídos	49
2.2.3.1 Ruído aéreo.....	50
2.2.3.2 Ruído de impacto.....	52
2.2.3.3 Ruído de instalações hidrossanitárias	56
2.2.4 Grandezas de caracterização de ruído mais utilizadas.....	65
2.2.4.1 Nível de Pressão Sonora.....	66
2.2.4.2 Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})	66
2.2.4.3 Nível de Pressão Sonora Máximo (L_{max}).....	67
2.2.5 Tempo de Reverberação (TR).....	68
2.3 Medições Acústicas	69
2.3.1 Medição em laboratório.....	70
2.3.2 Medição <i>in loco</i>	70
2.4 Legislação	71
2.4.1 Comentários sobre a ISO 16032.....	71
2.4.2 Comentários sobre a NBR 15575-6.....	76
3 METODOLOGIA	78
3.1 Caracterização do Local e dos Equipamentos	78
3.2 Caracterização das Variáveis	83
3.3 Caracterização dos Procedimentos de Medição	86
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	93
4.1 Medição no Apartamento 1004	93
4.2 Medições no Apartamento 904 – instalações hidrossanitárias do 1004	100
4.2.1 Suíte do Apartamento 904.....	101
4.2.2 Banheiro da Suíte do Apartamento 904.....	110
4.3 Medições no Apartamento 604 – instalações hidrossanitárias do 704	116
4.4 Medições no Apartamento 404 – instalações hidrossanitárias do 504	122
4.5 Medições no Apartamento 704 – instalações hidrossanitárias do 904	126
4.6 Análise Geral	128
5 CONCLUSÕES	137
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	141

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
---	------------

1 INTRODUÇÃO

É notório o crescimento do setor da construção civil, no Brasil, principalmente a partir do início deste século. Muitos programas nacionais têm facilitado a aquisição da casa própria para a classe mais baixa e, nas classes média e alta, é crescente a procura por soluções que atendam às necessidades da sociedade atual, tais como: segurança, conforto e otimização do espaço.

A procura por imóveis, por todas as classes sociais, justifica a busca das construtoras para tornar o processo construtivo mais rápido e acessível, a fim de que a expectativa dos consumidores seja suprida e o preço seja compatível com as condições do novo mercado. Sendo assim, o que se tem são estruturas cada vez mais esbeltas, com cômodos cada vez menores e unidades autônomas adjacentes, cada vez mais próximas. Todos esses fatores podem ser desfavoráveis no que se refere ao conforto acústico.

Na Europa, o bom condicionamento acústico no interior das habitações tem se tornado uma condição prioritária, tanto por parte dos compradores, como por parte das entidades fiscalizadoras (LAGES et al., 2008). Países como Alemanha e Portugal possuem normas específicas para qualificar as edificações em relação ao seu desempenho acústico. O Brasil começou a caminhar nessa direção com a NBR 15575, que entrou em vigor em 2013.

Segundo KÖTZ (2009), em relação ao conforto acústico, uma residência deve desempenhar algumas funções, tais como: preservar a vida particular das pessoas, o que implica em prover intimidade e proteção; permitir a individualidade e o desenvolvimento pessoal dos moradores; e possibilitar a permanência da paz entre vizinhos.

Em um edifício com múltiplos apartamentos, são muitos os equipamentos responsáveis pela emissão de ruídos, que podem provocar as mais variadas reações e sensações. Quanto mais sofisticado e inteligente for o prédio, mais fontes sonoras poderão surgir. No entanto, independente do número de pavimentos e de apartamentos ou da classe social a que se destina a edificação, as instalações hidrossanitárias estarão presentes e devem ser cuidadosamente projetadas e executadas, para que não venham a prejudicar o conforto acústico da residência.

No final do século XIX, o ruído em instalações hidrossanitárias já era um problema conhecido dos projetistas e cientistas (LANDI, 1993). Ainda hoje, no Brasil, ele é frequentemente uma causa de desconforto para o usuário e do desempenho acústico deficiente

de uma edificação, quanto ao isolamento entre unidades autônomas adjacentes. Um fator que dificulta o trabalho dos projetistas atuais é o desconhecimento dos valores dos níveis de pressão sonora emitidos pelos aparelhos sanitários comumente utilizados na cozinha e no banheiro de uma residência.

No Brasil, já foram realizadas pesquisas para descobrir quais são os mecanismos responsáveis pela emissão de ruídos em instalações hidrossanitárias (QUERIDO, 1993; BARNEWITZ, 1997). No entanto, não há nada escrito sobre métodos de medição apropriados ou quais grandezas devem ser medidas para melhor quantificar o ruído proveniente desse tipo de equipamento. Consequentemente, se têm poucos dados sobre qual isolamento é considerado satisfatório, ou quanto deve ser a emissão sonora, permitida para um aparelho sanitário, de forma que seja assegurado o conforto acústico dos usuários de uma edificação multifamiliar.

Sendo assim, através de medições regulamentadas pela ISO 16032 (ISO, 2004), realizadas *in loco*, procura-se verificar a aplicabilidade dessa norma para instalações prediais no Brasil, considerando as tipologias construtivas do país. Assim, busca-se desenvolver um procedimento de medição, que proporcione conhecer os níveis de pressão sonora, em dB(A) e dB(C), emitidos pelo lavatório e pela descarga da bacia sanitária com caixa acoplada de uma edificação residencial multifamiliar. Tal processo é um primeiro passo para avaliar o desempenho acústico das instalações hidrossanitárias já existentes, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013) exige e, a partir do conhecimento dos valores emitidos pelos aparelhos, melhorar os projetos destas instalações.

1.1 Justificativa e problema da pesquisa

O atual cenário nacional reflete um país em desenvolvimento, em que as grandes cidades estão sendo transformadas em canteiros de obras, e a população é vítima de um ritmo de vida cada vez mais acelerado, onde, muitas vezes, se permanece mais tempo no trabalho e no trânsito do que em casa. Esses fatores contribuem para a existência de cidades extremamente ruidosas, que **não dormem**.

Nesse contexto, se faz necessário que as edificações residenciais proporcionem um ambiente com o mínimo de conforto acústico, para que os usuários consigam, finalmente, descansar. No entanto, isso nem sempre é possível. São diversos os equipamentos geradores

de ruído em edificações residenciais, e são inúmeros os problemas ocasionados pela falta de isolamento acústico entre unidades autônomas adjacentes.

Um dos ruídos que seguidamente é alvo de reclamações, em edificações residenciais multifamiliares, é o provocado por instalações hidrossanitárias de unidades autônomas vizinhas, pois comumente são capazes de tirar o sono de quem os escuta. O que pode gerar diversos problemas, pois é sabido que é condição necessária para uma vida saudável e para recuperação de doenças, que se durma bem, e que se desfrute de um sono tranquilo, regular e ininterrupto (CLEMESH, 2005).

As normas nacionais, referentes ao projeto e execução de instalações prediais residenciais de água fria, água quente e esgoto sanitário, mencionam que as tubulações e aparelhos não devem provocar ruídos excessivos, no entanto, não especificam quais seriam os índices adequados, apenas se referem a valores máximos de velocidade e pressão, indicando que estas grandezas são as responsáveis pela geração do ruído. Essas normas são, respectivamente, a NBR 5626 (ABNT, 1998), a NBR 7198 (ABNT, 1993) e a NBR 8160 (ABNT, 1999).

Da ideia apresentada no parágrafo anterior, surge uma série de obstáculos para os projetistas, quanto à garantia do conforto acústico nas edificações multifamiliares: o primeiro passo é conhecer qual o nível sonoro real provocado pelas instalações hidrossanitárias nacionais; o segundo é como isolar esse valor. Mas antes dessas duas questões, há ainda o problema de como se conhecer os tais valores. As perguntas iniciais passam a ser: como medir? E o que se deve medir? Quais grandezas são representativas do que está sendo medido?

O ruído gerado por instalações hidrossanitárias, principalmente nos banheiros, além de provocar uma sensação auditiva desagradável, pode gerar constrangimentos entre vizinhos, pois causa uma completa invasão da privacidade, ocasionando uma situação embaraçosa (QUERIDO, 1993). Portanto, não basta ter conhecimento dos níveis de pressão sonora, emitidos pelas instalações prediais de água e esgoto, mas também é necessário, relacionar os valores obtidos por meio de medições, com a percepção sonora dos usuários, já que a mesma está diretamente ligada à experiência de cada um.

Segundo Polli (2007), limitar os níveis de pressão sonora é uma medida essencial para garantir a qualidade de vida das pessoas. Tal medida é, em parte, proporcionada pela regulamentação das fontes sonoras, por outro ela pode ser conseguida através da normalização dos materiais e sistemas utilizados na construção civil, tendo em vista que suas propriedades influenciam diretamente a transmissão do som.

No Brasil, o ruído emitido por instalações hidrossanitárias prediais/residenciais e o incômodo gerado por ele são pouco estudados. Busca-se com esta pesquisa, contribuir a partir da caracterização do ruído gerado por dois tipos de aparelhos hidráulico-sanitários e através da utilização de um procedimento de medição adequado. Assim será proporcionado aos projetistas o conhecimento dos níveis de pressão sonora emitidos por estes aparelhos, em condições de projeto e execução estabelecidas pelas normas nacionais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Estabelecer um procedimento de medição dos níveis de pressão sonora, com base na ISO 16032 (ISO, 2004), apropriado para avaliação do ruído de instalações hidrossanitárias executadas conforme os padrões brasileiros, visando proporcionar conforto acústico aos usuários.

1.2.2 Objetivos Específicos

- 1) Verificar a aplicabilidade do procedimento de medição descrito pela ISO 16032 (ISO, 2004) em instalações de uma edificação residencial multifamiliar brasileira.
- 2) Caracterizar os níveis de pressão sonora emitidos pelo lavatório e pela descarga da bacia sanitária com caixa acoplada, em uma edificação com estrutura de concreto armado e um banheiro convencional.
- 3) Avaliar quais as grandezas que são mais adequadas para caracterizar o ruído gerado pelos equipamentos hidrossanitários medidos, fornecendo os níveis de pressão sonora emitidos.
- 4) Avaliar a influência do ruído residual na caracterização do ruído das instalações hidrossanitárias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Instalações hidrossanitárias

A água é fundamental para a sobrevivência do homem na Terra, então, desde os primórdios das civilizações os homens buscam facilitar a sua obtenção. As civilizações antigas procuravam se estabelecer próximo de rios e lagos para facilitar o acesso à água. As primeiras grandes civilizações surgiram nos vales de grandes rios, como o vale do Nilo no Egito, vale do Tigre-Eufrates na Mesopotâmia, vale do Indo, no Paquistão, vale do rio Amarelo, na China. Todas essas civilizações construíram grandes sistemas de irrigação, tornaram o solo produtivo e prosperaram. No entanto, quando a água acabou ou, quando o sistema de abastecimento foi mal aproveitado, essas civilizações desmoronaram como, por exemplo, a Civilização Suméria (BRUNI, 1993).

À engenharia, que pode ser definida como a ciência, técnica ou arte da construção de obras, mediante a aplicação de princípios matemáticos e das ciências físicas (HOLANDA, 2010), coube a tarefa de driblar as barreiras geográficas e tornar a água acessível aos homens, tornando possível a sobrevivência, até nos lugares mais áridos da terra e não somente às margens de rios ou lagos.

A História registra a existência de grandes obras de Engenharia, envolvendo longos aquedutos, desvio de rios, enfim sistemas complexos e caros de abastecimento. As civilizações, grega e romana, investiram nesse tipo de construções. No auge da Civilização Grega, Atenas chegou a possuir 20 aquedutos, construídos em barro e chumbo. E nesta época, o uso da água já era regulamentado (CASTRO, 2008).

Os grandes sistemas de abastecimento permitiam que a água chegasse até as cidades, no entanto, durante anos foram coletivos. Posteriormente, com a evolução da Engenharia e avanço da ciência, as canalizações passaram a conduzir o recurso natural mais importante para a vida, a água, até o consumidor final: ser humano. As tubulações, agora, têm como seu destino final, a casa. Sendo assim, hoje as pessoas escolhem onde querem viver, onde querem construir sua casa, e a água é conduzida até elas.

O acesso à água sempre foi inquestionável para a sobrevivência da humanidade, portanto o registro de grandes obras hidráulicas é mais abundante e mais antigo que o de obras sanitárias. O Império Romano, no entanto, chegou a possuir um eficaz sistema de

saneamento, com tubulações subterrâneas que conduziam as águas poluídas para fora das suas cidades. Em 600 a.C. foi construída a chamada “Cloaca Máxima”, um coletor em tijolo, com cerca de 3,5m de raio. Porém, após a queda do Império Romano esses princípios foram abandonados durante muitos anos (LANDI, 1993).

A Europa, durante a Idade Média, foi palco de um violento retrocesso nas condições de salubridade, o que causou sucessivas epidemias que dizimaram mais de um quarto da sua população. Na maioria das vezes os dejetos eram simplesmente lançados pela janela para as ruas, ao som da expressão de aviso “Água vai...”, e ali permaneciam aguardando pela chuva seguinte (CASTRO, 2008).

Hoje, sabe-se que inúmeras doenças são causadas pela falta de higiene ou pela proliferação de bactérias e parasitas. Atualmente, a cada 14 segundos, morre uma criança vítima de doenças hídricas. Os esgotos e excrementos humanos são causas importantes dessa deterioração da qualidade da água em países em desenvolvimento. Estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço das mortes em países subdesenvolvidos sejam causadas pelo consumo de água contaminada, e, em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa se perde devido a doenças relacionadas à água (MORAES; JORDÃO, 2002).

É possível afirmar que o nível alcançado pelos romanos no século IV, para redes de abastecimento e de drenagem, foi novamente atingido apenas a partir do século XIX. Londres e Paris, por exemplo, só em meados desse século conseguiram dispor de um adequado sistema público de abastecimento de água (CASTRO, 2008).

As instalações prediais hidráulicas e sanitárias passaram a fazer parte das edificações aos poucos. Primeiro as pias e lavatórios foram sendo incorporadas às edificações e, posteriormente, os banheiros completos. Inicialmente, o vaso sanitário ficava ao lado da cozinha e o banho próximo ao quarto, inclusive o local de se tomar banho era chamado quarto de banho. A partir das bacias sanitárias com sifão, o banheiro pode incorporar todos os aparelhos como são utilizados hoje. Na segunda metade do século XIX, os sifões já eram normalmente empregados nas instalações, em diversos países da Europa e outros como Estados Unidos (LANDI, 1993).

Hoje, toda habitação, por mais simples que seja, deve possuir um sistema de abastecimento de água e condições adequadas de esgotamento dos resíduos. Ao se atender às exigências sanitárias mínimas, consegue-se atenuar o perigo das contaminações. No entanto este risco não é eliminado completamente, sendo necessário que as populações e os governos adotem critérios nos quais as atividades sanitárias sobreponham-se às econômicas, o que geralmente não acontece nos países subdesenvolvidos (BORGES; BORGES, 1992).

Com a necessidade de otimização dos espaços e a proximidade entre vizinhos, através da verticalização das estruturas, o mínimo em termos de instalações prediais hidráulicas aumentou, e passaram a fazer parte desse sistema as instalações de captação de águas pluviais e as instalações de prevenção de incêndio. As instalações de águas pluviais não se devem somente à verticalização das edificações, mas sim a taxa de ocupação do solo. Tais sistemas são extremamente necessários para evitar alagamentos e outros inúmeros problemas urbanos (CARVALHO JUNIOR, 2013).

As instalações de combate e prevenção de incêndio são independentes das de distribuição de água. Tais sistemas ocupam lugar de destaque especial em um projeto, pois sua ausência, má execução, ou qualquer negligência nesse aspecto, pode causar danos irreparáveis às populações. O valor de uma vida humana justifica quaisquer despesas, por mais elevadas que sejam, quando o objetivo é resguardá-las de um incêndio (BORGES; BORGES, 1992).

Hoje, uma edificação residencial unifamiliar deve levar em conta todos esses projetos, com exceção daquele de prevenção de incêndio, que é necessário apenas para edificações residenciais multifamiliares. No entanto, apesar de todos os projetos hidráulicos e sanitários fazerem parte da vida das edificações, esses sistemas ainda são comumente grandes alvos de patologias. Pesquisas realizadas em Portugal, por exemplo, afirmam que as instalações prediais hidrossanitárias constituem uma das principais fontes de problemas em edifícios, mesmo nas construções mais recentes. Estima-se que 95% dos problemas em edificações, ocorrem nesses sistemas. Entre as patologias detectadas, o ruído é sempre mencionado (CASTRO, 2008).

2.1.1 Instalações Hidrossanitárias no Brasil

No Brasil, a História conta que tudo começou com a instalação de chafarizes públicos. Em Ouro Preto, por exemplo, ainda impressiona a qualidade técnica e artística, bem como a quantidade de chafarizes, aproximadamente um a cada 300 m. Tal fato se deve provavelmente ao produto principal de exportação da região, o ouro (VARGAS, 1994).

No século XIX, foi permitida a realização de canalizações particulares, além dos prédios públicos e religiosos, que já gozavam de tal direito (BARNEWITZ, 1997). Sendo assim, naquela época, as instalações hidráulicas já estavam tendo como destino final a

habitação (lar) de cada indivíduo, lugar onde se espera encontrar conforto, privacidade e descanso.

Nesse contexto, os problemas de condução da água e de chegada desta, passam a ser relevantes e a influenciar cada beneficiário, pois qualquer problema na instalação estará dentro da sua casa. Por isso, na primeira metade do século XX, muitos banheiros ainda eram construídos externos à casa, sem comunicação com os demais cômodos, para evitar problemas de falta de privacidade, de odor indesejado e em canalizações e tubulações (LANDI, 1993).

Hoje, no Brasil, as instalações hidrossanitárias estão presentes em qualquer tipo de edificação e é inconcebível a aprovação de um projeto que não contenha banheiro, inclusive com acessibilidade, em caso de prédios públicos. Os projetos hidrossanitários devem ser integrados ao sistema construtivo proposto pela arquitetura (CARVALHO JÚNIOR, 2013). Sendo assim, nada pode ser construído sem que sejam levadas em conta instalações prediais de água e esgoto sanitário. No entanto, muitos órgãos responsáveis pela aprovação de projetos e liberação de construções, não exigem que sejam apresentados os projetos de instalações hidrossanitárias. Apenas se preocupam em ter conhecimento do abastecimento de água e do destino dos esgotos sanitários.

O código de obras do município de Santa Maria, por exemplo, exige que seja apresentada Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) dos projetos hidrossanitários e de prevenção de incêndio, no entanto dispensa a apresentação do projeto. Porém, para liberação do imóvel, é realizada uma vistoria do destino do esgoto sanitário e, caso não esteja correto, a edificação não é liberada (SANTA MARIA, 2009). Tal postura por parte dos órgãos competentes demonstra certo desprezo em relação a esses projetos. Em outras cidades, como por exemplo Santiago/RS, há a exigência da apresentação dos projetos, inclusive com elevações e marcação dos pontos onde serão instalados os aparelhos hidrossanitários, mas não existe a verificação do cumprimento do projeto e nem a exigência de maiores detalhes.

O bom desempenho das edificações está diretamente ligado à qualidade dos projetos hidrossanitários e, conseqüentemente, a boa execução destes projetos. As normas que regem a elaboração de projetos de água fria, água quente e esgoto sanitário são a NBR 5626 – Instalação Predial de Água Fria (ABNT, 1998); NBR 7198 – Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente (ABNT, 1993) e NBR 8160 – Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário-Projeto e Execução (ABNT, 1999). Ainda há a NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais – Procedimento (ABNT, 1989), que descreve a captação e condução das águas pluviais em uma edificação.

Essas normas se preocupam em padronizar condições de projeto e execução para garantir a qualidade das instalações. Elas são abrangentes e permitem a utilização de diferentes tipos de materiais, uma variação grande de pressão e de velocidade do fluido dentro da tubulação, entre outros fatores que podem ser relevantes para o bom desempenho e para proporcionar condições desejadas de privacidade e conforto. Um dos problemas que frequentemente causa incômodo e não atinge às expectativas no que se refere ao conforto é o ruído gerado pelas instalações, que já era uma preocupação no final do século XIX (LANDI, 1993).

Atualmente, nas edificações residenciais, as tubulações hidrossanitárias são embutidas, ou nas paredes ou em *shafts*, geralmente construídos para escondê-las. A posição da canalização depende do projeto, que por sua vez depende da tipologia construtiva da edificação. Ainda há um longo caminho a ser percorrido no que se refere à obtenção do desempenho esperado das instalações hidrossanitárias, no Brasil.

Há pesquisas sendo realizadas nesse sentido, porém por se tratar de uma parte escondida da edificação, muitas vezes ainda é encarada como de menor importância. Há uma cultura muito forte de desprezo à qualidade dos projetos e de se solucionar a falta de informação e detalhamentos, em obra, durante a execução. Por causa disso muitas vezes, não se sabe exatamente o que foi executado e a solução técnica adotada não é a melhor. Sendo assim, as poucas pesquisas que foram realizadas em relação à qualidade das instalações prediais apontam amplo número de patologias em todas as edificações, entre as quais o ruído sempre está presente (GNIPPER, 2007).

Uma importante medida para melhorar o desempenho das edificações, no Brasil, bem como das instalações prediais é o conjunto de normas NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013). A parte 6 fala especificamente sobre o desempenho de instalações hidrossanitárias, o que pode ser considerado um avanço, pois são mencionados índices e requisitos que as instalações devem atingir. Dessa forma, as construtoras e os projetistas precisam se enquadrar e primar por qualidade. O que pode significar um grande avanço em relação à qualidade dos projetos e pode representar o nascimento de um novo paradigma construtivo no Brasil.

2.1.1.1 Instalações Prediais de Água Fria

A NBR 5626 (ABNT, 1998), que fixa as exigências e recomendações relativas a projeto, execução e manutenção das instalações prediais de água fria, especifica que as mesmas devem ser projetadas de modo que, durante a vida útil do edifício que as contém, atendam aos seguintes requisitos:

- a) preservar a potabilidade da água;
- b) garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidades que garantam o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes;
- c) possibilitar manutenção fácil e econômica;
- d) promover economia de água e energia;
- e) proporcionar conforto aos usuários, prevendo peças de utilização adequadamente localizadas, de fácil operação, com vazões satisfatórias e atendendo às demais exigências do usuário; e
- f) evitar níveis de pressão sonora inadequados à ocupação do ambiente (Anexo C);

O Anexo C da NBR 5626 (ABNT, 1998) trata dos ruídos e vibrações em instalações prediais de água fria. Neste anexo, são abordadas as maneiras de transmissão do ruído, os principais elementos do sistema hidrossanitário que geram essa patologia e, no último item, é abordado o ruído nas instalações de água quente.

Para Carvalho Júnior (2013) uma instalação predial de água fria, constitui-se no conjunto de tubulações, aparelhos reservatórios e dispositivos, que são destinados ao abastecimento de equipamentos e pontos de utilização de água da edificação, em quantidade de água suficiente, buscando manter a qualidade da água fornecida pelo sistema de abastecimento.

O sistema de abastecimento de uma edificação pode ser direto, indireto ou misto. O direto consiste em receber água somente da rede pública, o indireto é um sistema particular de abastecimento, reservatório ou poço artesianos, entre outros e, no misto, parte do abastecimento se dá por meio do reservatório e alguns pontos são abastecidos diretamente pela rede pública.

Em edificações residenciais multifamiliares, é comum ser utilizado o sistema indireto ou misto, em que há reservatórios tanto para abastecimento de água quanto para incêndio, que são alimentados pela concessionária. A figura 2.1 mostra alguns elementos necessários para um sistema de abastecimento misto.

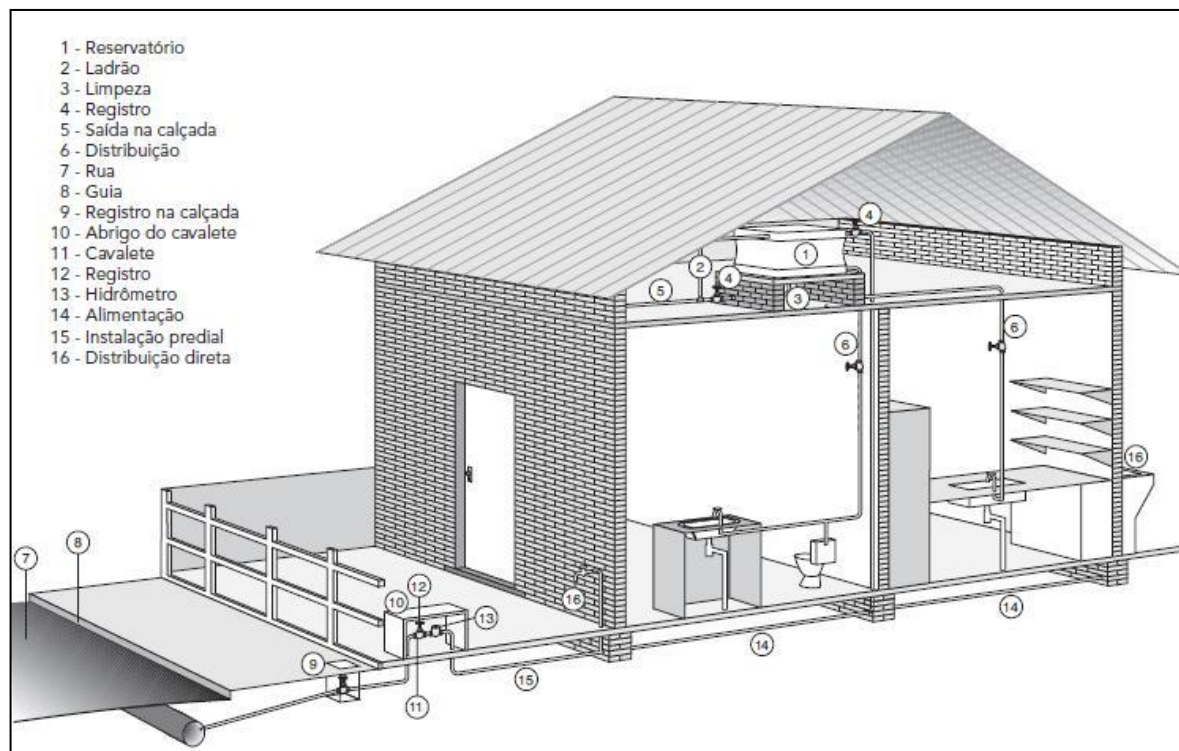


Figura 2.1 – Sistema de abastecimento misto.

Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2013, p.24

É exigido, hoje, que edificações residenciais, principalmente com mais de uma unidade autônoma, possuam reservatório com capacidade para o consumo diário durante 24 horas. Assim, se faltar água na rede pública, o edifício precisa manter-se abastecido por pelo menos 1 dia. Além do reservatório de abastecimento, alguns tipos de edificações são obrigadas a possuir reservatório de incêndio. Se a edificação possuir até 3 pavimentos (9 m de altura) ela pode ter apenas reservatório superior, pois a pressão da rede pública é suficiente para abastecer o reservatório, tendo em vista que a mesma tem uma pressão de aproximadamente 10 m.c.a (metro coluna de água).

No entanto, se a edificação possuir mais que 3 pavimentos, é necessário um sistema de abastecimento com a presença de bomba. Então, são necessários 2 reservatórios: um inferior e

outro superior. O reservatório inferior é abastecido pela rede pública e, por meio de uma bomba, abastece o reservatório superior. Na verdade, são necessárias 2 bombas, pois uma precisa ficar de reserva caso a outra estrague ou não funcione. A norma sugere que 60% da água seja armazenada no reservatório inferior e 40% no superior, sendo que toda a água destinada para o combate de incêndio, deve estar no reservatório superior, pois neste caso as bombas não irão funcionar. A figura 2.2 mostra um sistema de abastecimento indireto e com bombeamento.

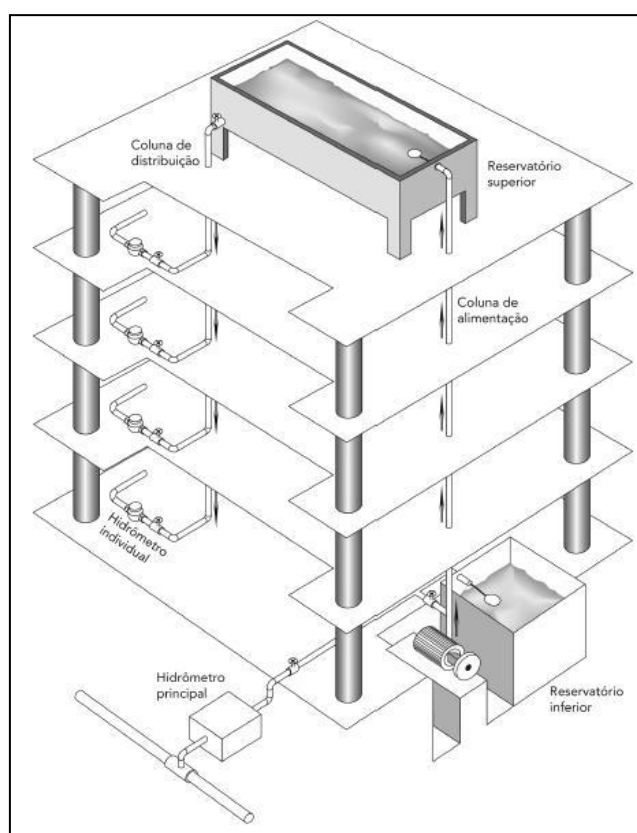


Figura 2.2 – Sistema indireto com bombeamento.
Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2013, p.32

O reservatório de água deve ser mantido sempre tampado, bem conservado e não deve apresentar rachaduras. É necessário que seja construído de materiais impermeáveis, para evitar infiltração e para facilitar a limpeza e inspeções periódicas (TEMPORAL, 2004).

A partir do reservatório, a água é distribuída para os pontos de utilização, sendo assim a rede de distribuição de água fria é formada pelo conjunto de canalizações que interligam os pontos de consumo ao reservatório da edificação (CARVALHO JÚNIOR, 2013). O item 3 da

NBR 5626 (ABNT, 1998) traz definições das partes que constituem a rede ou que de alguma forma influenciam na instalação de água fria, porém aqui serão abordadas apenas o barrilete, as colunas de distribuição, os ramais e os sub-ramais.

O barrilete, no sistema de abastecimento indireto, é a tubulação que sai do reservatório e se divide em colunas de distribuição, que por sua vez alimentam os ramais, que são ligados aos sub-ramais e que, finalmente alimentam os pontos de utilização. Essas tubulações precisam ser dimensionadas pelo projetista considerando o material a ser utilizado, as pressões e as velocidades em cada trecho, descritas pela norma. A figura 2.3 ilustra as partes desse sistema.

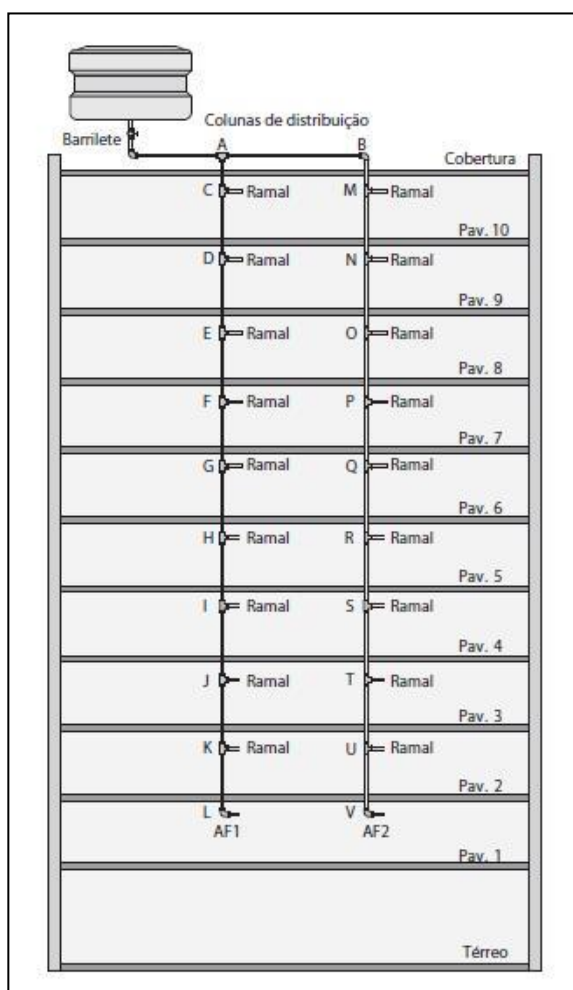


Figura 2.3 – Barrilete, coluna de distribuição e ramal.
Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2013, p.55

O material mais comumente utilizado para tubulação de água fria é o cloreto de polivinila (PVC rígido). São utilizados dois tipos: o PVC rígido soldável marrom, com diâmetros externos que variam de 20 mm a 110 mm, e o PVC rígido roscável branco, com diâmetros que vão de ½” a 4” (12,5mm a 200mm). A norma também permite a utilização de aço-carbono galvanizado, cobre, ferro fundido galvanizado e liga de cobre. Há alguns anos atrás, também era permitida a utilização de chumbo, porém agora este material deve ser substituído, quando for necessário reparo em algum sistema que seja desse material. O chumbo pode ser prejudicial à saúde.

Fazem parte das canalizações os dispositivos controladores de fluxo, tais como: torneiras, registros de pressão e de gaveta, misturadores, válvulas de descarga, válvulas de retenção e válvulas de alívio ou redutoras de pressão. Esses elementos são destinados a controlar, interromper e estabelecer o fornecimento de água nos aparelhos sanitários e nas tubulações. Podem ser fabricados em ferro fundido, bronze, latão e PVC, desde que satisfaçam as especificações das normas vigentes (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Quanto ao dimensionamento das tubulações e constituintes do sistema de instalação predial de água fria, a NBR 5626 (ABNT, 1998) fornece valores de pressão e velocidade dentro das canalizações. Quanto à velocidade, a água não pode atingir mais que 3m/s, pois, segundo a norma, caso isso ocorra, são provocados ruídos excessivos nas paredes da tubulação. Quanto à pressão, em nenhum ponto ou trecho da canalização, a mesma pode ultrapassar 400kPa e, não pode ser menor que 5kPa.

2.1.1.2 Instalações Prediais de Água Quente

No Brasil, não é obrigatório o uso de instalações de água quente, inclusive a maioria das edificações não possui esse sistema. Na maioria das regiões as temperaturas ficam entre 20°C e 30°C durante o ano todo, sendo assim, a utilização de água quente não é essencial, mas sim um conforto. Mesmo no sul, onde as temperaturas atingem valores bem mais baixos, esse sistema ainda não é popular, é encontrado apenas em edificações residenciais de médio e alto padrão. No entanto há situações em que a utilização de tal sistema é imprescindível, como nos hotéis, hospitais, motéis, restaurantes e lavanderias (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

O projeto e a execução de instalações prediais de água quente, segundo a NBR 7198 (ABNT, 1993), devem satisfazer as seguintes condições:

- a) garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade suficiente e temperatura controlável, com segurança, aos usuários, com as pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários e das tubulações;
- b) preservar a potabilidade da água;
- c) proporcionar aos usuários o nível de conforto adequado; e
- d) racionalizar o consumo de energia.

Para tornar possível cumprir as condições da NBR 7198 (ABNT, 1993), fazem parte do sistema de instalações prediais de água quente os seguintes elementos: tubulação de água fria, para alimentação do sistema de água quente; aquecedores, que podem ser de passagem (ou instantâneos) ou de acumulação; dispositivos de segurança; tubulação de distribuição de água quente e dispositivos de utilização (chuveiro, ducha, torneiras de pia, lavatório, tanque). (TIGRE, 2013)

Os materiais que podem ser utilizados para a tubulação são: o cobre; o cloreto de polivinila pós-clorado (CPVC); o propileno copolímero random (PPR) e o polietileno reticulado, com conexões de polisulfona (PSU), que forma o PEX. Destes o cobre é o mais caro (CARVALHO JUNIOR, 2013). Cada um deles possui fabricação e execução descritas por normas específicas ou por indicações do fabricante.

Os aquecedores podem ser instantâneos ou de acumulação, além disso, podem ser a gás ou elétricos. Os instantâneos a gás são aqueles em que a água fria, ao entrar pelo aquecedor, passa por uma tubulação interna chamada serpentina, que recebe o calor direto de uma chama e, assim a água é aquecida imediatamente. Nos outros, a água fria fica num reservatório, que será aquecido através do calor fornecido por energia elétrica ou pela chama causada por um gás. Apenas no caso do aquecedor elétrico instantâneo, a água do reservatório é aquecida rapidamente por meio de uma resistência elétrica dentro do reservatório, nos demais a água do reservatório demora certo tempo para ser aquecida, por isso são chamados de aquecedores de acumulação (TIGRE, 2013).

Há ainda outro meio de aquecimento através de energia solar. Esse sistema é constituído por dois elementos básicos: o coletor solar, que aquece a água, e o reservatório térmico que armazena a água aquecida, a qual será distribuída. Esse método de aquecimento necessita de um sistema auxiliar, pois a energia solar é descontínua, ou seja, em dias nublados ou períodos em que o sol aparece menos, o aquecimento da água não pode ser prejudicado (TIGRE, 2013).

Quanto aos dispositivos de segurança, são necessários controladores de temperatura e de pressão. É preciso assegurar que não ocorra superaquecimento da água, tanto para não

provocar danos no sistema, quanto para evitar queimaduras nos usuários. Os controladores de pressão tais como respiro e válvula de alívio, são utilizados para evitar que a pressão de vapor no interior da tubulação ultrapasse os limites estabelecidos, provocando sérias patologias e danos no sistema. A figura 2.4 mostra um sistema com aquecedor de acumulação e respiro.

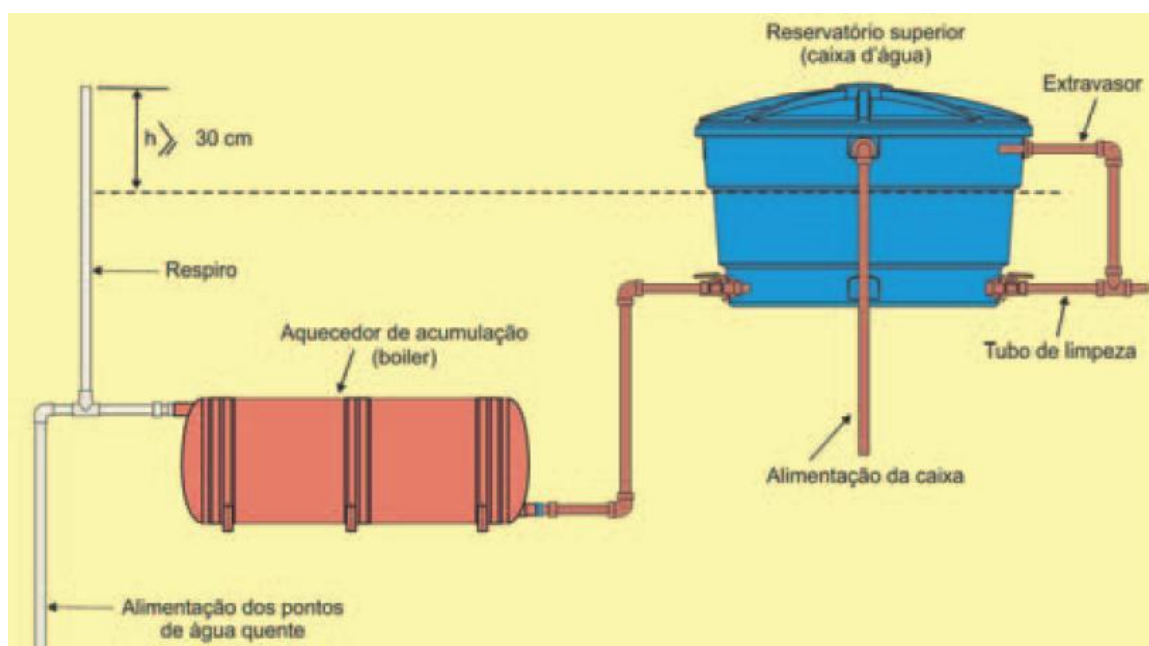


Figura 2.4 – Sistema de aquecimento por acumulação com respiro.

Fonte: TIGRE, 2013, p 70.

A tubulação que compõe o sistema de água quente recebe os mesmos nomes das instalações prediais de água fria, a diferença é que, para este caso, o barrilete se origina do reservatório e aquecedor, de onde derivam as colunas de distribuição, os ramais e os sub-ramais. A diferença de um sistema para o outro está no material e na tubulação de retorno, que não existe no sistema de água fria, porém no de água quente, tem a função de fazer a água aquecida retornar ao reservatório aquecido ou aquecedor.

2.1.1.3 Instalações Prediais de Esgoto Sanitário

Pode-se entender por esgoto ou águas residuárias os despejos líquidos de casas, edificações residenciais, comerciais ou industriais (TIGRE, 2013). Segundo a NBR 8160 (ABNT, 1999), o sistema de esgoto sanitário tem por funções básicas coletar e conduzir esses despejos líquidos provenientes do uso adequado dos aparelhos sanitários a um destino apropriado.

Um sistema de esgoto sanitário deve ser projetado de modo a:

- a) evitar a contaminação da água, garantindo a sua qualidade de consumo;
- b) permitir o rápido escoamento dos despejos e da água utilizada, evitando que haja vazamentos e a formação de depósitos no interior da tubulação;
- c) impedir que os gases oriundos do interior do sistema de esgoto sanitário atinjam áreas de utilização;
- d) impossibilitar o acesso de corpos estranhos ao interior do sistema;
- e) permitir que seus componentes sejam inspecionados com facilidade;
- f) impossibilitar o acesso do esgoto ao subsistema de ventilação; e
- g) permitir a fixação dos aparelhos sanitários somente utilizando dispositivos que facilitem a sua remoção posteriormente para manutenções.

O sistema predial de esgoto sanitário deve ser completamente separado do sistema coletor de águas pluviais, não deve haver nenhuma forma de ligação entre eles. O destino final do esgoto sanitário é diferente das águas pluviais coletadas. A figura 2.5 mostra o caminho percorrido pelas águas residuárias desde sua coleta até o destino final.

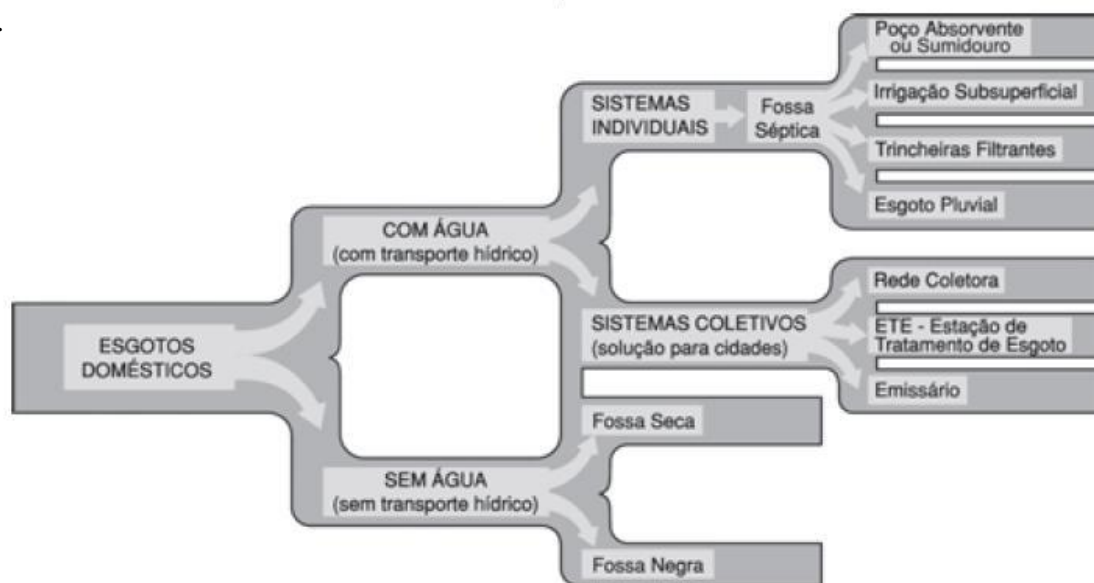


Figura 2.5 – Caminho percorrido pelo esgoto sanitário: coleta até o destino final.

Fonte: TIGRE, 2013, p 115.

Os aparelhos que compõem o subsistema de esgoto sanitário, desde onde este é gerado, até a sua disposição final são: aparelhos sanitários; desconectores; ramais de descarga e de esgoto; tubos de queda; subcoletores e coletor predial; dispositivos complementares e, quando necessário, instalação de recalque. Faz ainda parte do sistema predial de esgoto o subsistema de ventilação (TIGRE, 2013).

Os aparelhos sanitários comumente utilizados, presentes nas edificações residenciais de todas as classes sociais são: pia, tanque, lavatório, bacia sanitária e chuveiro. Estes equipamentos devem ser capazes de impedir a contaminação da água potável, de possibilitar acesso e manutenção adequados e, de oferecer ao usuário o conforto necessário para sua finalidade de utilização.

Os desconectores ou sifões podem ser definidos como peças que contêm uma camada líquida chamada fecho hídrico, que é fundamental para impedir a passagem de gases contidos no esgoto. Segundo a NBR 8160 (ABNT, 1999) recomenda um mínimo 5 cm de água, para altura do fecho hídrico. Todos os aparelhos sanitários devem ser protegidos por desconectores. Além disso, existem as caixas sifonadas ou ralos sifonados, que podem coletar despejos de um conjunto de aparelhos sanitários, pertencentes a mesma unidade autônoma. A figura 2.6 mostra um exemplo de sifão.



Figura 2.6 – Exemplo de sifão com fecho hídrico.
Fonte: TIGRE, 2013, p 113.

O ramal de descarga é a tubulação horizontal que recebe diretamente os efluentes dos aparelhos sanitários. O ramal de esgoto pode receber os efluentes diretamente dos ramais de descarga ou através de um desconector (caixa sifonada). Ambos precisam escoar seus efluentes por gravidade, portanto é recomendado que tenham uma declividade mínima, conforme o diâmetro nominal (CARVALHO JUNIOR, 2013). A menor declividade é de 1% para o diâmetro igual ou superior a 100 mm. Quanto maior o diâmetro nominal, menor a declividade.

Os efluentes do ramal de esgoto são lançados no tubo de queda, quando a edificação possuir dois ou mais pavimentos. Os tubos de queda são dimensionados conforme o número de Unidades Hunter de Contribuição (UHC), que está especificado na tabela 6 da NBR 8160 (ABNT, 1999). Os despejos provenientes do tubo de queda são lançados na tubulação horizontal denominada coletor predial ou subcoletores, que não podem possuir declividade maior que 5%.

As caixas de gordura, os poços de visita e as caixas de inspeção são considerados dispositivos complementares e devem ser perfeitamente impermeabilizados, possuir tampa de fecho hermético, possuir dispositivos adequados para inspeção e ventilação adequada. Além disso, devem ser constituídos de materiais que não sejam atacáveis pelo esgoto.

Um componente que não pode ser esquecido, pois é fundamental para o bom funcionamento do sistema de esgoto, é a ventilação. Desta fazem parte o ramal de ventilação e a coluna de ventilação. O sistema de ventilação protege os desconectores, impedindo o

rompimento do fecho hídrico, além disso, permite a saída dos gases do esgoto para a atmosfera. A figura 2.7 mostra um sistema de esgoto predial mais detalhado e a figura 2.8 mostra o sistema completo, inclusive com a disposição final dos efluentes, em uma residência.

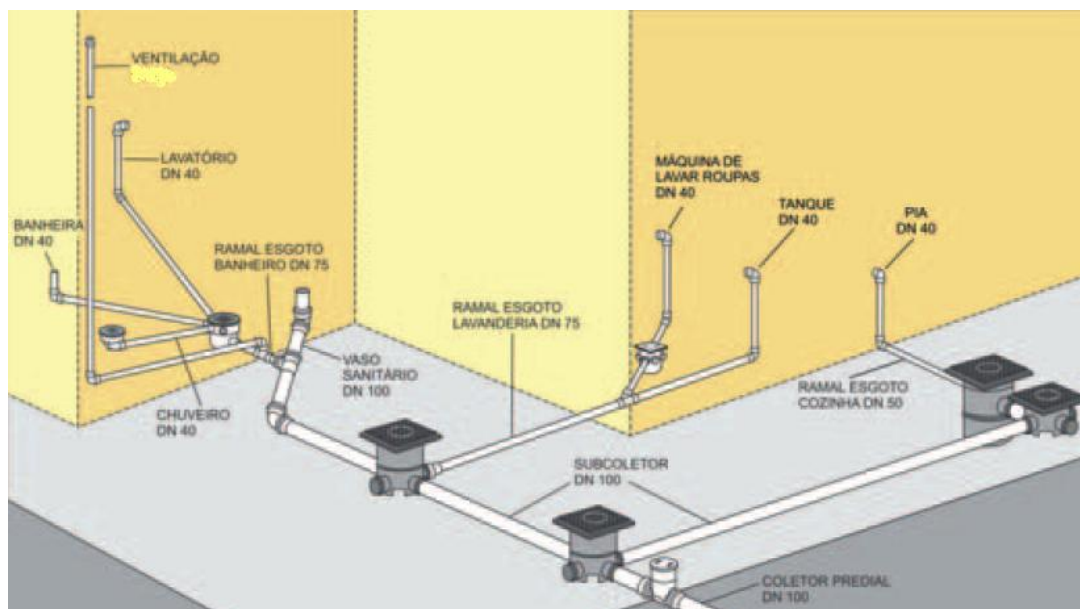


Figura 2.7 – Sistema predial de esgoto sanitário detalhado.
Fonte: TIGRE, 2013, p 133.

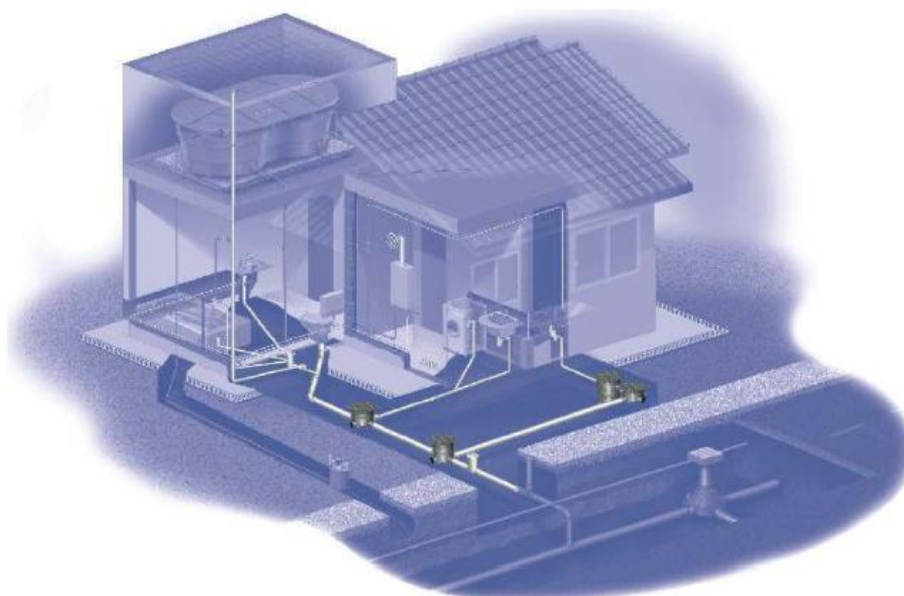


Figura 2.8 – Sistema predial de esgoto sanitário completo.
Fonte: SOUZA, 2009, p 19.

A norma brasileira NBR 8160 (ABNT, 1999) permite a utilização de diferentes materiais para o sistema de esgoto predial, desde este seja normalizado pela ABNT. No entanto, o material mais comumente utilizado é o PVC, que, para o esgoto, deve ser de cor branca. No mercado nacional são encontrados com comprimento de 3 m ou 6 m, cuja temperatura máxima que pode resistir é 45°C, e possui superfícies internas lisas.

2.1.1.4 Instalações Prediais de Águas Pluviais

As águas pluviais são àquelas originadas a partir das chuvas. A captação destas é de extrema importância, pois tem a função de permitir seu melhor escoamento, e assim evitar alagamentos, erosão do solo e outros problemas (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

A norma da ABNT que norteia as instalações prediais de águas pluviais é a NBR 10844 (ABNT, 1989). Para atender a norma, essas instalações devem ser projetadas de modo a obedecer às seguintes exigências:

- a) recolher e conduzir a Vazão de projeto até locais permitidos pelos dispositivos legais;
- b) serem estanques;
- c) permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto no interior da instalação;
- d) absorver os esforços provocados pelas variações térmicas a que estão submetidos;
- e) quando passivas de choques mecânicos, devem ser constituídas de materiais resistentes a estes choques;
- f) nos componentes expostos, utilizar materiais resistentes às intempéries;
- g) nos componentes em contato com outros materiais de construção, utilizar materiais compatíveis;
- h) não provocar ruídos excessivos;
- i) resistir às pressões a que podem estar sujeitas; e
- j) ser fixadas de maneira a assegurar resistência e durabilidade.

As instalações de águas pluviais não podem estar interligadas com outras instalações como as de esgoto sanitário, por exemplo. Assim como as águas pluviais não podem ser lançadas em redes de esgoto, o contrário também é inadmissível. A instalação predial de água pluvial se destina exclusivamente ao recolhimento e condução das águas das chuvas (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

As partes constituintes do sistema de águas pluviais são: a calha, o condutor vertical, caixa de areia, condutor horizontal e, ainda pode fazer parte o ralo, para o caso de terraços, sacadas ou pátios. A calha é um canal que recolhe água de coberturas, terraços e similares. No caso dos telhados, ela conduz as águas até o condutor vertical. As calhas são dimensionadas em função da área de contribuição de cada uma das águas do telhado, da intensidade pluviométrica da região (que influencia na vazão), da declividade e do material, que segundo a NBR 10844 (ABNT, 1989) pode ser de chapa de aço galvanizado, folhas de flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto e alvenaria.

O condutor vertical é a tubulação vertical que tem como função recolher as águas das calhas, coberturas, terraços e similares e, conduzi-las até a parte inferior do edifício. A norma permite a utilização de diversos materiais para a fabricação desse condutor, porém os mais utilizados são o PVC e o ferro fundido, que é indicado principalmente em tubulações aparentes ou sujeitas a choques. O dimensionamento dos condutores verticais é feito a partir de ábacos específicos apresentados pela NBR 10844 (ABNT, 1989). No entanto, na prática geralmente não são utilizados diâmetros menores que 75 mm, para evitar entupimentos por folhas ou pássaros mortos (CARVALHO JÚNIOR, 2013). Em uma edificação residencial multifamiliar, geralmente essa é a parte do sistema de águas pluviais, que pode provocar ruído nas unidades autônomas.

Os condutores horizontais são destinados a recolher as águas pluviais dos condutores verticais ou das superfícies dos terrenos e, conduzi-las até local apropriado ou permitido pelos órgãos legais. Os materiais mais utilizados são os mesmos dos condutores verticais e, no caso de preferência por ferro fundido, ela se dá devido para garantir maior rigidez e resistência, caso essa tubulação esteja aparente ou desprotegida. A ligação do condutor vertical ao horizontal, segundo a norma, deve ser feita por meio de raio longo com inspeção, ou através de caixa de areia.

As caixas de areia, conforme o próprio nome já diz, são caixas enterradas que tem por finalidade recolher detritos contidos nas tubulações de águas pluviais e, além disso, permitir a inspeção do sistema. Os detritos que porventura possam existir ficam retidos na areia e posteriormente podem ser retirados (TIGRE, 2013). Esse tipo de caixa pode possuir grelha, para também coletar águas do piso. A figura 2.9 apresenta um sistema completo de captação e condução de águas pluviais.

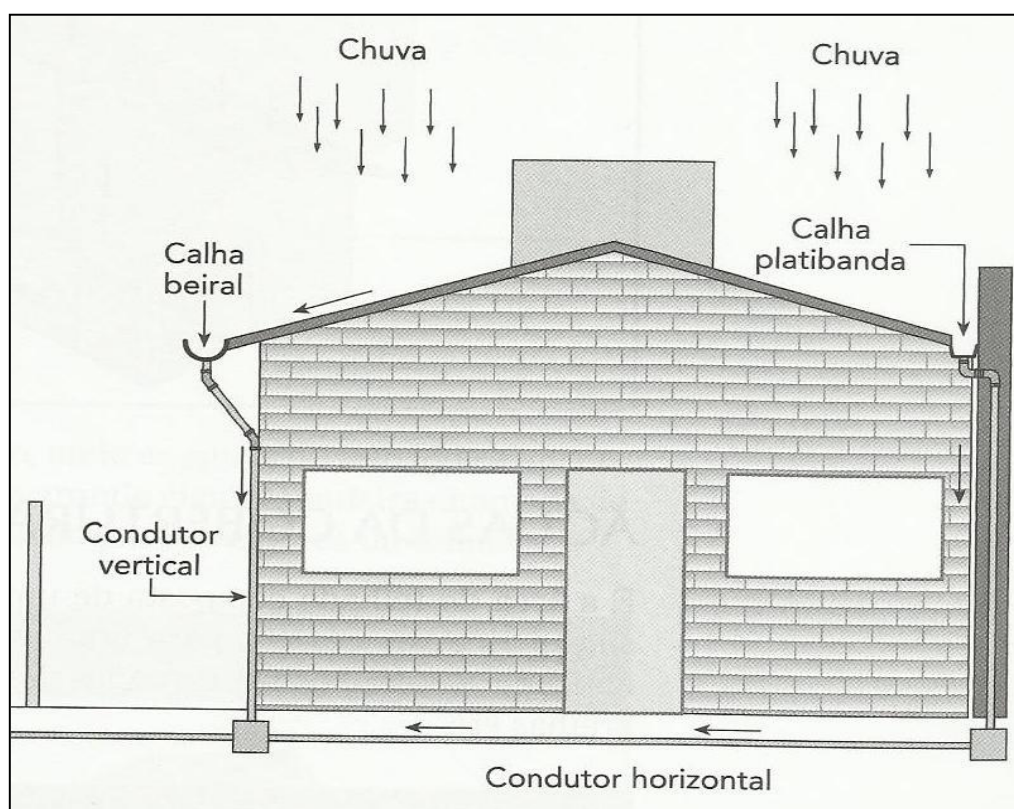


Figura 2.9 - Instalação predial de águas pluviais.

Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2013, p.179

O sistema de instalação predial de águas pluviais, ainda pode possuir cisternas ou reservatórios independentes das demais instalações para armazenamento das águas captadas, podendo estas ser reaproveitadas com algum fim que não seja o consumo. Essas práticas evitam a utilização de água potável onde esta não é necessária, como por exemplo, na descarga de sanitários, irrigação de jardins e lavagem de pisos, equipamentos e carros. Tal uso provoca uma redução no consumo da água tratada, com conseqüente redução de gastos para a rede de tratamento, e para o consumidor (BRAGA, 2006). Essa solução tem sido cada vez mais utilizada no Brasil, pois, além da economia financeira, é indicada para épocas de escassez.

2.1.2 Tecnologias Utilizadas no Brasil

A construção civil tem buscado inovações estruturais e soluções que possam minimizar custos e acelerar o processo construtivo, porém, muitas tecnologias requerem equipamentos e mão de obra especializada, como por exemplo, estruturas metálicas. Há uma diferença na construção civil de grandes e pequenas cidades. As novas tecnologias demoram a chegar até as cidades menores e/ou distantes dos grandes centros, bem como equipamentos e até mesmo o transporte de materiais se torna caro devido a distância.

Em grandes cidades tem sido comum o uso de estruturas metálicas ou de concreto pré-moldado, ambas com vedação em *drywall* ou em placas de concreto. Também é comum a utilização de estruturas de concreto protendido, entre outras tecnologias. No entanto, as estruturas comumente encontradas em qualquer cidade do território nacional ainda são as de concreto armado moldado *in loco* (industrializado ou feito na obra) e alvenaria estrutural. Esses dois tipos de estruturas possuem normas específicas e bibliografia reconhecida, são aceitos e acessíveis construtivamente.

O tipo de estrutura é determinante na concepção do projeto hidrossanitário, assim como a função da edificação e o projeto arquitetônico. No entanto, independente da estrutura as condições de velocidade, pressão, os materiais e as prescrições das normas NBR 5626 (ABNT, 1998) para sistema de água fria, NBR 7198 (ABNT, 1993) para sistema de água quente e a NBR 8160 (ABNT, 1999) para sistema de esgoto sanitário, continuam as mesmas (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

As estruturas de concreto armado permitem variados sistemas de vedação, no entanto o mais utilizado ainda é alvenaria com bloco cerâmico furado, com revestimento de argamassa em ambas as faces, apresentando uma espessura final de paredes externas de aproximadamente 20 cm e internas de 15 cm.

Neste tipo de sistema, costuma-se embutir as tubulações de água nas paredes, rasgando-se a alvenaria e fixando-as com argamassa em alguns pontos. Posteriormente, os rasgos são fechados com argamassa até ficarem nivelados com a alvenaria, para enfim serem revestidos com o mesmo material do restante da parede, que, em banheiros ou cozinhas, geralmente é cerâmica. Sendo assim, se a tubulação precisar de manutenção, as paredes necessitam ser novamente rasgadas e todo o revestimento, precisará ser retirado e substituído, pois dificilmente se conseguirá emendar somente a parte danificada, de forma uniforme. A figura 2.10 mostra uma instalação predial de água quente e fria, embutida na parede de

alvenaria, e no canto esquerdo, mostra um rasgo na alvenaria, onde a tubulação ainda não foi colocada.



Figura 2.10 - Instalação predial de água quente com tubulação embutida na parede.

As tubulações de esgoto possuem diâmetros maiores, então nem sempre é possível ou aconselhável que a mesma, esteja embutida na parede. Assim como não é aconselhável que as tubulações de qualquer instalação predial atravessem vigas ou pilares. Sendo assim, é comum que a canalização vertical do sistema de esgoto sanitário, no caso os tubos de queda e de ventilação, estejam escondidos em *shafts*. Nesse caso, as tubulações são fixadas à parede com braçadeiras ou suportes metálicos. Os *shafts* geralmente são fechados com alvenaria ou com argamassa, mas existem muitas outras formas, como por exemplo, placas de gesso.

É possível que a tubulação de água também chegue a cada unidade autônoma através do mesmo *shaft* da tubulação de esgoto, e também que seja distribuída a cada aparelho por meio de *shaft*, no entanto é mais comum a mesma encontrar-se no interior das paredes.

Os ramais de esgoto são tubulações horizontais do sistema de esgoto sanitário então, assim como as caixas sifonadas, caixas de gordura e ralos, precisam estar no piso de cada

unidade autônoma. Isso comumente é feito de duas formas. Uma delas é rebaixar em aproximadamente 25 cm as lajes dos cômodos que contém os aparelhos sanitários. Dessa forma seriam rebaixadas as lajes do banheiro, da cozinha e da área de serviço. Esses rebaixos nas lajes necessitam estar previstos no projeto estrutural. A maior vantagem desse sistema é que qualquer manutenção na rede de esgoto é realizada dentro do apartamento do usuário e não necessita perturbar o vizinho. A não ser pelo ruído que será gerado ao se quebrar os pisos e outros elementos necessários, mas pelo menos não será necessário entrar no apartamento do vizinho.

A outra maneira é manter todas as lajes no mesmo nível e embutir na laje as caixas sifonadas, caixas de gordura e ralos. A tubulação de esgoto é fixada abaixo da laje e posteriormente, após a instalação estar concluída, tudo que estiver aparente é escondido por um forro de gesso. Portanto, nesse caso, o forro do banheiro, da cozinha e da área de serviço é rebaixado com gesso. A vantagem desse sistema é que em caso de manutenção não é necessário quebrar o piso do apartamento, apenas retira-se uma das placas de gesso onde ocorreu o problema e, posteriormente recoloca-se. No entanto, esse procedimento ocorre no apartamento do vizinho do pavimento inferior ao que está com problema, e isso pode ocasionar sérios problemas. A figura 2.11 mostra uma tubulação de esgoto instalada abaixo da laje.



Figura 2.11 – Instalação de esgoto sanitário sob uma laje nervurada.

Em edificações de alvenaria estrutural as instalações de esgoto sanitário como os ramais de esgoto, as caixas e conexões, geralmente estão situadas abaixo da laje. A figura 2.12 mostra uma laje de concreto armado lisa moldada *in loco*, em uma obra de alvenaria estrutural com as paredes rebocadas e a tubulação de esgoto e água fixada abaixo da mesma.



Figura 2.12 – Sistema de instalação hidrossanitário fixado sob a laje.

Quanto às tubulações verticais, tanto do sistema de água quanto de esgoto sanitário, podem-se encontrar as seguintes opções de execução em obras de alvenaria estrutural: paredes hidráulicas; *shafts* verticais; tubulações no interior de paredes estruturais e enchimento com argamassa ou tijolos de vedação (SANTOS, 1998).

Segundo o mesmo autor, nas paredes hidráulicas, é permitida a execução de rasgos, para embutir a tubulação, tendo em vista que essas paredes não são estruturais. Sendo assim, a tubulação é embutida na alvenaria e posteriormente os rasgos são fechados com argamassa. Esse tipo de solução requer alguns cuidados durante a execução, para que em nenhum momento essas paredes sejam submetidas a algum tipo de carregamento ou suportem paredes não hidráulicas. A figura 2.13 mostra uma parede hidráulica com a tubulação de água fria.



Figura 2.13 – Parede hidráulica com tubulação de água fria.

Os *shafts* costumam ser a solução adotada na maioria das obras de alvenaria estrutural. O fechamento dos *shafts* pode ser realizado de quatro maneiras: utilizando-se tela metálica ao redor dos canos e posteriormente preenchendo-se com argamassa; tijolos cerâmicos maciços assentados com argamassa; blocos cerâmicos de vedação assentados com argamassa e, chapas de fibra de vidro ou PVC parafusadas. Cada um desses sistemas tem suas particularidades, no entanto, os dois últimos métodos citados apresentam mais vantagens que os demais, tanto do ponto de vista construtivo quanto de manutenção das instalações hidrossanitárias. A figura 2.14 mostra a tubulação fixada com tela e o *shaft* fechado com bloco cerâmico furado.



Figura 2.14 – *Shaft* em obra de alvenaria estrutural.
Fonte: SANTOS, 1998, p 82.

Em alguns projetos, a parede que abriga a tubulação é comum a duas unidades autônomas diferentes. Sabe-se que a passagem do fluido pela tubulação, provoca movimento (vibração), o que pode ocasionar efeitos sonoros sensíveis ao ouvido humano. Sendo assim, a cada vez que algum equipamento hidrossanitário de um apartamento é acionado, a tubulação sofre uma reação, que é sentida pelo usuário da unidade autônoma vizinha. Tal fato pode gerar sérios problemas de conforto e privacidade para ambos os moradores.

Os aparelhos que compõem a instalação hidrossanitária de um banheiro comum são: bacia sanitária, lavatório e chuveiro. Cada um desses equipamentos possui tamanho, cor, marca, design, preço ou outras características, bastante variadas. No entanto, independente do modelo escolhido, esses três aparelhos são indispensáveis para a configuração básica de um banheiro residencial.

2.1.3 Patologias Encontradas

Gnipper (2007) entende que todo sistema ou subsistema que não atende algum requisito de desempenho, principalmente aqueles exigidos por legislação específica, regulamentação ou normalização técnica, está sujeito a uma patologia (problema real, com sintomas já manifestos) ou a uma inconformidade (problema potencial ou já instalado e ainda sem sintomas aparentes).

Os Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários (SPHS), segundo Ilha (2009), são caracterizados pela sua complexidade funcional e pela inter-relação dinâmica entre os seus diversos subsistemas, além da grande variedade de materiais, componentes e equipamentos tais como tubos, conexões, registros, válvulas, acessórios, reservatórios, bombas, tanques, equipamentos de controle e medição, entre outros. Para Gnipper (2011), todas essas particularidades podem contribuir significativamente para uma enorme diversidade de manifestações patológicas, que vão desde falhas em certos equipamentos até variações de grandezas hidráulicas, térmicas e pneumáticas relacionadas ao uso dos aparelhos sanitários.

O mesmo autor afirma que as causas de patologias em sistemas prediais hidrossanitários têm sido ainda pouco pesquisadas em âmbito mundial, o que também ocorre no Brasil. Provavelmente porque tais estudos demandam grande quantidade de recursos, longos períodos de observação, ensaios, simulações e testes invasivos e/ou destrutivos em escala real em edificações existentes. No entanto, Carvalho Júnior (2013) estima que 75% das patologias da construção são decorrentes de problemas relacionados às instalações hidráulicas prediais.

São apontadas como principais causas de patologias originadas por fatores inerentes à própria edificação: falhas decorrentes de projetos, erros de execução, de componentes e de utilização (MARTINS, 2003). Na fase de projeto das instalações prediais, podem ocorrer vícios por falhas de concepção sistêmica, erro de dimensionamento, falta de detalhamentos construtivos ou de especificações de materiais, entre outros (GNIPPER, 1993). Ainda pode ocasionar patologias, a falta de comunicação entre projetistas, gerando a incompatibilidade de projetos, que forçam a tomada de decisões ou soluções no momento da execução, sendo estas geralmente não planejadas.

Gnipper (2011) menciona como patologias mais frequentes em sistemas prediais hidrossanitários a presença de ruídos; golpe de aríete; vazamentos e/ou desperdícios de água na operação de válvulas de descarga de bacias sanitárias; dificuldades de acionamento;

transmissão de vibração e ruídos na operação de bombas de recalque de água potável em edifícios altos; água fria infiltrando em tubulação de distribuição de água quente, e vice-versa; degradação de tubulações de PVC expostas à incidência direta de luz solar; acúmulo de ar em colos altos de trechos de tubulações de distribuição de água fria e quente conformando sifões; desperdício de água e rompimento frequente de engates flexíveis em aparelhos sanitários de apartamentos de andares baixos em edifícios de múltiplos pavimentos; períodos prolongados de desabastecimento durante limpeza de reservatório; retorno de espuma/refluxo de esgoto em ralos sifonados de unidades habitacionais de pavimentos baixos, em edifícios; mau cheiro proveniente de ralos sifonados; entupimentos em subcoletores e coletores prediais de esgoto; e a lista poderia alongar-se ainda mais, se fossem consideradas os sistemas pluviais.

Numa lista tão ampla, poucas edificações ficam livres de um ou mais desses problemas, que em prédios públicos muitas vezes passam despercebidos, devido a pouca permanência do usuário no local, no entanto, numa propriedade privada, podem gerar grande incômodo e mal estar. Uma das patologias citadas, o ruído, pode causar inclusive desconforto entre vizinhos e falta de privacidade. Infelizmente nas instalações prediais das edificações brasileiras, essa patologia está presente de alguma forma em praticamente todas as construções.

2.2 O ruído

Gerges (1992) entende que o som é um fenômeno físico e que o ruído é uma interpretação humana desse fenômeno, quando não desejado. Sendo assim, um som é produzido se houver uma variação de pressão sonora, entre outras condições físicas, mas o ruído requer um ouvinte, para realização de um julgamento subjetivo (LONG, 2006).

O som é um fenômeno físico, que pode ser descrito como o movimento ondulatório de partículas no ar ou em outro meio elástico (EVEREST, 2001). Pode ser audível ou não. Para que a maioria das pessoas possa ouvir tal fenômeno, este deve se propagar em uma faixa de frequência de 20Hz a 20KHz, aproximadamente, e deve provocar uma variação na pressão atmosférica de, no mínimo, 2×10^{-5} Pa (BISTAFA, 2006).

Podem ser entendidos como ruído todos os sons desagradáveis, perturbadores ou que provocam danos à saúde e ao meio ambiente (MURGEL, 2007). O incômodo provocado pelo ruído em um ser humano varia de acordo com a interpretação de cada indivíduo, em relação

ao mesmo som, também pode ser influenciado pelos costumes e pela circunstância em que ocorre a exposição (BARBOSA, 2011).

Conforme mencionado, Gerges (1992) faz uso do conceito de som indesejado para definir ruído, no entanto, quando se trata de alarmes, sirenes de ambulâncias ou qualquer outro tipo de som que exerça função de aviso, pode-se sim dizer que são indesejados, mas não pelo motivo do incômodo sonoro, muito mais pelo fato de que quando esses sons são acionados, é sinal de que alguma coisa ruim aconteceu. Contudo, é desejável que tais sons sejam ouvidos e chamem atenção, por isso possuem frequência e modulação, que dificilmente passará despercebida por um ouvinte em condições normais.

Dessa forma, fica cada vez mais claro que o conceito de ruído não é assim tão simples e pode gerar inúmeras discussões. Por isso, Paul (2010) sugere que no meio acústico sempre se mencione que ruído é o som composto por vibrações não-harmônicas, em comparação com o som musical, e quase sempre pode ser entendido como um som indesejável ou desagradável, mas esse conceito depende de uma série de fatores físicos e não físicos.

2.2.1 Percepção humana ao ruído

Para que um ser humano possa ouvir um som, ele precisa de um sistema auditivo completo e saudável. A anatomia da orelha pode ser subdividida em três partes: orelha externa, orelha média e orelha interna (LONG, 2006). Quando um som é gerado e há alguém nas imediações para escutá-lo, acontece uma sequência de eventos: som gerado; o som se propaga até a aurícula e, posteriormente, para o interior do conduto externo auditivo; o tímpano vibra; os ossículos da orelha média vibram (estribo, bigorna e martelo); ondas de pressão são transmitidas para o líquido no interior da cóclea; a cóclea codifica o som e, finalmente, o som codificado é transmitido ao cérebro via nervo auditivo (BISTAFA, 2006). Essa é a descrição do ponto de vista da fisiologia humana.

A acústica subjetiva por sua vez, divide a mesma sequência de acontecimentos em: evento sonoro; estímulo sonoro; evento auditivo; sensação sonora e percepção sonora (PAUL, 2013). O evento sonoro independe de ter um ouvinte próximo para ocorrer. No entanto, quando ele ocorre com condições de pressão e frequência dentro dos limites estabelecidos e próximo de um ouvinte, o aparelho auditivo é estimulado, portanto há um estímulo sonoro,

que ao percorrer todo o caminho descrito no parágrafo anterior, finalmente chega no córtex auditivo e provoca uma sensação sonora. A figura 2.15 é uma ilustração do que foi descrito.

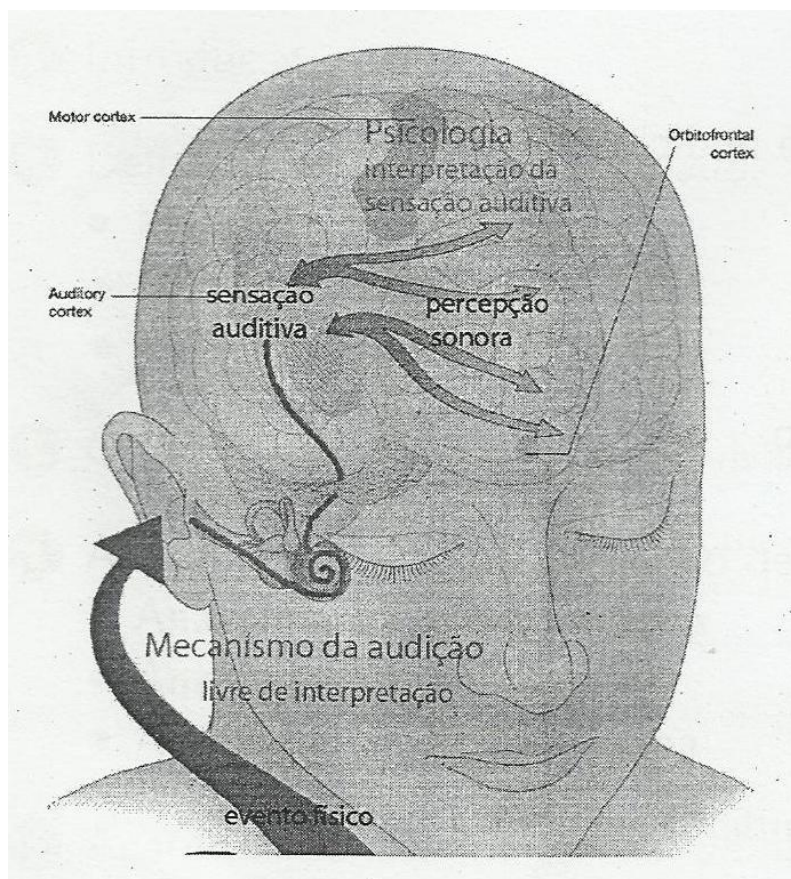


Figura 2.15 – Ilustração do caminho percorrido pelo som até provocar uma sensação sonora.
Fonte: PAUL, 2013, p 14

A sensação auditiva ainda está dentro do campo de estudos da psicoacústica, pois é um evento físico, impessoal e, portanto, pode ser modelado. Dados dois seres humanos normais, expostos ao mesmo estímulo sonoro, ambos terão praticamente a mesma sensação sonora. No entanto, essas mesmas pessoas poderão perceber este som de forma completamente diferente. Caso o evento sonoro seja uma música, um poderá julgar este som como agradável e o outro poderá considerá-lo indesejado ou desagradável. Mesmo que eles estejam ouvindo a mesma coisa.

A maneira que cada indivíduo percebe o som depende de suas experiências cognitivas e afetivas, e da sua situação no momento da exposição ao evento sonoro, sendo assim, um

som audível pode provocar os mais variados efeitos, sentimentos e memórias em cada um. No entanto, há tipos de sons, com características definidas, que quase sempre ocasionarão reações desagradáveis numa pessoa normal, seja pelo desconforto físico (auditivo) ou psicológico.

O som gerado pelas instalações hidrossanitárias, em qualquer tipo de edificação, em condições normais de funcionamento da instalação, é sempre considerado indesejado ou desagradável. Sendo assim, pode ser considerado ruído.

2.2.2 O ruído e a saúde

As pessoas estão cercadas por sons aos quais estão acostumadas, que demonstram que há vida ao redor delas e que, juntamente com os outros sentidos, as conectam ao mundo (CLEMESH, 2005). Essa paisagem sonora, na qual o ser humano está inserido, certamente provocará efeitos positivos ou negativos tanto no seu corpo, quanto no seu estado emocional. Tal situação está de acordo com a 3ª lei de Newton: toda a ação provoca uma reação. Essa lei também é válida para o som gerado em relação a um ouvinte, ele irá reagir de alguma forma a essa ação. O corpo humano reage inclusive a sons não audíveis, há partes do corpo que entram em ressonância com frequências abaixo de 16 Hz.

Para a Organização Mundial de Saúde (OMS), saúde não é apenas a ausência de doenças, mas é o estado de completo bem-estar físico, mental e social (WHO, 1999). Sendo assim, se o ruído tem influência sobre o estado psicológico e físico de uma pessoa, ele está diretamente relacionado com a saúde.

A exposição contínua a níveis de pressão sonora (NPS) elevados pode ocasionar diversos problemas, tais como: perda de concentração, dores de cabeça, palpitações, enfarto e muitos outros sintomas que afetam, consideravelmente, a vida das pessoas. Segundo o guia para ruído da OMS, já é possível perceber efeitos negativos moderados com níveis a partir de 50dB(A) (WHO, 1999).

O ruído atua, através do aparelho auditivo, sobre o sistema nervoso do ser humano. Quando o estímulo ultrapassa certos limites, pode causar surdez e efeitos patológicos momentâneos ou definitivos (REBOLLO, 2011). A perda de audição temporária é causada por lesões nas células ciliadas, quando expostas a ruído intenso e não é definitiva, porque as células se recuperam. No entanto, há exposições tão violentas, que causam lesões graves ou até o desaparecimento das células ciliadas, e conseqüentemente, perda permanente da audição

(BISTAFA, 2006). Níveis de pressão sonora acima de 120dB causam dor física no ouvido (LONG, 2006), mas não necessariamente surdez, pois vai depender do tempo de exposição a esses níveis. Esse valor é conhecido como limiar da dor.

O ruído pode influenciar negativamente a saúde não só pelos altos níveis, mesmo com valores muito mais baixos, pode provocar mal estar, dificultar ou impedir a atenção, a comunicação, o descanso e o sono. A repetição dessas situações pode provocar um estado crônico de nervosismo e estresse, o que por sua vez pode gerar transtornos psicofísicos, doenças cardiovasculares e alterações no sistema imunológico (REBOLLO, 2011).

A respeito do sono, pesquisas demonstram que ele sofre em locais barulhentos, ainda que as pessoas não acordem completamente, e que o ruído vivenciado durante o dia contribui negativamente para a qualidade do sono à noite (EVANS, 2001; PIMENTEL-SOUZA, 2004). Além disso, diferenças abruptas de nível de ruído chamam mais atenção que níveis médios de ruído constante ou rítmico, por isso têm maior probabilidade de acordar o indivíduo (CLEMESH, 2005). Nesse contexto, o ruído provocado pelas instalações hidrossanitárias, ganha destaque, pois se enquadra nessa definição, está presente em grande parte das edificações multifamiliares e pode provocar distúrbios no sono, entre outros efeitos.

2.2.3 Tipos de ruídos

Para que o som possa se propagar, é necessário que haja um meio elástico, seja ele um material sólido, líquido ou gasoso (MÉNDEZ et al., 1994). Em uma edificação, as ondas sonoras podem ser transmitidas através do ar ou por meio da estrutura. Se a propagação da onda sonora ocorrer por via aérea, as ondas são ditas longitudinais, pois a propagação da onda se dá no mesmo sentido do deslocamento das partículas. Se a onda sonora se propagar através de uma estrutura, podem aparecer outros tipos de ondas como as de torção, cisalhamento e de flexão (PAIXÃO, 2002).

A propagação sonora é comumente estudada, em torno de três componentes: uma fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor ou ouvinte (BISTAFA, 2006). O fenômeno físico, som, não depende de um ouvinte para acontecer, mas o ruído, levando-se em consideração o conceito subjetivo, necessita de alguém que o julgue indesejado ou incômodo, sendo assim, se faz necessário um ouvinte.

Segundo Souza et al. (2003), os ruídos existentes em um ambiente são decorrentes das atividades internas e externas à edificação. E há dois tipos de ruídos que podem ser ocasionados por essas atividades: ruído aéreo e ruído de impacto. Ferraz (2008) afirma que os sons gerados pela conversa humana ou por instrumentos musicais, ventiladores, motores, maquinários, aviões e automóveis são exemplos de fontes sonoras que produzem o ruído aéreo. O ruído de impacto é, geralmente, produzido por vibrações (impacto em pisos, motores, elevadores, ruído hidráulico, etc.) nos elementos da edificação – paredes, pisos, coberturas, entre outros.

2.2.3.1 Ruído aéreo

Sons aéreos radiam diretamente de uma fonte e podem se propagar através do ar. O som do tráfego, da música, das vozes em uma conversa, de um avião, são exemplos de sons que chegam aos ouvintes através do ar.

Para se obter o correto isolamento acústico do ruído aéreo, deve-se evitar que o meio transmissor do ruído (o ar) circule livremente. Concretamente, precisa-se evitar o caminho de transmissão direta entre emissor e receptor, mediante a colocação de barreiras, paredes, divisórias, enfim, obstáculos, que dificultem a transmissão (REBOLLO, 2011).

O isolamento sonoro de sons aéreos entre dois espaços interiores, ou entre um espaço interior e o exterior, depende, não apenas, das características do elemento de separação, como também da presença de discontinuidades. Nos elementos de construção e, em particular nas paredes de alvenaria de tijolo, é comum se ver a existência de diferentes tipos de materiais incluídos no seu interior, como os pertencentes às instalações de águas, esgotos ou eletricidade. A presença destes elementos pode alterar significativamente o isolamento conferido por tais paredes (PIÃO; GODINHO; TADEU, 2008).

Uma placa de metal pesado com buracos de área aproximadamente 13% do tamanho total da placa pode transmitir 97% do som que incide sobre ela. A quantidade de som que pode passar através de uma pequena fenda ou abertura em uma parede sólida é surpreendente. Frestas embaixo da porta ou folgas nas caixas das instalações elétricas podem comprometer as propriedades de isolamento de uma excelente estrutura. Para garantir isolamento do ruído aéreo, a estanqueidade é especialmente necessária (EVEREST, 2001).

Além disso, duas variáveis que afetam consideravelmente o isolamento acústico são a massa e a frequência. Se um elemento possuir massa constante, ao aumento da frequência do som incidente está associado um aumento do isolamento acústico, em decorrência do menor poder de vibração do elemento e conseqüentemente, do aumento da dissipação de energia. O mesmo ocorre com o aumento da massa de um elemento, nesse caso o isolamento sonoro aumenta devido ao aumento das forças de inércia (PIÃO; GODINHO; TADEU, 2008).

A colocação de uma barreira sólida é o método mais comum de controlar a transmissão sonora entre um ambiente e outro. Porém, a passagem do som, nesta situação, nunca é completamente bloqueada, no entanto, é possível atingir valores especificados para a diferença desses níveis sonoros.

A capacidade do material de uma parede transmitir (ou isolar) som está diretamente ligada ao seu coeficiente de transmissão sonora (τ), pois quanto maior for o valor de τ , maior será a intensidade transmitida, ou seja, menos isolante será a parede (BISTAFA, 2006). Apesar disso, o parâmetro mais comumente utilizado para caracterizar a isolação sonora de uma parede não é o coeficiente de transmissão sonora, mas sim uma grandeza oriunda dele, cuja unidade é o dB, chamada de *perda de transmissão sonora (PT)*.

Dessa forma, valores de *PT* altos indicam baixa transmissão de energia acústica, resultando em um alto isolamento, conseqüentemente, valores baixos de *PT* indicam alta transmissão, significando um baixo isolamento (PAIXÃO, 2002). Essa grandeza é dada pela equação 01:

$$PT = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau} \quad (\text{Equação 01})$$

Onde, τ é o coeficiente de transmissão sonora. Segundo Ferraz (2008), a perda de transmissão pode ser calculada como a diferença entre o Nível de Pressão Sonora (*NPS*), correspondente ao termo inglês *Sound Pressure Level (SPL)*, do ambiente que contém a fonte, e o nível de pressão sonora do ambiente receptor, descontando-se a influência proveniente do campo reverberante no ambiente receptor, conforme equação 02.

$$PT = NPS_{\text{ambiente da fonte}} - NPS_{\text{ambiente receptor}} - \text{Ruído reverberante}_{\text{ambiente receptor}} \quad (\text{Equação 02})$$

Em relação ao isolamento do ruído aéreo de um material, a massa não é a única responsável por garantir alta PT, outras propriedades também interferem nos resultados. Por isso, nem sempre a melhor solução acústica é a que apresenta a maior massa, até porque o aumento da massa pode ocasionar problemas estruturais. Uma solução melhor para projetos que exigem alta perda de transmissão, sem o emprego de grandes massas, é o uso de paredes duplas (ou triplas) (GERGES, 1992).

Pode-se descrever uma parede dupla como a combinação de fechamentos paralelos, afastados entre si, compostos por materiais de mesma natureza ou não, formando espaço preenchido pelo ar ou por algum material absorvente acústico, garante um isolamento maior que o efeito produzido pela lei da massa, para uma mesma espessura. É o chamado efeito sanduíche (SILVA, 1997).

A *PT* de um painel ou material também pode ser chamada de Índice de Redução Sonora (*R*) ou *Sound Reduction Index* (FAHY, 1985), que pode ser obtida através de ensaio realizado em laboratório, descrito pela ISO 10140-2 (ISO, 2010).

2.2.3.2 Ruído de impacto

Sons indesejados podem invadir um recinto por transmissão mecânica através de uma estrutura sólida. Ruídos de ar condicionado, por exemplo, podem ser transmitidos para uma sala por meio do ar nos dutos, ou através do metal do próprio duto, ou por ambos. Tubulações de água ou canalizações em geral, têm excelente capacidade de transmitir o som (EVEREST, 2001).

Vibrações geram sons que podem ser amplificados pelas superfícies das edificações, pois ondas de impacto podem se propagar a longas distâncias sem atenuação, devido aos elevados valores de velocidade e de densidade do som nos materiais sólidos (GERGES, 1992). O impacto, que provoca a vibração pode até não gerar ruído individualmente, mas se a superfície que está vibrando estiver conectada a uma parede, por exemplo, o ruído é amplificado devido à vibração produzida na parede (MEHTA, 1999).

Sanches e Senchermes (1982) afirmam que a quantidade de energia recebida por uma estrutura ao ser-lhe aplicada uma força, está diretamente ligada a sua variação temporal, à natureza dessa força e à impedância mecânica da estrutura. Esta, por sua vez está

condicionada a vários outros fatores, dentre eles, o tipo da estrutura, a magnitude da reflexão, da velocidade e frequência da vibração, entre outros.

A velocidade de transmissão do som em um meio elástico qualquer, inclusive nos sólidos, depende da rigidez da ligação entre suas moléculas, ou seja, quanto mais rígida for esta ligação maior será a velocidade de propagação da onda sonora. Tal condição é a razão pela qual o som se transmite mais velozmente nos sólidos do que nos líquidos e nos gases. A maior velocidade de propagação, no entanto, não significa necessariamente uma garantia para uma maior quantidade de transmissão, pois não é esta a única condição a ser levada em conta na transmissão (PEDROSO, 2007). A tabela 01 mostra as velocidades de propagação do som em alguns materiais.

Tabela 01 - Velocidade do som em sólidos

Material	Densidade (Kg/m ³)	Velocidade do som (m/s)		impedância característica Longitudinal(Ns/m ³)
		Longitudinal	Transversal	
Metal				
Aluminio(laminados)	2700	6420	3040	17.3
Chumbo (laminados)	11400	2160	700	24.6
Ouro	19700	3240	1200	63.8
Prata	10400	3640	1610	37.9
Cobre (laminados)	8930	5010	2270	44.7
Cobre (recozido)	8930	4760	2325	42.5
magnésio	1740	5770	3050	10.0
Latão (70% Cu, 30% Zn)	8600	4700	2110	40.4
Aço (inox)	7900	5790	3100	45.7
Aço (1% C)	7840	5940	3220	46.6
Zinco (laminados)	7100	4210	2440	29.9
Estanho (laminados)	7300	3320	1670	24.2
Não-metals				
Quartz, fundidos	2200	5968	3764	13.1
Polietileno	900	1950	540	1.76
Poliestireno	1060	2350	1120	2.49

FONTE: adaptado de KUTTRUFF, 2007, p191.

O ruído de impacto se transmite em todas as direções, ou seja, de forma longitudinal, transversal, torcional e na direção de cisalhamento. Bistafa (2006) cita como exemplo de ruídos de impacto o som gerado por pisadas e quedas de objetos em lajes. Ele afirma que esses sons provocam grande desconforto para usuários de prédios por serem ouvidos claramente pelo vizinho de baixo. Isto é possível porque nessa eficiente excitação por contato, a laje se torna um irradiador de energia sonora em ampla faixa de frequências, decorrente do movimento vibratório induzido pela excitação localizada. A figura 2.16 mostra alguns exemplos de causas do ruído de impacto e também a maneira como este pode se propagar.

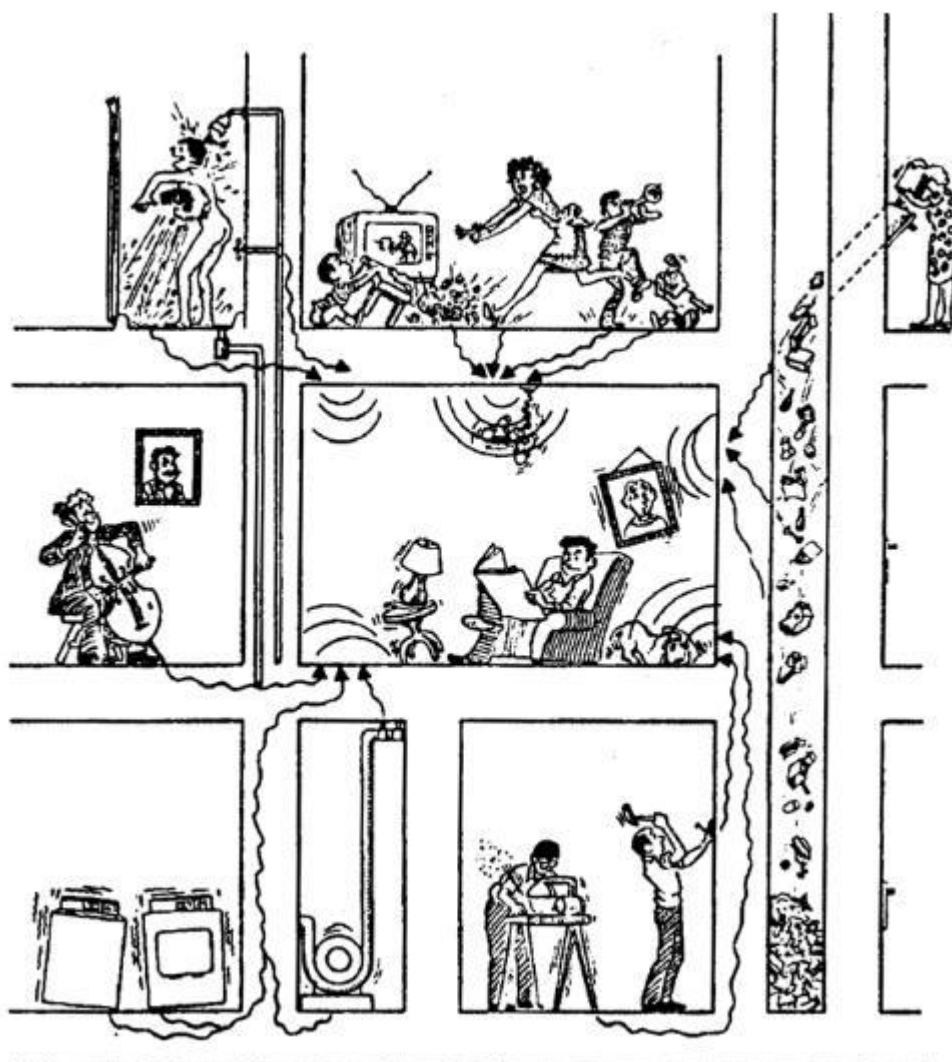


Figura 2.16 – Exemplos de fontes de ruído estrutural
Fonte: SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2003

Os efeitos das excitações dinâmicas nas estruturas não são limitados apenas aos ambientes receptores adjacentes ao local da fonte. Por exemplo, as vibrações induzidas em centros de ginástica, com práticas aeróbicas, podem ser percebidas lateralmente a 30 m de distância numa mesma laje, ou a dez pavimentos abaixo da fonte (LONG, 2006).

Sendo assim, o ruído de impacto pode se constituir num sério problema em edificações, pois é possível que seja sentido em todo o prédio. Devem ser tomadas medidas construtivas no sentido de diminuir a vibração do material ou evitar ao máximo que o elemento que está vibrando entre em contato com outros adjacentes a eles, transmitindo a vibração.

Meisser (1973) utiliza o exemplo de uma barra rígida para explicar uma forma de atenuação da propagação do som em estruturas. Ele explica que quando uma barra é excitada em uma de suas extremidades, se o seu material for rígido, uma pequena parte da energia será refletida sobre si mesmo e o restante será transmitido para a outra parte. Porém, se o material for resiliente, ou seja, flexível e elástico, grande parte da energia será refletida e apenas uma pequena porção da energia será transmitida ao restante da barra.

Da mesma forma que no caso do isolamento do ruído aéreo, uma solução para atenuar o ruído de impacto seria aumentar a densidade da laje ou do sólido submetido a esse ruído, proporcionando assim, maior rigidez ao material. No entanto, isso é inviável na construção civil, pois aumentaria muitíssimo o custo da obra, para se ter um resultado satisfatório em termos de isolamento acústico. Além disso, poderia causar problemas estruturais (BISTAFA, 2006).

Sabendo-se que a solução de aumentar a massa de uma estrutura geralmente se torna inviável para o isolamento ao ruído de impacto, adota-se então para atenuação de tal ruído a utilização de material resiliente entre a estrutura que recebeu o impacto e que, portanto, passará a vibrar, e a estrutura que irá transmitir a vibração. Isso é o que ocorre nos pisos flutuantes, para isolamento do ruído de impacto entre dois pavimentos adjacentes. A figura 2.17 apresenta um modelo físico simplificado do sistema de um piso flutuante.

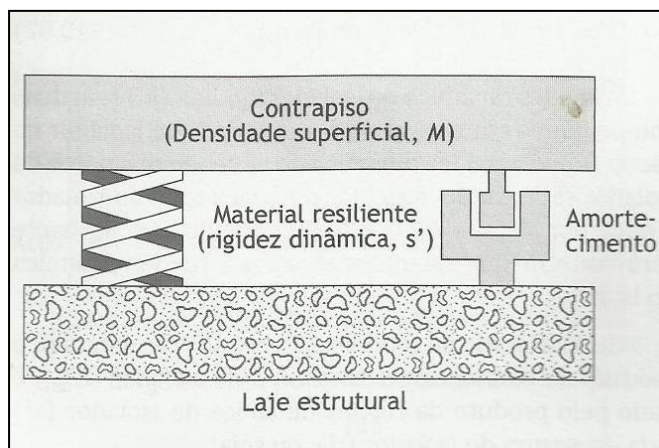


Figura 2.17 – Modelo físico simplificado do sistema de piso flutuante
 Fonte: BISTAFA, 2006, p.289.

O modelo físico da figura 2.17 trata-se de um sistema massa-mola-amortecedor, sendo que a massa do sistema é caracterizada pela densidade superficial (M), a mola é representada pela rigidez dinâmica do isolador (s') e o amortecedor corresponde ao atrito interno do material do isolador. Um parâmetro crítico do desempenho de pisos flutuantes é a rigidez dinâmica do isolador (s') (BISTAFA, 2006).

O mesmo autor sugere alguns materiais que poderão ser usados como isoladores: coxins de borracha ou cortiça espalhados uniformemente ou placas contínuas de lã de vidro, lã de rocha, poliestireno expandido elastizado (isopor elastizado), entre outros materiais.

2.2.3.3 Ruído de instalações hidrossanitárias

O controle do ruído nas edificações residenciais pode subdividir-se em duas áreas principais: o isolamento entre os cômodos da casa ou entre estes e o exterior, e o isolamento em relação ao ruído provocado pelas suas próprias instalações. O ruído originado pelas instalações compreende, principalmente, o ruído gerado por elevadores, pelas instalações de ar condicionado e pelos sistemas hidrossanitários (GRIMWOOD, 1997).

Uma vez que o ruído devido às instalações hidrossanitárias é gerado, ele é transmitido em uma edificação através do ar e por meio da estrutura ou de ligações estruturais. O ruído aéreo pode ser atenuado pela escolha do tipo de parede e forro onde a tubulação está instalada, pelo material isolante que irá envolver os canos e pela localização das instalações em um

lugar mais apropriado (KWOLKOSKI, 2006), no caso em paredes não adjacentes aos cômodos de maior permanência ou que façam divisa com vizinhos. Porém, frequentemente, a maneira dominante de transmissão do ruído dos sistemas hidrossanitários é via estrutural.

Ruídos em sistemas hidrossanitários, geralmente são gerados pelos seguintes mecanismos: regime de escoamento da água na tubulação (turbulento ou laminar); cavitação; impacto da água (respingo) nos aparelhos sanitários; fluxo dos resíduos (esgoto) e golpe de aríete (HOUTEN, 2003). E depende de fatores como a pressão da água, o material da tubulação, a vazão e o método de fixação da canalização na parede ou na laje (HOUTEN, 1994).

Quanto ao regime de escoamento, Houten (2003) afirma que os fatores que mais influenciam no tipo de escoamento são o diâmetro da tubulação (d); a densidade do fluido (ρ); a viscosidade absoluta (μ) e a velocidade de escoamento (v). Essas grandezas estão relacionadas entre si através do número de Reynolds (R), que é definido pela equação 03:

$$R = \frac{dvp}{\mu} \quad (\text{equação 03})$$

Se o número de Reynolds for menor que 2.000, o regime é considerado laminar, porém se for um número maior que 4.000, então o regime é turbulento. Para R entre 2.000 e 4.000, o regime de escoamento se encontra na região de transição e está começando a ser turbulento.

Geralmente os ruídos gerados por regimes laminares são baixos e não chegam a perturbar o usuário, no entanto, na maioria dos sistemas hidrossanitários o regime é turbulento, pois apresentam velocidades altas. O autor expressa uma velocidade na ordem de 2,5 m/s, o que condiz com a realidade brasileira, já que a NBR 5626 (ABNT, 1998) limita as velocidades da água na tubulação em 3 m/s.

Se uma instalação apresentar a máxima velocidade da água permitida pela norma ($v = 3$ m/s), sabendo-se que a viscosidade absoluta da água é $1,14 \times 10^{-3}$ kg/m.s, e sua densidade é 1000 kg/m³, para um diâmetro de 20 mm, o número de Reynolds seria, conforme mostrado na equação 04:

$$R = \frac{0,02m \cdot 3m/s \cdot 1.000kg/m^3}{1,14 \times 10^{-3}kg/m.s} = 52.631,57 \quad (\text{equação 04})$$

O resultado da equação 04 mostra um R maior que 4.000, portanto o regime seria turbulento. E esse regime de escoamento é um dos mecanismos geradores do ruído nas canalizações e acessórios das instalações hidráulicas (HOUTEN, 2003).

Na NBR 5626 (ABNT, 1998), Anexo C, consta que o ruído proveniente das tubulações é gerado pelas vibrações que suas paredes sofrem, em decorrência do escoamento da água. E que essas vibrações não são significativas para velocidades menores que 3 m/s, sendo assim o ruído devido ao escoamento do fluido pela canalização, não é significativo. Segundo Houten (2003) velocidades dessa magnitude podem gerar um escoamento turbulento e, então, as vibrações seriam significativas e provocariam ruído nas instalações.

Outra importante causa de ruído em sistemas hidrossanitários é a cavitação ou a formação de bolhas de ar no interior da canalização, devido a uma restrição na passagem do fluxo (HOUTEN, 2003). As condições para que ocorra cavitação são baixa pressão e alta velocidade, no local onde a passagem será restringida. A NBR 5626 (ABNT, 1998), no anexo C, também aponta como causas de cavitação as bruscas mudanças de direção e de seção do escoamento, que geralmente ocorrem na região de obstrução das peças de utilização, tais como: torneiras, válvulas, registros, entre outros.

A norma brasileira mencionada no parágrafo anterior aponta que a cavitação é a principal causa de ruído nesses componentes, que constam como os principais responsáveis pela geração do ruído em instalações prediais de água fria. Houten (2003), por outro lado, considera o tipo de fluxo o principal mecanismo de geração de ruído em instalações hidrossanitárias.

O fluxo de água na tubulação ou o regime de escoamento não é uma patologia, como a cavitação, que deve ser evitada. Sendo assim, o fluxo, seja ele turbulento ou laminar, vai existir de qualquer forma, a cavitação por sua vez, deve ser evitada, ela não faz parte do projeto das instalações hidrossanitárias. Faz parte de um bom projeto e uma correta execução, impedir a existência da cavitação.

O respingo da água sobre a pia, tanque ou lavatório, quando a torneira é aberta ou sobre o box, no momento da abertura do registro do chuveiro ou em qualquer aparelho hidrossanitário, produz ruído devido ao impacto do fluido sobre as superfícies de contato do equipamento. Esse impacto por sua vez, produz ruído em função da energia cinética da água

ao encontrar as superfícies. Os parâmetros predominantes na geração desse tipo de ruído, segundo Houten (2003) são:

- a) velocidade com que a água sai da bica do equipamento (torneira ou chuveiro);
- b) a altura da bica em relação à superfície;
- c) o tamanho da gota que cai na superfície; e
- d) as características dinâmicas ou propriedades dos materiais da superfície de contato.

Outra fonte de ruído em instalações hidrossanitárias é o fluxo produzido por resíduos ou pela água ao passar pelo sifão, quando apresenta um caráter intermitente. Esse é geralmente o caso em que a canalização tem um longo comprimento ou uma abrupta transição, que pode estar localizada na parede do vizinho, ou ainda quando a tubulação apresenta uma baixa seção ocupada. Houten (2003) afirma que embora o nível de pressão sonora do ruído gerado pelo fluxo do esgoto ou da água possa ser baixo (30 a 35dB(A)), essa experiência pode causar constrangimento e embaraço entre vizinhos, quando o ruído de fundo é baixo, o que geralmente ocorre à noite.

No anexo C da NBR 5626 (ABNT, 1998) está escrito que um intenso ruído em instalações hidrossanitárias também pode ser provocado pelo fenômeno conhecido como golpe de aríete. O choque violento produzido sobre as paredes da tubulação, quando o escoamento é interrompido bruscamente é denominado golpe de aríete (BORGES; BORGES, 1992). Esse fenômeno é muito perigoso e pode inclusive romper a tubulação.

A prevenção do golpe de aríete acontece evitando-se o fechamento brusco de válvulas, absorvendo-se picos de pressão, projetando-se a tubulação de modo que sejam evitados trechos muitos longos, conduzindo diretamente para válvulas e torneiras, melhorando-se a atenuação das ondas de pressão transmitidas através da tubulação e reduzindo-se a velocidade da água. É o que sugere o anexo C da NBR 5626 (ABNT, 1998).

Segundo Houten (2003), alguns componentes do sistema hidrossanitário e equipamentos possuem mecanismos geradores de ruído, são eles: a tubulação; os aparelhos sanitários; os eletrodomésticos e as bombas. O ruído devido à tubulação é relativamente insignificante, se a tubulação for reta, ou seja, não houver desvios no caminho. No entanto, se existirem curvas ou tês, e a velocidade do fluxo na canalização for significativa, então o problema do ruído pode aparecer.

Aparelhos sanitários como pias, banheiras, lavatórios, chuveiros, bacias sanitárias, entre outros, são geralmente fontes de ruído, que podem gerar incômodo nos usuários das edificações. O mecanismo de geração de ruído que pode ser transmitido via estrutura envolve

cavitação de válvulas, impacto da água sobre as superfícies do próprio equipamento e o intermitente fluxo de água ou esgoto em sifões (HOUTEN, 2003).

Eletrodomésticos ligados as instalações hidrossanitárias, tais como: máquinas de lavar louça; máquinas de lavar roupa, entre outros, são considerados desde o projeto das instalações hidrossanitárias, no entanto o ruído provocado por eles se deve mais a potência sonora do equipamento do que à tubulação em si ou ao fluxo de água ou esgoto, proveniente da operação do eletrodoméstico (HOUTEN, 2003).

As bombas, necessárias para abastecimento nos sistemas hidráulicos, podem gerar ruído por dois mecanismos. Um depende de propriedades inerentes à própria fabricação da bomba, relacionadas à pulsação hidrodinâmica e o outro, é através da vibração da bomba sobre a estrutura ou local de suporte (HOUTEN, 2003).

Para Hansen e Goelzer (1996), o controle do ruído indesejado das instalações hidrossanitárias deveria ser considerado uma parte do projeto. E tudo começa com a concepção do projeto em si. Gnipper (2007) afirma que as maiores causas de patologias nos sistemas hidrossanitários, entre as quais cita o ruído, é a falta de detalhamento nos projetos. Sendo assim, deveriam ser acrescentadas especificações considerando medidas mínimas de controle de ruído. Para Houten (2003) os elementos de controle de ruído que deveriam estar especificados em projeto envolvem:

- a) fluxo de água e características da concepção da tubulação;
- b) radiação através da estrutura;
- c) seleção e montagem dos equipamentos;
- d) sistema de isolamento das bombas; e
- e) controle de golpe de aríete.

Quanto ao controle de ruído emitido pelo fluxo da água na canalização, deve-se levar em conta a pressão da água e a canalização. Segundo a Associação Internacional de Mecânicos e Encanadores (1988), as pressões nas tubulações devem estar entre 100kPa e 500kPa, mas o mais indicado para garantir um bom desempenho das instalações é que estejam entre 230 e 370kPa. Contudo, para minimizar os efeitos do ruído, o valor mais baixo 230kPa é desejável. No entanto, outros fatores como altura da edificação, número de pavimentos e quantidade de unidades autônomas influenciam significativamente no sistema de instalações hidrossanitárias.

Quanto à concepção da canalização ou leiaute desta, o ruído pode ser minimizado, quanto menor for o número de conexões e desvios no projeto (HANSEN; GOELZER, 1996). Quanto mais fácil for a passagem da água ou do esgoto, menor será o ruído gerado pelo fluxo.

O ruído que resulta do fluxo da água em tubulações pode ser transmitido para um cômodo, pelo contato da tubulação com as paredes, lajes, forros, etc. Isolando-se esta canalização da estrutura, é possível ter uma significativa redução no ruído. Por exemplo, uma redução de 10dB a 12dB pode ser obtida se a canalização for executada com espuma isolante em vez de ser rigidamente conectada com a estrutura (HOUTEN, 2003). A norma 5626 (ABNT, 1998), no anexo C, também afirma que as tubulações não devem ser fixadas de maneira rígida às paredes ou em divisórias construídas de materiais leves.

Em Denver, nos Estados Unidos, Kwoikoski (2006), realizou medições comparando diferentes sistemas de fixação de tubulações de um chuveiro. As medições foram realizadas em uma edificação residencial, com sistema de água quente e tubulação de cobre. A parede era dupla de gesso preenchida com lã de vidro e a tubulação do chuveiro estava entre as duas placas de gesso. Foram ensaiadas 4 condições de fixação da tubulação na parede. A figura 2.18¹ mostra uma das instalações medidas, utilizando o *Kinetics Noise Control IsoMax-Stub-out*, que é um sistema de fixação das madeiras de suporte da tubulação, nas paredes de gesso, de forma que a conexão não seja rígida.

¹ Figura 2.18 - Tradução: *Wood Blocking* (suporte de madeira); *Isomax Stub-out support* (suporte *Isomax Stub-out*) e *Standard pipe clamp on wood blocking* (braçadeira padronizada para suporte de madeira).

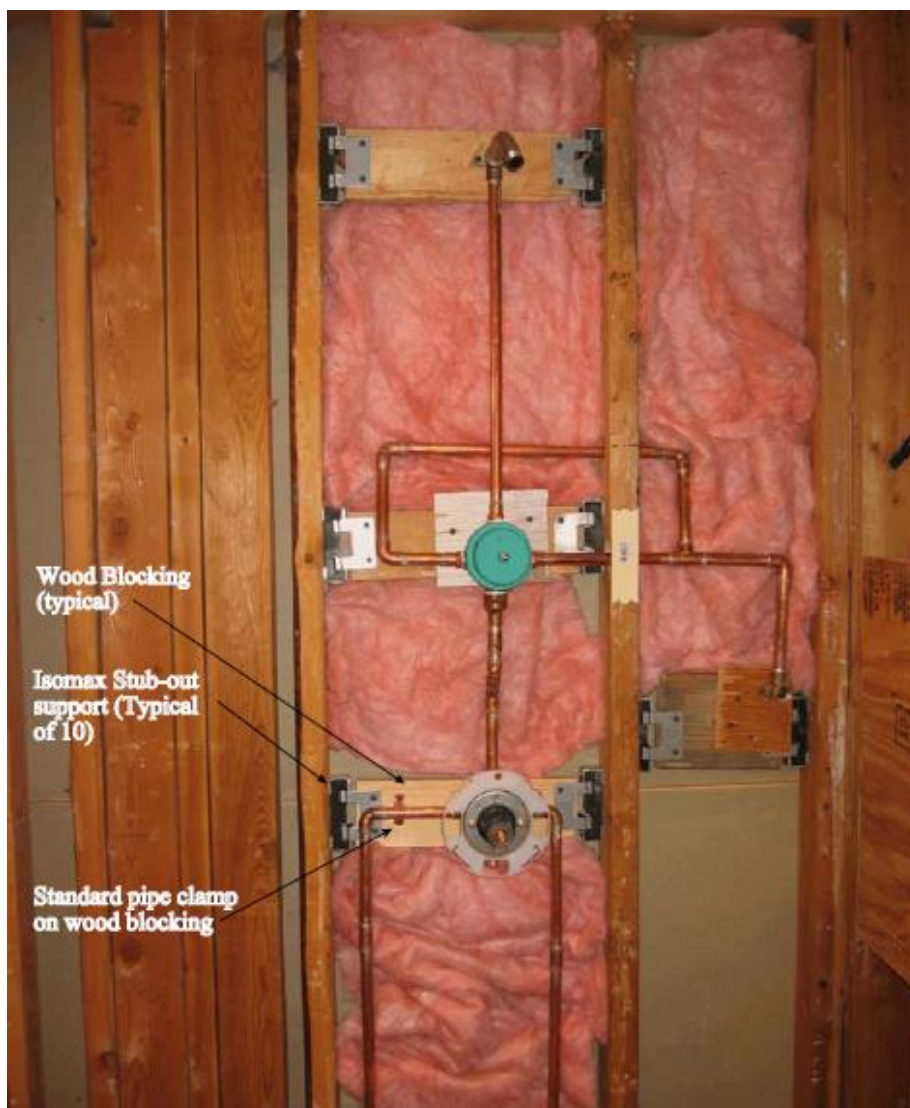


Figura 2.18 – Sistema de fixação de tubulação de água quente.
Fonte: KWOLKOSKI, 2006, p. 4

O autor realizou medições no *hall* do segundo pavimento, sendo que a parede onde estava instalada a tubulação do chuveiro fazia divisa com o local da medição. Não foi mencionada a norma utilizada para medição, nem a grandeza medida. O autor apresenta valores únicos de nível de pressão sonora expressos por (L_p) na ponderação A. O ruído de fundo para esta medição era 20dB(A). Os resultados das medições levaram a conclusão de que houve uma redução de 14dB(A) quando foi utilizado o sistema de fixação flexível *Kinetics Noise Control IsoMax-Stub-out*, em relação à condição 1, em que as madeiras de suporte da tubulação eram fixadas de maneira totalmente rígida às paredes.

O uso de fixadores ou suportes de fixação adequados é decisivo para o bom desempenho acústico das instalações hidrossanitárias. Os fixadores devem ser instalados com cuidado e fabricados com material resiliente, para garantir a separação da estrutura e a não transmissão do ruído através desta (HOUTEN, 2003).

O mesmo autor afirma que quando um tubo de polibutileno é usado para longas conduções verticais do sistema de esgoto e esta tubulação estiver embutida em uma parede divisória, ruídos inaceitáveis podem ser sentidos pelo usuário do cômodo adjacente. Esse ruído pode ser eliminado com o uso de ferro fundido, isolando-o da estrutura.

Um dos meios de isolar a tubulação da estrutura é revesti-la com materiais absorvedores, geralmente vendidos para isolamento térmico, essa técnica é denominada encamisamento da tubulação. Quando usados para controle de ruído, podem provocar reduções no nível de pressão sonora de 6 a 10dB. O material isolante ou de revestimento da tubulação pode ser de algum tipo de fibra, segurado por fita ou adesivo.

Em um estudo de caso realizado no Rio de Janeiro, no bairro Botafogo, Corrêa e Niemeyer (2009), mediram o ruído gerado pelas válvulas de descargas do banheiro ao lado da sala de reunião. Elas realizaram, além das medições, entrevistas, onde constataram que o ruído proveniente dessas instalações perturbava tanto que algumas reuniões foram interrompidas, devido ao funcionamento do aparelho sanitário em questão.

A parede onde estavam instaladas as válvulas das descargas fazia divisa com a sala de reuniões. Sendo assim, as medições foram realizadas no banheiro e na sala de reuniões. Não foi mencionada no artigo a norma utilizada para medição, nem a grandeza medida. Foram fornecidos valores únicos de NPS, na ponderação A e medidas as 4 descargas das bacias sanitárias do banheiro, comprovando-se que a bacia sanitária **d** é a que emitia o NPS mais alto na sala de reuniões, da ordem de 59,90dB(A). A figura 2.19 mostra uma planta baixa da situação medida.

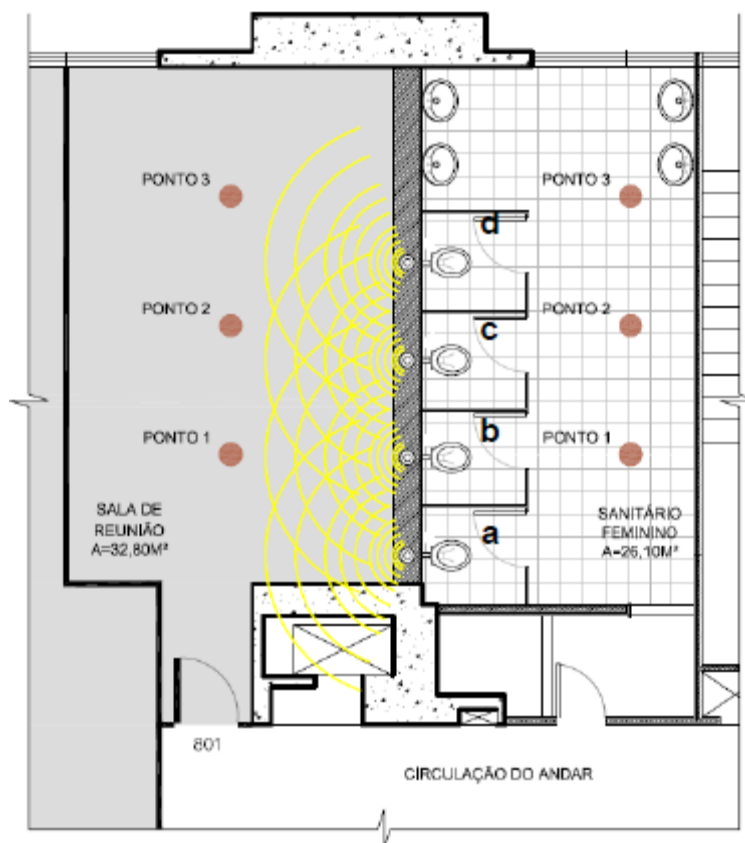


Figura 2.19 – Planta baixa do banheiro e da sala de reuniões, com os pontos de medição.
Fonte: CORRÊA e NIEMEYER, 2006, p. 6

As soluções apontadas por Corrêa e Niemeyer (2009) para atenuação do ruído gerado pela tubulação da descarga são similares às apresentadas por Houten (2003), entre elas destaca-se o revestimento das tubulações com tubos bi-partidos de lã mineral aglomerada, a qual apresenta propriedades de materiais absorventes. Segundo as autoras, o material mencionado tem propriedades acústicas, desde que esteja isolado das paredes da edificação, pois o mesmo não atenua a vibração, mas sim converte a energia sonora proveniente do contato do fluido com as paredes da tubulação, em energia térmica.

Outra solução apontada por Corrêa e Niemeyer (2009) é a substituição do sistema de descarga acionada através de válvula embutida na parede, por bacias sanitárias com caixa acoplada, pois estas evitam a vibração causada pela água ao passar pela tubulação, tendo em vista que, no sistema com caixa acoplada, a água já está armazenada no local. O mesmo já havia sido constatado por Barnewitz (1997), quando afirmou que este sistema pode ser considerado uma evolução das bacias sanitárias, no que se refere ao conforto acústico, porém segundo ela ainda havia muito a fazer e ser melhorado, e ainda há.

Outra solução mencionada por Houten (2003) para evitar ou diminuir a transmissão do ruído das instalações hidrossanitárias é a utilização de *shafts*. Segundo ele, colocar as tubulações dentro de *shafts* é benéfico no controle de ruído que se propaga através da canalização. Se o *shaft* não estiver totalmente conectado com a estrutura e permitir que a tubulação também não fique em contato com a parede, ele poderá auxiliar significativamente na perda de transmissão do ruído.

Em novos sistemas prediais, quantificar o ruído provocado pelas instalações na fase de concepção não é uma tarefa fácil, mas também não é impossível. Os problemas para a concepção de projeto são sempre os mesmos e se resumem em identificação da fonte ou das fontes; conhecimento do caminho de propagação do ruído desde a fonte até o receptor, ordenando os principais contribuintes para o problema; e, finalmente, a determinação de uma solução aceitável (HANSEN; GOELZER, 1996).

Na fase de concepção do projeto, há opções para o controle do ruído e esse problema precisa ser considerado nessa fase, quando as chances de se chegar a bons resultados são maiores. Projetar as instalações de forma que as prumadas passem por paredes de ambientes com menos exigência de ocupação ou por paredes externas também é uma solução (LEAL, 2004).

2.2.4 Grandezas de caracterização de ruído mais utilizadas

Para poder mensurar o ruído transmitido ou gerado pelas instalações prediais, é preciso utilizar grandezas adequadas, que possam expressar com maior exatidão o que uma pessoa sente. É impossível medir por meio de equipamentos ou por meio de grandezas físicas, a percepção de um indivíduo ao ruído, pois a mesma depende de fatores psicológicos não mensuráveis dessa forma. No entanto, o que está ocorrendo fisicamente com o som (ruído) e como uma pessoa normal sente isso, ou seja, se ela ouve ou não este som, e o quanto ouve, é possível medir através da escolha de grandezas adequadas.

Quando se trata de ruído de instalações hidrossanitárias, as grandezas adequadas expressas pela ISO 16032 (ISO, 2004) são o L_{eq} (nível de pressão sonora contínuo equivalente) e o L_{max} (nível de pressão sonora máximo). A norma permite escolher entre as duas grandezas, cabe ao técnico optar por aquela que melhor se adapta ao seu caso. Porém,

para ser mais fácil a compreensão do L_{eq} e do L_{max} , é importante se conhecer o conceito de Nível de Pressão Sonora (*NPS*).

2.2.4.1 Nível de pressão Sonora

Quando se fala da grandeza física **pressão sonora**, a unidade do sistema SI utilizada é Pascal (Pa). A menor variação na pressão atmosférica que o sistema auditivo humano consegue ouvir é na ordem de 0,00002 Pa (limiar da audição). Se essa variação na pressão atmosférica for maior que 63 Pa ela começa a causar dor, por isso esse valor é conhecido como **limiar da dor**. Dessa forma, os sons audíveis compreendem uma variação de pressão imensa, a menor pressão é 3 milhões de vezes menor do que o limiar da dor.

Ao escutar uma variação de pressão, o aparelho auditivo humano não sente toda essa variação de pressão, sendo assim, a sensação da amplitude do som não se dá de maneira linear, mas sim logarítmica. Por isso, se utiliza o conceito de Nível de Pressão Sonora (*NPS*) ou (*L*) referente a palavra *Level* em inglês. O *NPS* é uma grandeza logarítmica calculada a partir da pressão de referência (0,00002 Pa) e da pressão efetiva (p_{ef}), conforme mostra a equação 05.

$$NPS = 10 \log (p_{ef}^2/p_0^2) \quad (\text{Equação 05})$$

2.2.4.2 Nível de pressão sonora equivalente (L_{eq})

Bistafa (2006) afirma que, para registros de pressão sonora durante um determinado período de tempo, é natural que se procure por um nível médio. Uma forma de se calcular esse nível médio é através da expressão mostrada na equação 06, cujo resultado é denominado Nível Equivalente (L_{eq}).

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{L_p(t)}{10} dt \right] (\text{dB}) \quad (\text{Equação 06})$$

Onde $L_p(t)$ é o nível sonoro no instante t e T é o intervalo de tempo de registro. Quando $L_p(t)$ é o nível sonoro ponderado em A, então a unidade do L_{eq} será o dB(A). O L_{eq} é diferente da média aritmética dos níveis sonoros, bem como da média energética e, também, diferente da média ponderada dos níveis sonoros.

O L_{eq} é uma grandeza utilizada por diversas normas e legislações referentes à exposição ao ruído, entretanto, é uma medida questionável para avaliar a perturbação provocada por ruídos impulsivos de curta duração, pois a energia dos impulsos dilui-se durante os momentos silenciosos, para este caso é aconselhável utilizar o L_{peak} . Apesar disso, o L_{eq} tem sido bem aceito para avaliação de ruídos não-estacionários (BISTAFA, 2006).

2.2.4.3 Nível de Pressão Sonora Máximo (L_{max})

O medidor de nível de pressão sonora é capaz de medir diferentes grandezas, todas elas oriundas do nível de pressão sonora (NPS), que é uma grandeza instantânea. Na prática, porém, nunca é medido ou calculado um NPS instantâneo, pois conforme citado na equação 02, o nível de pressão sonora é calculado a partir da p_{ef} , que por sua vez, não é um valor instantâneo, é um valor já integrado, com um intervalo de integração muito pequeno. Sendo assim, o NPS instantâneo é na verdade um NPS efetivo obtido com integração *Fast (F)*, *Slow (S)* ou *Impulse (I)*, e pode ser ponderado em frequência (PAUL, 2012).

A figura 2.20 mostra um gráfico NPS (L_p) no tempo, onde as linhas tracejadas correspondem ao NPS efetivo, que conforme mencionado é uma integração em um pequeno intervalo de tempo, geralmente 1 segundo. O L_{max} é o maior dos valores medidos durante o período de medição, ou seja, é o maior dos NPS efetivos. No caso do gráfico da figura 2.20 o L_{max} é 82,4 dB(X), onde “X” é a ponderação escolhida.

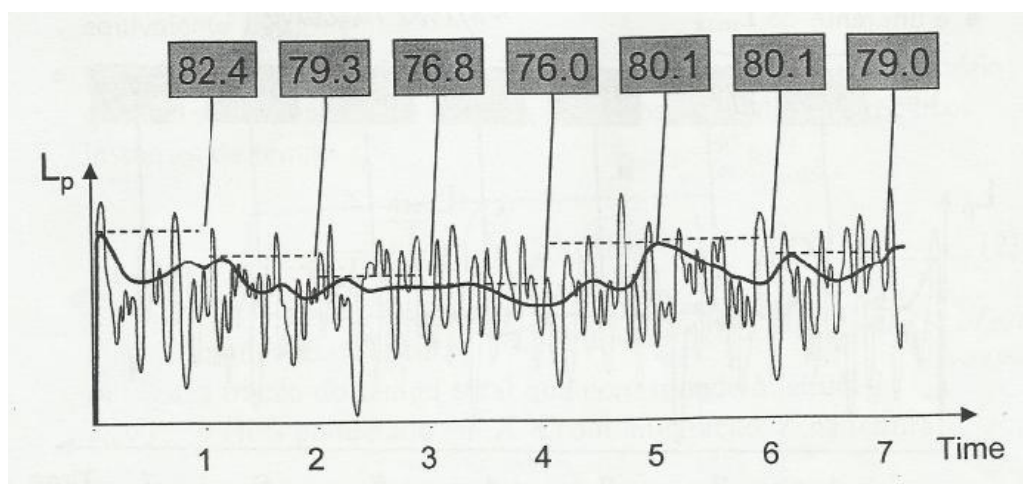


Figura 2.20 – Nível de pressão sonora L_{max}
 Fonte: PAUL, 2012, p

2.2.5 Tempo de Reverberação

A energia de uma fonte sonora, ligada num ambiente fechado, se eleva até atingir uma situação de equilíbrio, que é representada por um nível sonoro estacionário. A energia sonora injetada dentro do recinto, através da fonte, será equilibrada pela energia sonora absorvida (BISTAFA, 2006). A reverberação, depois de ter sido cessado o estímulo gerado pela fonte sonora, é o continuar da energia sonora no ambiente (RUSSO et al, 1993).

A reverberação será maior, quanto maior for o tempo que a energia sonora produzida pela fonte demorar para ser dissipada, ou quanto maior for o tempo para que a energia dentro da sala seja equilibrada. Então, o tempo de reverberação (TR) pode ser definido como o tempo necessário para que o som em uma sala, após desligada a fonte sonora, decaia 60 dB (EVEREST, 2001). O tempo de reverberação, por isso, também é chamado de T_{60} .

O tempo de reverberação depende de características da sala como o volume e a capacidade de absorção dos materiais que a compõem e, também de características do som, como a frequência da onda incidente. Quando um som incide sobre uma superfície, parte da energia sonora é refletida, parte é transmitida e a outra é absorvida. A capacidade de um material absorver a energia sonora é dada pelo coeficiente de absorção (α) (BISTAFA, 2006). A equação 07 define o coeficiente de absorção.

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorvida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad (\text{equação 07})$$

Onde, $I_{\text{absorvida}}$ é a energia sonora absorvida por unidade de tempo, e por unidade de área da superfície. O coeficiente de absorção é função da frequência, pois a energia absorvida depende dela.

Em 1896, W. C. Sabine estabeleceu uma relação entre o tempo de reverberação e a absorção sonora, concluindo que o TR é diretamente proporcional ao volume da sala e, inversamente proporcional à absorção das superfícies existentes no ambiente (BISTAFA, 2006; GERGES, 1992). A equação 08 é conhecida como fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,161.V}{A} \quad (\text{Equação 08})$$

Em que: V é o volume da sala em m^3 e A é a absorção total da sala, que é o somatório da área de cada material existente na sala, multiplicado pelo seu respectivo coeficiente de absorção, ou seja, $A = \sum \alpha.S$, onde S é a área de cada material. O TR expresso na fórmula de Sabine é dado por frequência.

O tempo de reverberação é um importante parâmetro a ser conhecido quando se trata de acústica de salas. Em se tratando de ambientes fechados, mesmo em medições de isolamento acústico, pode ser necessário medir o tempo de reverberação (TR), pois interfere no comportamento do som dentro da sala.

2.3 Medições Acústicas

Medir pode ser entendido como o ato de comparar grandezas ou informações. Segundo Bistafa (2006), medições acústicas fornecem dados sobre amplitude, frequência e fase dos sons em geral. Para medir o NPS é necessário um medidor de nível de pressão sonora (MNPS). Quando se trata de ruído de instalações hidrossanitárias, o que se quer conhecer é o

nível de pressão sonora gerado pelas instalações. Sendo assim, essa medição pode ser realizada em laboratório ou *in loco*.

2.3.1 Medição em laboratório

As medições de ruído de instalações hidrossanitárias em laboratório são regidas pela ISO 3822. Neste caso, é necessário que seja construída uma instalação predial, segundo as normas nacionais de projeto e execução, com velocidade e pressões controladas, para posteriormente simular uma condição de funcionamento e, então, serem realizadas as medições.

A maior vantagem deste sistema de medição é que se tem controle sobre todas as variáveis envolvidas. O ruído de fundo em laboratório deve ser baixo, pois não pode influenciar os resultados das medições. Os materiais utilizados, a forma de execução da instalação, as condições de umidade e temperatura são controláveis e conhecidos. A medição pode ser repetida, pois, uma vez que a instalação está executada no laboratório, ela pode ser medida. A desvantagem da medição realizada em laboratório é que ela nem sempre expressa exatamente a situação que se quer caracterizar.

2.3.2 Medição *in loco*

Para medir ruído de instalações hidrossanitárias *in loco* é necessário seguir os procedimentos descritos pela ISO 16032 (ISO, 2004). Para a realização da medição, as instalações hidrossanitárias devem estar executadas de acordo com as normas nacionais.

A medição *in loco* é uma quantificação ou caracterização de uma realidade constatada no momento da medição, ou seja, naquela situação. Esse tipo de procedimento requer alguns cuidados, pois existem variáveis que não são controláveis fora do laboratório, tais como condições climáticas, presença de outros ruídos, que não são objeto da medição e que podem interferir nos resultados. A vantagem da medição *in loco* é que realmente é representativa da realidade, no entanto, devido a fatores não controláveis, pode ser mais demorado conseguir realizar a medição de maneira eficaz, ou seja, sem a presença de outras fontes sonoras ou de

interferências. Às vezes é necessário esperar muito tempo, para que o ruído residual não interfira nos resultados.

2.4 Legislação

No Brasil, ainda não há normas relacionadas à medição de ruído de instalações hidrossanitárias, por isso faz-se necessário recorrer às normas internacionais já estabelecidas e reconhecidas para fornecerem diretrizes e métodos de medição, bem como as grandezas e unidades a serem medidas.

2.4.1 Comentários sobre a ISO 16032

A ISO 16032 (ISO, 2004) é a norma que regulamenta as medições de nível de pressão sonora, de equipamentos de serviço em edifícios, pelo método de engenharia, *in loco*. Entre os equipamentos de serviço descritos pela norma, encontram-se os aparelhos sanitários.

O item 3 da norma aborda os termos técnicos por ela utilizados e define as grandezas mensuráveis tais como: nível de pressão sonora (L); média do nível de pressão sonora (quando são utilizadas diferentes posições de microfone); nível de pressão sonora, na ponderação A, medido em bandas de oitava, em uma faixa de frequência de 63Hz a 8000Hz (L_A); nível de pressão sonora, na ponderação C, medido em bandas de oitava, em uma faixa de frequência de 31,5Hz a 8000Hz (L_C); nível de exposição sonora (L_E) e tempo de reverberação (TR).

No item 4, são descritas as condições que o instrumento de medição deve atender para realização do ensaio. Para medir o nível máximo de pressão sonora (L_{max}), é necessário um analisador de frequências em tempo real, que seja capaz de fornecer valores em bandas de oitava, na ponderação A ou C, durante um ciclo de operação completa do equipamento a ser medido. Os ciclos dos equipamentos são descritos individualmente no Anexo B da norma. Os instrumentos utilizados na medição, inclusive os microfones, devem ser de classe 1.

O item 5 descreve o método geral de ensaio. Este é padrão para todos os equipamentos de serviço existentes em prédios. Durante a medição de um ciclo completo de operação do

equipamento, pode-se medir o nível de pressão sonora máximo (L_{max}), em bandas de oitava, na ponderação A ou C, ou o nível de pressão sonora equivalente contínuo (L_{eq}). Pode ser usado como tempo de integração S (*slow*) ou F (*fast*). Durante o ensaio, as portas e janelas dos cômodos envolvidos, devem permanecer fechadas. As grandezas que podem ser obtidas a partir desse método de medição são dadas pela norma e apresentadas no quadro 2.1

	A- curva de ponderação(calculada para valores em bandas de oitava, na faixa de frequência 63 Hz a 8000 Hz)	C- curva de ponderação(calculada para valores em bandas de oitava, na faixa de frequência 31,5 Hz a 8000 Hz)
Nível de pressão sonora máximo, tempo de ponderação S	$L_{AS\ max}$ $L_{AS\ max, nT}$ $L_{AS\ max, n}$	$L_{CS\ max}$ $L_{CS\ max, nT}$ $L_{CS\ max, n}$
Nível de pressão sonora máximo, tempo de ponderação F	$L_{AF\ max}$ $L_{AF\ max, nT}$ $L_{AF\ max, n}$	$L_{CF\ max}$ $L_{CF\ max, nT}$ $L_{CF\ max, n}$
Nível de pressão sonora equivalente contínuo	L_{Aeq} $L_{Aeq, nT}$ $L_{Aeq, n}$	L_{Ceq} $L_{Ceq, nT}$ $L_{Ceq, n}$

Quadro 2.1 – Grandezas que podem ser obtidas nas medições
 FONTE: Adaptado da ISO 16032 (ISO, 2004).

A descrição do procedimento geral de medição dos equipamentos de serviço de edifícios é apresentada no item 6 da ISO 16032 (ISO, 2004). É condição para aplicação do procedimento de medição abordado nesse item, que os equipamentos de serviço, que neste caso são os aparelhos sanitários, estejam instalados obedecendo às normas nacionais, que os descrevem. No Brasil, as instalações de água fria devem estar de acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), as de água quente de acordo com a NBR 7198 (ABNT, 1993) e os sistemas prediais de esgoto sanitário, precisam estar conforme a NBR 8160 (ABNT, 1999).

De acordo com a ISO 16032 (ISO, 2004), a grandeza escolhida, dentre as listadas no quadro 1, deve ser medida em três posições distintas de microfone: um dos quatro cantos da sala e duas posições no campo reverberante. O canto que deve ocupar a primeira posição de

microfone é aquele que apresentar o maior valor para o nível máximo de pressão sonora, na ponderação C ou A, ou o maior nível de pressão sonora equivalente (L_{Ceq} ou L_{Aeq}). A grandeza e ponderação escolhida para medir o canto ideal, deve ser a mesma para todos os outros pontos de medição.

O microfone, para as medições do canto, deve estar a uma distância de, no mínimo, 0,50m das paredes e 0,20m de quaisquer obstáculos. Em relação à altura, o ideal é que esteja a 0,50m ou até no máximo 1,50m acima do piso. A altura adotada deve ser a mesma em todos os cantos. Se algum dos cantos estiver dentro do campo direto de alguma fonte sonora da sala, ele deve ser desprezado, conforme mostra a figura 2.21.

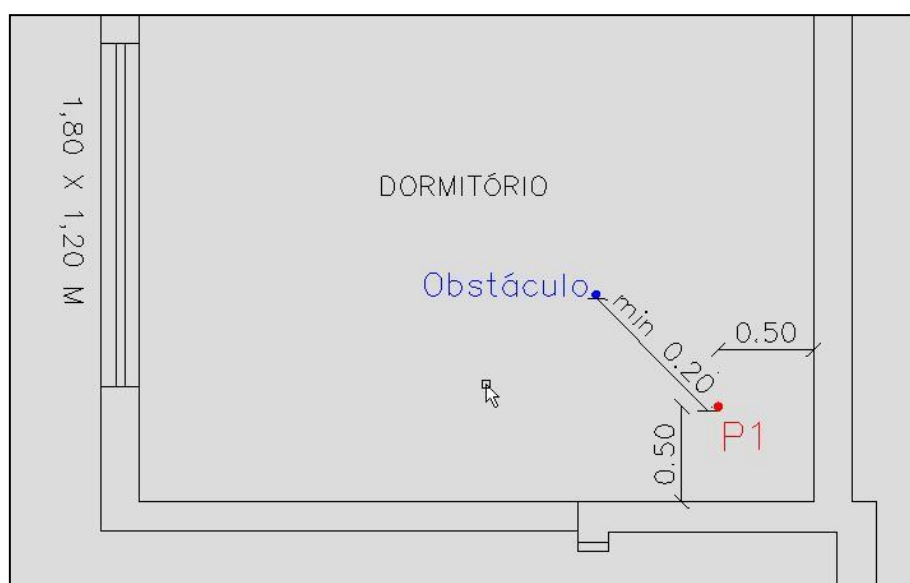


Figura 2.21 – Distâncias da posição de canto – P1

O próximo passo da medição é escolher as outras duas posições do microfone, que devem fazer parte do campo reverberante da sala, em relação às fontes sonoras nela existentes. Sempre que possível, a distância entre um ponto e outro não deve ser menor que 1,5 m, assim como a distância entre o microfone e uma fonte sonora. A figura 2.22 expressa as distâncias entre os pontos P1, P2 e P3.

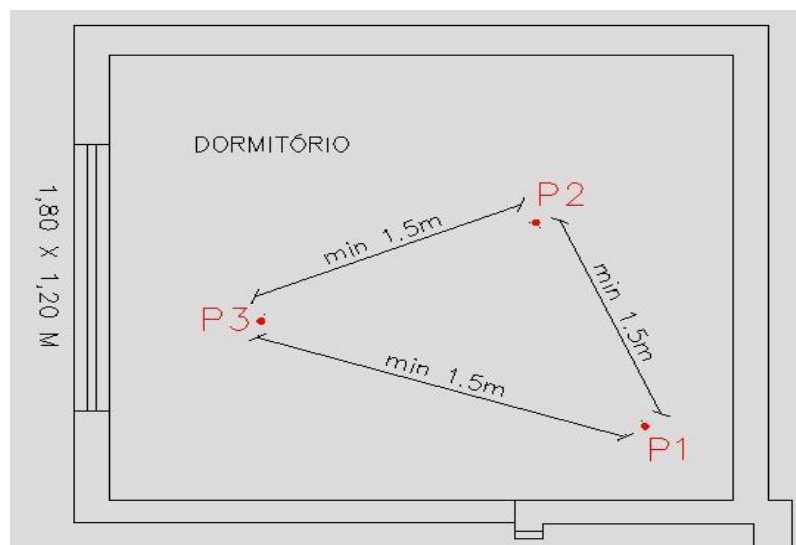


Figura 2.22 – Distâncias entre os pontos P1, P2 e P3

Para saber o número de medições que deverá ser realizada em cada posição de microfone, devem ser feitas duas medições no canto da sala escolhido, ou seja, no ponto P1. Se a diferença entre os dois resultados for menor ou igual 1 dB, basta fazer uma medição em cada posição de microfone. No entanto, se a diferença for maior que 1 dB, o número de medições necessário, por posição de microfone, é igual ao maior valor inteiro mais próximo da diferença entre os resultados.

O item 7 da norma aborda a medição do tempo de reverberação da sala, que deve ser realizada conforme a ISO 3382-2 (ISO, 2008). O item posterior trata da correção do ruído de fundo, cuja medição deve durar aproximadamente 30 segundos, utilizando-se as mesmas posições de microfone adotadas para a medição do equipamento de serviço. Para não haver necessidade de correção, a diferença entre o nível de pressão sonora, durante o ciclo de operação do equipamento, e o ruído de fundo, deve ser maior ou igual a 10 dB. Caso a diferença seja menor que 10 dB, as correções devem ser feitas mediante equações apresentadas pela norma.

No Anexo B da ISO 16032 (ISO, 2004) estão descritos os ciclos de operação de cada equipamento de serviço e as condições de operação dos mesmos. A norma ressalta que no caso das instalações hidrossanitárias, estas devem ser medidas em cômodos vizinhos ou adjacentes àquele onde estão instaladas. Cada aparelho sanitário possui o seu próprio ciclo de operação e, portanto, um tempo de medição diferente. O tempo de cada medição depende da duração do ciclo ou pode-se adotar um tempo conveniente, desde que o mesmo inclua todo o

ciclo, no caso de se optar por medir L_{eq} . Todos os equipamentos que fazem parte das instalações hidrossanitárias, devem ser medidos durante um ciclo completo.

Pode-se resumir o procedimento de medição descrito pela ISO 16032 (ISO, 2004) a partir dos seguintes passos:

1º Passo – Escolha dos aparelhos hidrossanitários a serem medidos;

2º Passo – Escolha da sala de recepção, que deve ser adjacente ao local onde estão os aparelhos que serão avaliados;

3º Passo – Escolha das grandezas e ponderações que serão medidas;

4º Passo – Conhecimento do ciclo de operação do aparelho sanitário.

5º Passo – Calibração e configuração do equipamento;

6º Passo – Abrir totalmente o registro que fornece água ao aparelho sanitário que será medido e fechar todas as janelas e portas das salas de emissão e recepção;

7º Passo – Medição dos cantos para encontrar o P1, que é o canto de maior nível de pressão sonora;

8º Passo – Localizar o P2 e o P3, respeitando as distâncias recomendadas.

9º Passo – Decisão do número de medições que serão realizadas por ponto, a partir do resultado de duas medições consecutivas no P1, referentes ao mesmo aparelho sanitário com o mesmo ciclo de operação, para verificar quantas vezes deverá ser medido em cada ponto. Da diferença dos resultados entre as duas medições consecutivas realizadas no P1, depende o número de medições a ser realizada em cada ponto. Se a diferença for apenas 1dB, então deve ser realizada apenas uma medição por ponto.

10º Passo – Começar a medição do aparelho sanitário em cada um dos pontos estabelecidos.

11º Passo – Medir ruído residual nos mesmos pontos em que foi medido o aparelho sanitário. O tempo de medição do ruído residual depende das características do mesmo. Pode-se adotar o mesmo tempo do ciclo de operação do aparelho sanitário ou não.

12º Passo – Se necessário, medir o TR da sala de recepção;

13º Passo – Tratamento e análise dos resultados.

2.4.2 Comentários sobre a NBR 15575

A parte 6 da NBR 15575 (ABNT, 2013) trata sobre requisitos de desempenho para sistemas hidrossanitários. O anexo B aborda os níveis de desempenho, entre os quais se encontra o desempenho acústico. O primeiro item do anexo é sobre o ruído gerado pelos equipamentos gerais. Segundo a norma se enquadram nessa definição, os equipamentos que são coletivos a todo prédio ou que são acionados manualmente por terceiros, em relação à unidade habitacional que está sendo avaliada. A avaliação consiste em medir o nível de pressão sonora do equipamento em questão, porém a medição tem que ser realizada no dormitório da unidade habitacional acima, abaixo ou ao lado de onde o aparelho gerador do ruído está instalado. É necessário medir um ciclo de operação do equipamento.

O item 2 do anexo B é referente aos métodos de medição do ruído em campo. Um deles é o método de engenharia, descrito pela ISO 16032 (ISO, 2004), o outro é o método simplificado descrito pela ISO 10052 (ISO, 2004). Os parâmetros de avaliação considerados pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013) são nível de pressão sonora equivalente, padronizado de equipamento predial ($L_{Aeq,nT}$); nível de pressão sonora máximo, padronizado de equipamento predial ($L_{ASmax,nT}$) e nível de pressão sonora equivalente no ambiente interno, com o equipamento fora de operação (L_{Aai}).

A medição deve ser realizada pela ISO 16032 (ISO, 2004), considerando-se o ciclo do aparelho sanitário a ser medido, conforme as normas nacionais de operação do mesmo. A instalação a ser avaliada deve estar projetada e executada de acordo com as condições das normas brasileiras. Segundo a NBR 15575-6 (ABNT, 2013), a medição não deve ser realizada quando o ruído de fundo for maior que os valores do quadro 2.2.

$L_{Aeq,nT}$ dB(A)	Nível de desempenho
≤ 30	S
≤ 34	I
≤ 37	M

Quadro 2.2 – Valores do $L_{Aeq,nT}$ medidos em dormitórios.
 FONTE: Adaptado da NBR 15575-6 (ABNT, 2013).

Onde M significa desempenho mínimo, I, intermediário e S, superior. O desempenho mínimo de um aparelho sanitário, por exemplo, o lavatório, está especificado no quadro 2.3, considerando-se a grandeza $L_{ASmax,nT}$.

$L_{ASmax,nT}$ dB(A)	Nível de desempenho
≤ 36	S
≤ 39	I
≤ 42	M

Quadro 2.3 – Valores máximos do nível de pressão sonora máximo, $L_{ASmax,nT}$, medido em dormitórios.

FONTE: Adaptado da NBR 15575-6 (ABNT, 2013).

O conhecimento das normas comentadas e a aplicação correta delas no procedimento de medição são de fundamental importância para a obtenção dos resultados desejados neste trabalho.

3 METODOLOGIA

O presente capítulo descreve a metodologia adotada para a realização das medições e para a concretização dos objetivos previamente estipulados. Esta pesquisa é de natureza aplicada, quantitativa, exploratória e experimental. Sendo assim, foram caracterizadas as variáveis envolvidas, realizadas medições *in loco*, com utilização de equipamentos adequados e, posteriormente, analisados os dados e obtidas conclusões.

3.1 Caracterização do local e dos equipamentos de medição

A pesquisa teve início com a escolha de um prédio residencial, na cidade de Santa Maria, para a realização das medições segundo a ISO 16032 (ISO, 2004). A edificação escolhida possui 10 pavimentos e um subsolo. Na cobertura, estão localizados os hidrômetros individualizados, os reservatórios superiores e a casa de máquinas dos elevadores. O prédio está localizado no centro da cidade, no Parque Itaimbé, na Rua Tuiuti.

A paisagem sonora em que está inserida a edificação é composta pelo ruído de tráfego da Rua Tuiuti, que é asfaltada e liga bairros ao centro da cidade em um sentido único. Atrás do prédio há um parque, que, nos finais de semana, é bastante frequentado, principalmente por jovens e adolescentes, que se reúnem para fazer as mais diversas atividades. Durante a semana, o público é menor, mas ainda há muitos frequentadores. Sendo assim, a paisagem sonora é basicamente composta por conversas, gritos, músicas, ruído de animais e ruído de tráfego dos carros. Em frente ao edifício não passa transporte coletivo, apenas veículos leves. A figura 3.1 mostra a localização do prédio e, as figuras 3.2 e 3.3, as fachadas frontal e lateral.



Figura 3.1 – Situação do prédio onde foram realizadas as medições
FONTE: Adaptado do Google Maps, 2014

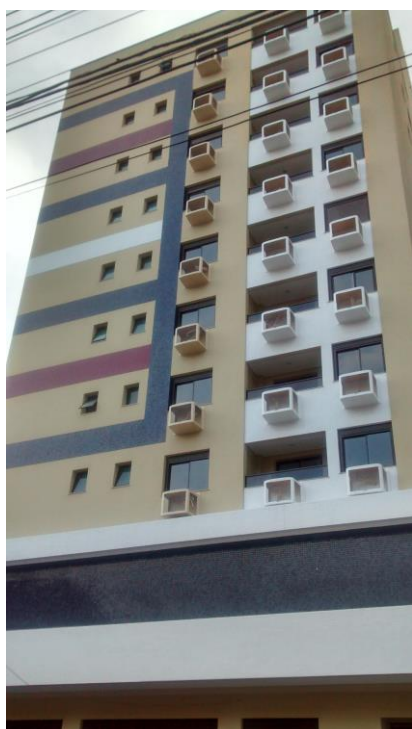


Figura 3.2 – Fachada frontal do prédio.



Figura 3.3 – Fachada lateral.

O edifício apresenta estrutura de concreto armado, com paredes de vedação em alvenaria, revestida com argamassa em ambos os lados. No banheiro e na cozinha, as paredes são totalmente revestidas com cerâmica. Os pisos são de porcelanato. As esquadrias são de alumínio com veneziana e vidro simples. As portas internas são de madeira e possuem uma borracha para auxiliar a vedação e melhorar as condições de estanqueidade. A edificação não possui instalações de água quente, apenas de água fria, as quais juntamente com as demais instalações hidráulicas, estão embutidas em *shafts*. Todas as instalações são de PVC e foram projetadas de acordo com as normas da ABNT, NBR 5626 (ABNT, 1998) e NBR 6180 (ABNT, 1993).

Os pavimentos tipo possuem 4 apartamentos e esta configuração é válida do 4º ao 10º andar. O 3º pavimento é diferenciado dos demais e é chamado pavimento de transição, pois possui um apartamento a menos. As garagens estão localizadas no térreo, no 2º pavimento e no subsolo, no entanto, o térreo possui, além das garagens, uma sala comercial. A figura 3.4 mostra a planta baixa de um pavimento tipo da edificação, onde foram realizadas as medições.

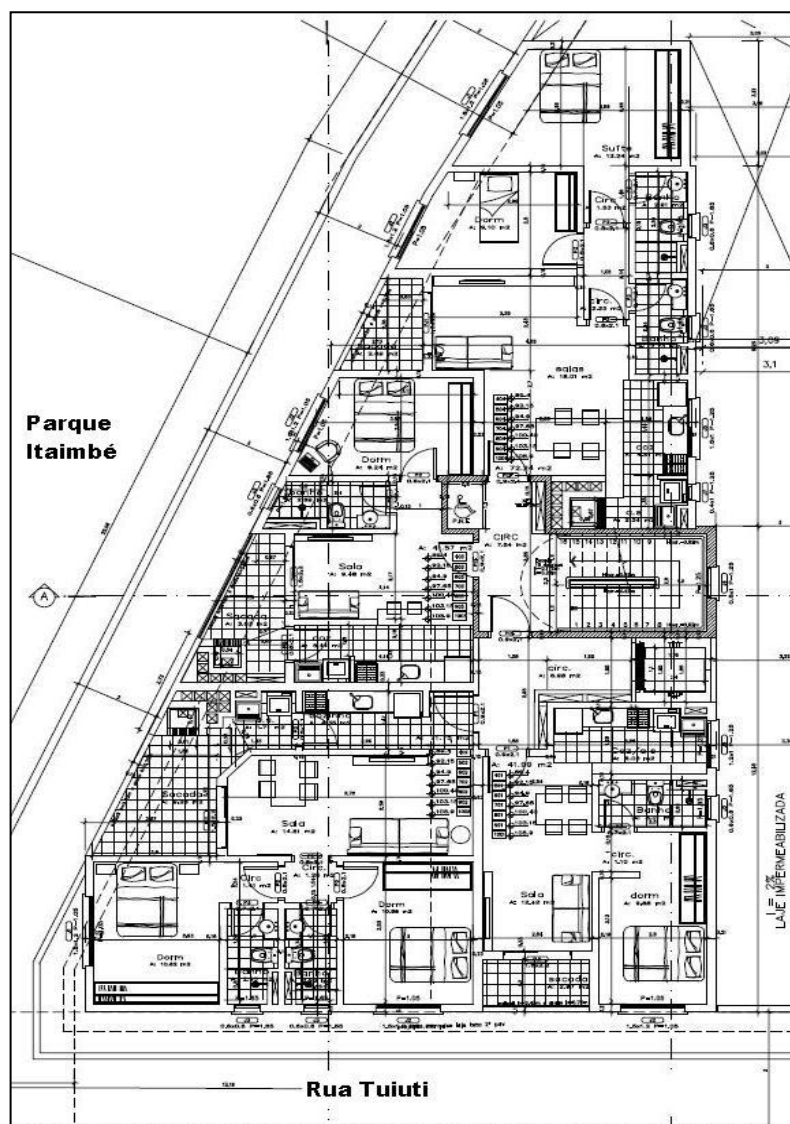


Figura 3.4 – Pavimento tipo do edifício.
 FONTE: Adaptado do projeto arquitetônico da edificação

A partir do projeto arquitetônico da edificação, optou-se por realizar as medições do ruído das instalações hidrossanitárias no apartamento de fundo. Uma das razões foi a expectativa de que ele apresentasse o menor ruído de fundo, já que está mais longe da rua, ou seja, do ruído de tráfego. E a outra foi pelo fato dele ser idêntico em todos os pavimentos, mesmo no 3º, onde há um apartamento a menos, ele permanece igual aos demais pavimentos. O apartamento escolhido possui área de 72,24m² e é composto por uma suíte, um quarto, um banheiro social, uma sala estar e jantar, uma cozinha e área de serviço e uma sacada. A figura 3.5 mostra a planta baixa do apartamento descrito.

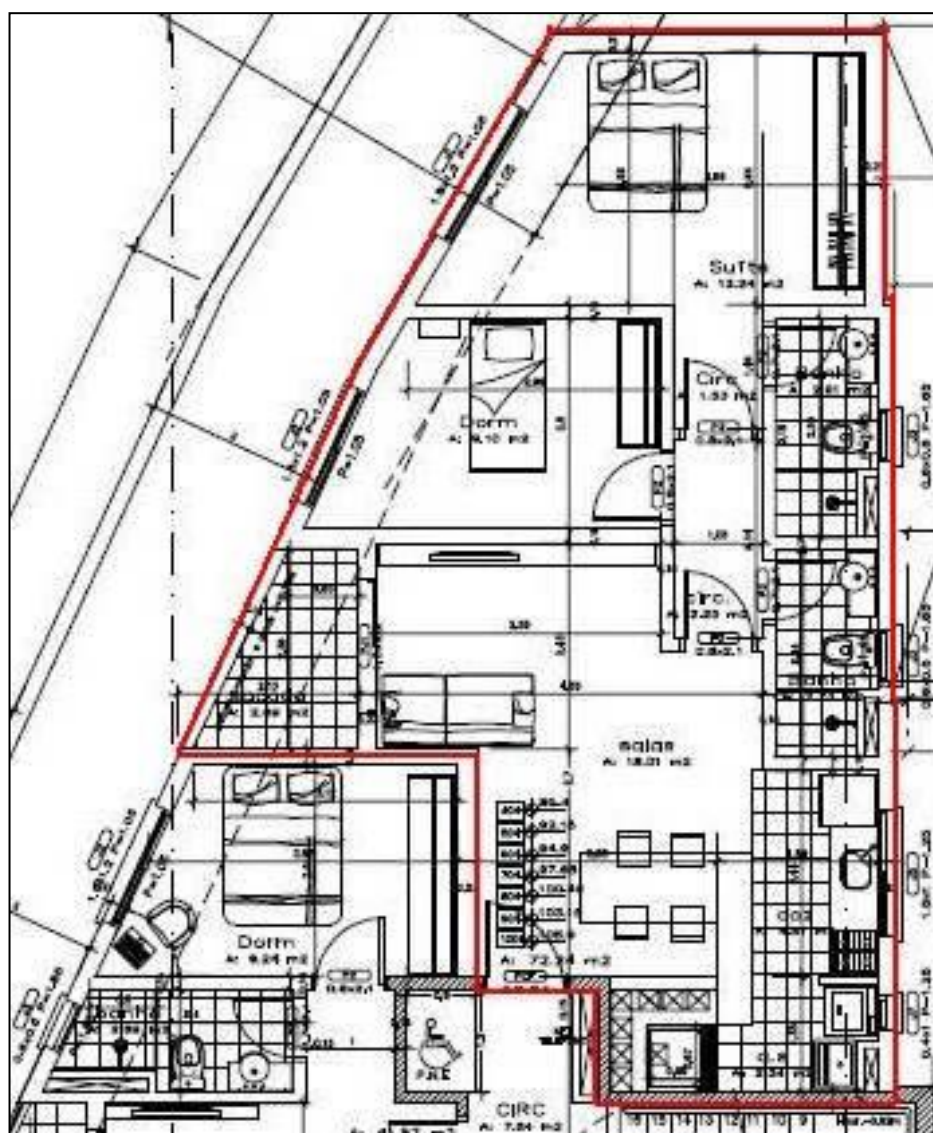


Figura 3.5 – Apartamento escolhido para realização das medições.
 FONTE: Adaptado do projeto arquitetônico da edificação

No período de realização das medições, o prédio já estava com todas as instalações hidrossanitárias funcionando, porém ainda não estava concluído. Faltava finalizar as instalações elétricas e alguns pequenos acabamentos. Sendo assim, a edificação permanecia desabitada, o que foi relevante para as medições, pois tornou possível fazer repetições e facilitou a instalação do sistema de medição, tendo em vista que não havia móveis dentro dos apartamentos. O fato das instalações elétricas não estarem concluídas impediu que fossem realizadas medições no período da noite.

3.2 Caracterização das Variáveis

No que se refere às instalações hidrossanitárias, são muitas as variáveis que podem influenciar nos resultados e na emissão do ruído. Dentre elas pode-se citar: o tipo de material da tubulação; a concepção do projeto hidrossanitário; a velocidade, a pressão e a temperatura; a maneira de fixação das canalizações na parede e a sua localização, entre outros.

A respeito da concepção do projeto, é possível observar, na figura 3.5, que todas as instalações hidrossanitárias estão localizadas em paredes externas, que não fazem divisa com unidades autônomas adjacentes ou com cômodos da própria unidade habitacional. Essa distribuição é benéfica no que se refere ao isolamento do ruído dessas instalações. Tanto nos banheiros quanto na cozinha pode-se verificar essa situação.

Os aparelhos sanitários a serem medidos são o lavatório (torneira) e a descarga da bacia sanitária, que no caso dessa edificação é com caixa acoplada. Tal decisão se deve ao fato de ambos os equipamentos serem comumente alvo de reclamações e, no caso da descarga, além do incômodo gerado pelo ruído, provoca constrangimento entre vizinhos.

Para cumprimento da ISO 16032 (ISO, 2004) a medição deve ser realizada em um cômodo adjacente ao que contém as instalações as quais se quer medir. No caso da unidade autônoma em questão, os cômodos adjacentes no sentido horizontal ao banheiro da suíte são o quarto da suíte e o banheiro social, porém ambos pertencem ao mesmo apartamento. E os cômodos adjacentes ao banheiro social são o banheiro da suíte, a sala e a cozinha. No sentido vertical o cômodo que está imediatamente acima ou abaixo de ambos os banheiros, são os banheiros.

A NBR 15575-6 (ABNT, 2013) define que as medições para avaliação do desempenho das instalações hidrossanitárias de um apartamento, devem ser realizadas no quarto da unidade autônoma vizinha. Sendo assim, para poder relacionar a medição e seus respectivos resultados com a norma brasileira de desempenho, optou-se por medir as instalações hidrossanitárias do banheiro da suíte, pois este cômodo é adjacente a suíte (quarto), ou seja, fica mais próximo de um dos quartos, mesmo no caso de se medir em unidades autônomas diferentes.

A ISO 16032 (ISO, 2004) não limita a realização da medição apenas ao quarto de uma unidade autônoma vizinha. É recomendado que a medição não deva ser realizada no local onde estão as instalações que se quer medir, ou seja, o microfone deve estar posicionado em um cômodo adjacente ao das instalações hidrossanitárias. Sendo assim, a ISO 16032 (ISO,

2004) permite que a medição seja realizada na mesma unidade autônoma e também em qualquer outro cômodo da unidade autônoma vizinha e não necessariamente no quarto.

Então, foi constatado o primeiro desafio: o banheiro da suíte apresenta dimensões de 2,59m de comprimento e 1,20m de largura, sendo que no box essa largura é de 0,95m devido a presença do *shaft*. O banheiro possui então, 2,91m² de área. Essas dimensões impossibilitam a aplicação da ISO 16032 (ISO, 2004), que exige condições mínimas de espaçamento entre as posições de microfone e entre qualquer obstáculo e o microfone. Em nenhum dos pontos de microfone seria possível atender as condições da norma. Tal situação é ainda mais difícil, quanto ao cumprimento da ISO 3382-2 (ISO, 2008), que descreve o procedimento de medição do TR. Só a presença da fonte sonora omnidirecional já impossibilita a medição de TR, pois seria impossível deixar o microfone dentro do campo reverberante. A figura 3.6 mostra a disposição dos equipamentos sanitários, que serão acionados dentro do banheiro. E a figura 3.7 mostra o box e a localização do shaft.



Figura 3.6 – Aparelhos sanitários.

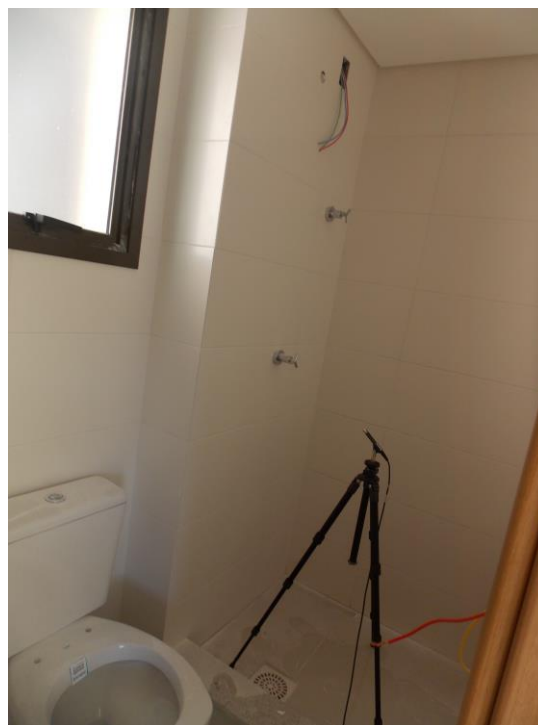


Figura 3.7 – Box e o shaft.

Para viabilizar o cumprimento da ISO 16032 (ISO, 2004) e da NBR 15575-6 (ABNT, 2013), decidiu-se que as medições seriam realizadas na suíte da unidade autônoma vizinha de onde estivessem localizados os aparelhos sanitários que seriam medidos.

O tipo de torneira, o modelo do lavatório, a altura da torneira em relação ao lavatório, a maneira de abrir e fechar a torneira, ou seja, quanto tempo ela demora para ficar totalmente aberta e, posteriormente, totalmente fechada (tempo do ciclo) e a marca de ambos, são fatores que influenciam nos resultados, bem como na medição, pois modificam o tempo de medição, já que alteram o ciclo de operação.

O mesmo também é válido para o tipo de caixa acoplada da bacia sanitária, pois existem tamanhos, marcas, volume de água e maneiras diferentes de acionar a descarga. A caixa acoplada da bacia sanitária da edificação escolhida possui duplo acionamento. Este dispositivo permite o duplo acionamento de descarga para bacias sanitárias, permitindo o consumo de 3 ou 6 litros, o que propicia 60% de economia de água (CARVALHO JÚNIOR, 2013). Nas medições realizadas foi utilizado o duplo acionamento. A figura 3.8 apresenta a planta baixa do banheiro da suíte, de todos os apartamentos com final 4, unidade que foi medida. A figura 3.9 mostra as elevações das instalações elétricas e hidrossanitárias do mesmo banheiro.

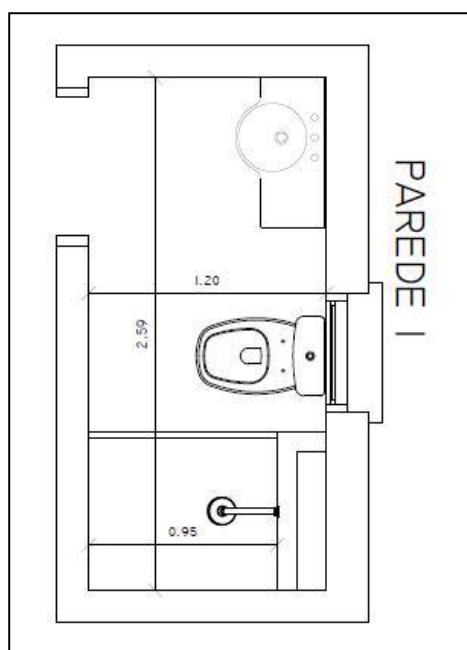


Figura 3.8 – Planta baixa do banheiro da suíte, dos apartamentos de fundo.
FONTE: Adaptado de projeto arquitetônico da edificação

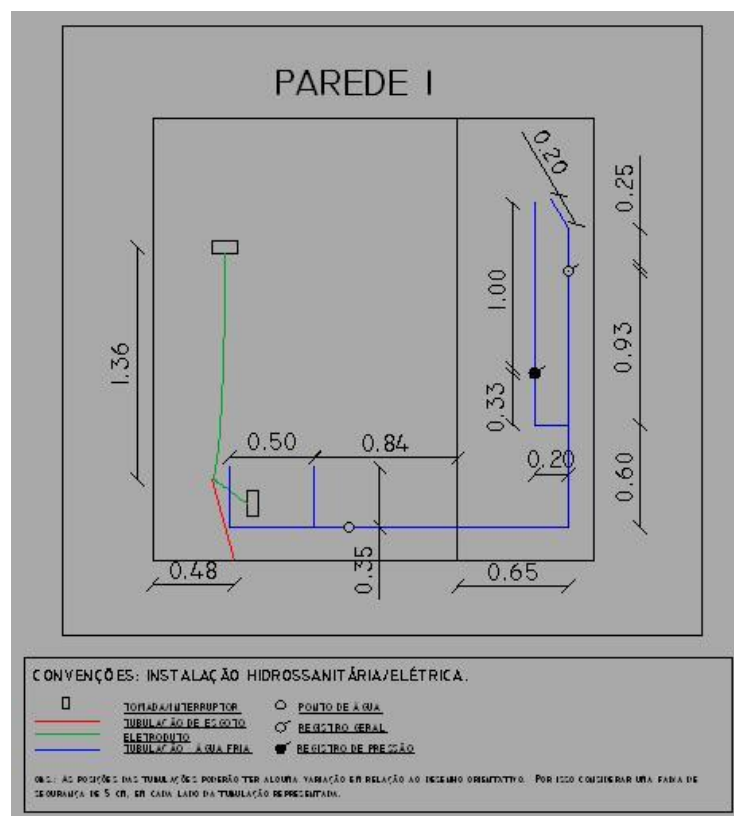


Figura 3.9 – Elevações das instalações do banheiro da suíte.
 FONTE: Adaptado de projeto hidrossanitário da edificação

3.3 Caracterização dos procedimentos de medição

As medições foram realizadas em bandas de oitava, na faixa de frequência de 125Hz a 8.000Hz, nas ponderações A e C. Utilizaram-se as grandezas L_{eq} , L_{Smax} e L_{Fmax} mencionadas pela ISO 16032 (ISO, 2004). Essas são as grandezas obtidas através da medição, no entanto, depois da correção do tempo de reverberação, elas passam a ser $L_{eq,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{Fmax,nT}$, que é o que se quer analisar. O procedimento para o cálculo das grandezas será descrito no Capítulo 4, sobre a análise dos resultados.

O tempo de medição considerado foi de 30s, que é o recomendado pela norma e compreende todo o ciclo de operação dos aparelhos. O ciclo de operação de cada aparelho sanitário é descrito no Anexo B da ISO 16032 (ISO, 2004) e é o que a norma define como tempo completo de operação de cada aparelho sanitário, ou seja, tempo necessário para a água completar seu ciclo e voltar repeti-lo novamente no mesmo aparelho sanitário. É necessário medir um ciclo de cada aparelho que se quer avaliar.

No caso da torneira do lavatório, o ciclo de operação compreende a abertura total da válvula da torneira, o fechamento total da mesma e o escoamento completo da água do lavatório pelo ralo. O ciclo de operação da descarga da bacia sanitária com caixa acoplada tem início com a ação de pressionar lentamente o botão de acionamento da descarga até o final, e termina quando o botão retornar completamente ao seu estado normal. Para ambos os aparelhos sanitários o registro deve estar totalmente aberto.

Para realização das medições, utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora 2270 da B&K e, para a geração do sinal na medição do TR, foi utilizada uma fonte sonora omnidirecional modelo 4292 e um amplificador de potência de fonte sonora modelo 2716, ambos da B&K. Foi adotado ruído rosa, pois este ruído tem a mesma distribuição de energia em todas as faixas de frequência. Esse sistema de medição foi utilizado para todos os apartamentos.

Foram realizadas medições de diversas maneiras, com o intuito de se conhecer os fatores que podem influenciar nos resultados. Por exemplo, a pressão nos andares mais baixos é maior que nos pavimentos superiores, então foram realizadas medições em 5 pavimentos diferentes da edificação para ver se as diferenças entre as pressões influenciariam nos resultados.

A primeira medição foi realizada no apartamento 1004, situado no 10º pavimento. Nesse caso, foram acionados os aparelhos sanitários, caixa de descarga da bacia sanitária e torneira do lavatório, a partir do banheiro da suíte do apartamento 1004 e o microfone foi colocado na suíte do mesmo apartamento. Como um dos objetivos do trabalho é caracterizar o ruído gerado por cada aparelho sanitário, a medição não pode ser realizada simultaneamente, então, era acionado primeiro um aparelho e depois o outro, respeitando o ciclo de operação de cada um. O tempo de medição, porém, era o mesmo para ambos os aparelhos medidos. A figura 3.10 mostra a situação de medição.



Figura 3.10 – Situação de medição no apartamento 1004.

No momento da medição todas as janelas e portas do apartamento estavam fechadas. A temperatura era de 26,7°C e a umidade relativa do ar de 51%. É importante se conhecer a temperatura e umidade, pois elas influenciam na velocidade e na propagação do som. Se essas propriedades variarem muito ao longo do dia, podem influenciar nos resultados. A figura 3.11 mostra as posições de microfones adotadas para a medição do ruído gerado pelos aparelhos sanitários e pelo ruído residual.

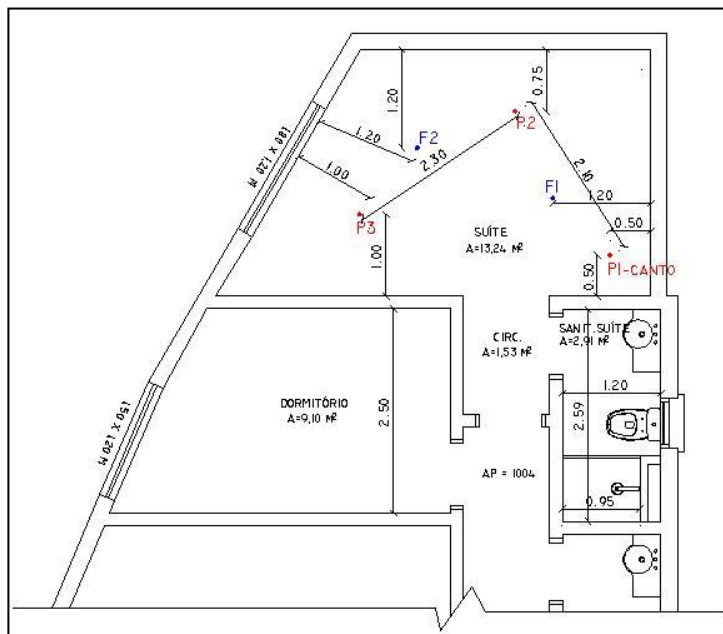


Figura 3.11 – Pontos de microfone na suíte do apartamento 1004.
 FONTE: Adaptado de projeto arquitetônico da edificação

A condição da primeira medição não é ideal no que se refere a avaliação do incômodo gerado pelo ruído das instalações hidrossanitárias, pois geralmente os usuários da suíte são os mesmos do banheiro da suíte, em um mesmo apartamento, e por isso não se incomodam ou se constroem com o ruído gerado dessa forma. Por isso, também essa medição não satisfaz ao exigido pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013), que recomenda que as medições de ruído de instalações hidrossanitárias sejam realizadas em unidades autônomas diferentes.

No entanto, o objetivo deste trabalho não é avaliar o incômodo gerado pelas instalações hidrossanitárias, mas sim se conhecer um procedimento de medição capaz de caracterizar o ruído gerado pelos aparelhos sanitários escolhidos. Sendo assim, esta medição é relevante, pois a suíte do apartamento 1004 é o cômodo mais próximo das instalações hidrossanitárias do banheiro da suíte do 1004. Então, a fim de se conhecer os valores de nível de pressão sonora gerados pelos aparelhos hidrossanitários do banheiro, essa medição é válida, segundo a ISO 16032 (ISO, 2004).

A segunda medição foi realizada no mesmo dia, um sábado, em que a obra não estava funcionando, sendo assim não havia ruído de fundo devido a instrumentos e operários em atividade. No momento da medição, o termômetro marcava 27,3°C e umidade relativa do ar de 50%. O que mudou, em relação a primeira medição, foi que a sala de recepção passou a ser a suíte do apartamento 904. Então, os aparelhos hidrossanitários foram acionados do banheiro

da suíte do apartamento 1004, e o microfone e demais equipamentos de medição foram colocados na suíte do 904. Essa medição atende a norma de desempenho NBR 15575-6 (ABNT, 2013).

Primeiro foi realizada a medição da descarga da bacia sanitária, depois da torneira do lavatório e por fim do ruído residual, em cada um dos três pontos. Como os aparelhos sanitários são acionados manualmente, foi necessário que houvesse comunicação entre o operador dos equipamentos de medição e o operador dos aparelhos objetos da medição. Essa comunicação foi feita por meio de mensagem no celular, no modo silencioso.

Foi realizada uma medição em cada ponto, pois segundo a ISO 16032 (ISO, 2004), o número de medições a serem realizadas por ponto depende da diferença entre os resultados obtidos no ponto de canto (P1), referentes ao mesmo aparelho sanitários, após duas medições consecutivas, na grandeza que está sendo medida. Como a diferença no L_{Aeq} , uma das grandezas medidas, foi menor que 1 dB, então poderia ser realizada apenas uma medição por ponto. As medições dos aparelhos hidrossanitários e do ruído residual tinham duração de 30s, no entanto, verificou-se que o ciclo de operação de ambos os aparelhos medidos era menor do que 30s.

A mesma situação de medição do apartamento 904 foi repetida para o apartamento 604, com instalações hidrossanitárias acionadas do 704. Em ambas as medições, todas as janelas dos apartamentos estavam fechadas, conforme recomenda ISO 16032 (ISO, 2004). A mesma condição foi utilizada para medição do TR, no entanto, para a medição do TR, a fonte sonora é colocada no mesmo cômodo onde está o microfone. A temperatura durante a medição no apartamento 604 era de 27,5°C e umidade relativa do ar de 45%.

Foram medidas também as instalações hidrossanitárias do apartamento 504, com microfone posicionado na suíte do apartamento 404. Foi medido o TR da suíte do apartamento 404. A temperatura no momento da medição era de 28,3°C e umidade relativa do ar de 38%.

As medições realizadas nos apartamentos 904, 604 e 404 são praticamente idênticas. No entanto, sua realização foi considerada relevante, pois devido às diferenças entre as alturas dos pavimentos, em relação ao reservatório, as pressões e velocidades da água não são as mesmas nos aparelhos sanitários situados em pavimentos diferentes. O que poderia interferir nos resultados. Além disso, era possível que conforme a altura do pavimento se aproximasse do ruído de tráfego, o ruído de fundo aumentasse. Para verificar tais condições e possíveis fatores de influência nos resultados, é que foram realizadas medições idênticas em pavimentos diferentes.

Uma medição diferente das demais foi realizada no apartamento 704, pois nesse caso foram acionados os aparelhos sanitários do apartamento 904, dessa forma houve uma variação de 2 pavimentos entre o ruído emitido e a sala de recepção do som. O intuito dessa medição foi verificar se é possível, nas condições estruturais e construtivas da edificação adotada, conseguir caracterizar o ruído das instalações hidrossanitárias nessa distância entre a sala de emissão e recepção. Ou seja, se a 2 pavimentos abaixo, é possível medir o ruído das instalações hidrossanitárias, para as condições da edificação em questão. Durante essa medição, a temperatura era de 27°C e a umidade relativa do ar de 44%.

Por fim, ainda no sábado, mesmo não sendo possível atender a ISO 16032 (ISO, 2004) e a parte 6 da NBR 15575 (ABNT, 2013), foi realizada uma medição no banheiro da suíte do apartamento 904, com as instalações hidrossanitárias acionadas a partir do apartamento 1004. Nesse caso foram utilizadas apenas duas posições de microfone, pois devido às dimensões do ambiente, não era possível localizar um terceiro ponto, com distância dos outros dois que fosse relevante nos resultados, ou seja, os pontos ficariam praticamente sobrepostos. Para este caso não foi medido o TR da sala de recepção, devido também as dimensões do banheiro não atenderem a ISO 3382-2 (ISO, 2008) . A temperatura no momento da medição era de 27,4°C e a umidade relativa do ar de 50%. A figura 3.12 mostra os pontos de microfone no banheiro da suíte do apartamento 904.

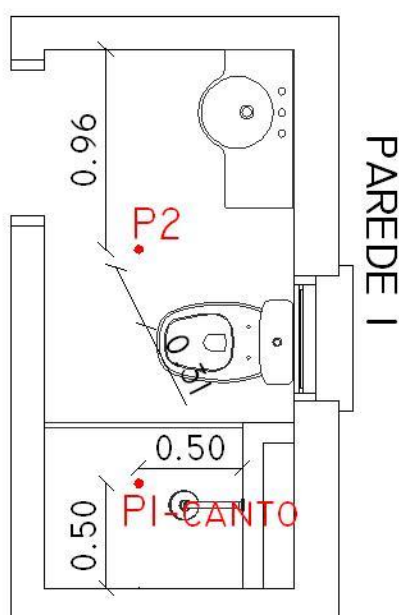


Figura 3.12 – Banheiro da suíte do apartamento 904 com posições de microfone.
FONTE: Adaptado de projeto arquitetônico da edificação

Para melhor compreensão da metodologia descrita, será apresentado no quadro 3.1 os apartamentos onde foram realizadas medições, as grandezas medidas, os aparelhos sanitários medidos em cada apartamento e o tipo de medição realizada.

MEDIÇÃO	SALA DE EMISSÃO	SALA DE RECEPÇÃO	MEDIÇÕES REALIZADAS	GRANDEZAS OBTIDAS
1	Banheiro da suíte do apto 1004	Suíte do apto 1004	- Ruído do lavatório - Ruído da descarga - Ruído residual - TR (suíte do apto 1004)	- $L_{Aeq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$ - $L_{Ceq,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$
2	Banheiro da suíte do apto 1004	Suíte do apto 904	- Ruído do lavatório - Ruído da descarga - Ruído residual - TR (suíte do apto 904)	- $L_{Aeq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$ - $L_{Ceq,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$
3	Banheiro da suíte do apto 1004	Banheiro do apto 904	- Ruído do lavatório - Ruído da descarga - Ruído residual	- L_{Aeq} , L_{AFmax} e L_{ASmax} - L_{Ceq} , L_{CFmax} e L_{CSmax}
4	Banheiro da suíte do apto 704	Suíte do apto 604	- Ruído do lavatório - Ruído da descarga - Ruído residual - TR (suíte do apto 604)	- $L_{Aeq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$ - $L_{Ceq,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$
5	Banheiro da suíte do apto 504	Suíte do apto 404	- Ruído do lavatório - Ruído da descarga - Ruído residual - TR (suíte do apto 404)	- $L_{Aeq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$ - $L_{Ceq,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$
6	Banheiro da suíte do apto 904	Suíte do apto 704	- Ruído do lavatório - Ruído da descarga - Ruído residual	- $L_{Aeq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$ - $L_{Ceq,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$

Quadro 3.1 – Resumo das medições realizadas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos através das medições realizadas nas suítes dos apartamentos 1004, 904, 704, 604 e 404 e, no banheiro da suíte do apartamento 904. Em todas as medições foram obtidos os valores do L_{Fmax} , L_{Smax} e L_{eq} , em bandas de oitava, para a faixa entre 125Hz e 8000Hz. As medições foram realizadas em 3 posições diferentes, conforme recomenda a ISO 16032 (ISO, 2004), exceto no banheiro do apartamento 904, pois o espaço não permitia atender essa condição. A partir dos resultados em cada um dos pontos, foi calculada a média logarítmica por frequência e, posteriormente, foi aplicada a correção do ruído de fundo em cada banda.

Nas suítes dos apartamentos 1004, 904, 604 e 404 foi realizada a medição do TR, segundo a ISO 3382-2 (ISO, 2008). Então, a partir dos resultados do TR, que foi medido em 1/3 de oitava, foi aplicada a correção devido ao tempo de reverberação, em cada uma das grandezas medidas. Posteriormente, os valores em bandas de oitava, em cada um das grandezas foram ponderados para as curvas A e C, a partir da tabela A.1 do anexo A da ISO 16032 (ISO, 2004). Finalmente, depois de obtidos os valores ponderados para a faixa de frequências entre 125Hz e 8000Hz, foi calculado o valor global para cada uma das grandezas e ponderações. Esse procedimento não pode ser aplicado no banheiro da suíte do apartamento 904, pois não foi possível medir o TR nesse cômodo.

4.1 Medição no apartamento 1004

Essa medição, conforme mencionado no capítulo anterior, foi realizada na suíte do apartamento 1004, com as instalações hidrossanitárias acionadas a partir do banheiro dessa mesma suíte. Sendo assim, para a NBR 15575 (ABNT, 2013) essa medição não é válida, pois esta norma não considera medições na mesma unidade autônoma. No anexo B da norma é mencionado o desempenho em relação ao incômodo, o que no caso desta medição não seria possível avaliar. No entanto, a medição foi mantida, a fim de se conhecer os valores gerados pelas instalações hidrossanitárias no ambiente mais próximo de onde elas estão localizadas. Foram obtidas as grandezas $L_{Aeq,nT}$, $L_{Ceq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$, $L_{ASmax,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$. Os resultados estão expressos no quadro 4.1.

Apto 1004	$L_{AFmax,nT}$	$L_{ASmax,nT}$	$L_{CFmax,nT}$	$L_{CSmax,nT}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{Ceq,nT}$
LAVATÓRIO	44,33	42,59	47,63	44,90	36,77	38,98
DESCARGA	53,93	50,64	55,84	52,71	41,61	43,75
R. RESIDUAL	38,02	35,44	47,18	43,41	31,61	38,06

Quadro 4.1 – Resultados da medição do apartamento 1004.

Nos resultados apresentados foi considerada a correção do ruído residual e a correção devida ao tempo de reverberação (TR). Os valores apresentados no quadro são a média logarítmica do resultado medido nos três pontos de microfone, obtidos em bandas de oitava. É possível observar que o tempo de integração *fast* apresenta valores maiores que a integração *slow*. Segundo Bistafa (2006), essa nomenclatura dos ponderadores temporais, *rápida* e *lenta* está associada à rapidez com que o dispositivo indicador acompanha as flutuações do nível de pressão sonora. A maior flutuação das leituras ocorre com o tempo de integração *fast*.

Os gráficos das figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram uma comparação entre os valores de $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$, sem ponderação, para o lavatório, para a descarga da bacia sanitária e para o ruído de fundo (RF), onde essa constatação é evidente para todas as frequências.

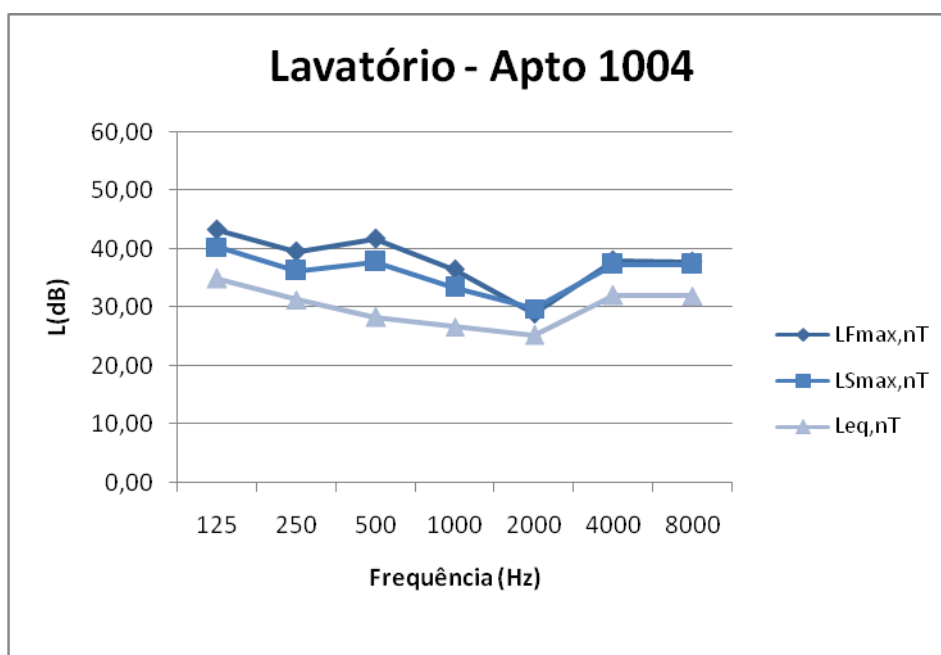


Figura 4.1 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o lavatório.

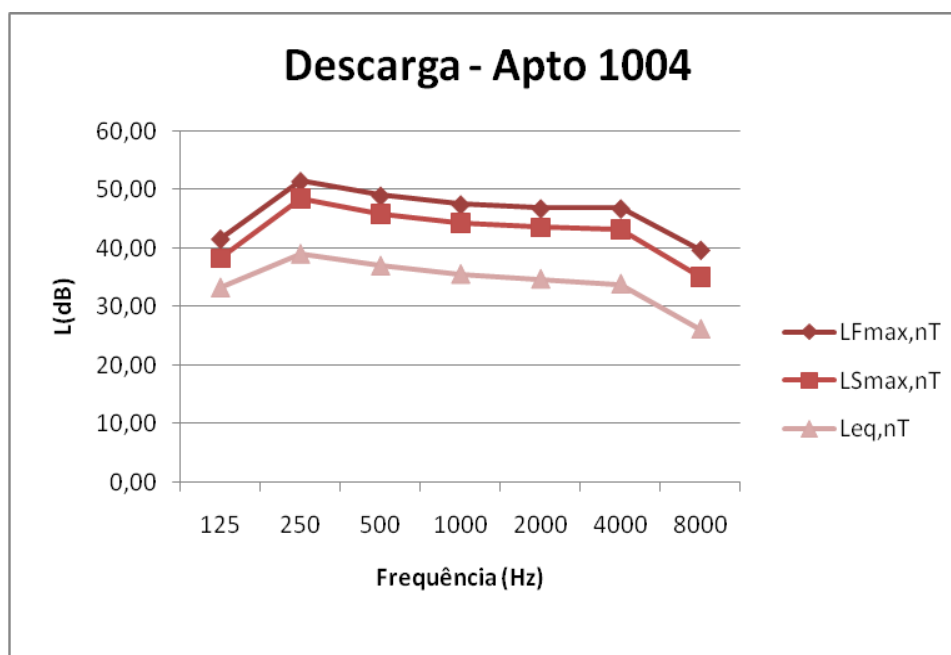


Figura 4.2 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para a descarga.

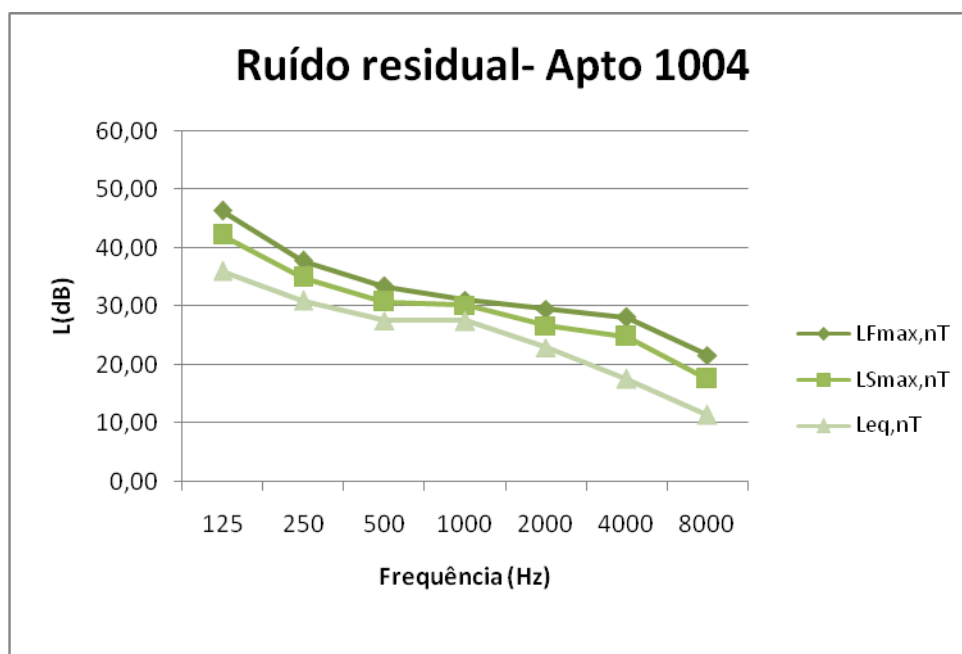


Figura 4.3 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o ruído residual.

Pode-se observar a partir dos gráficos, que em todos os casos a curva dos valores de $L_{Fmax,nT}$ é maior que $L_{Smax,nT}$, em todas as frequências. A diferença é de no mínimo 1dB em

todas as frequências, com exceção do lavatório, que para as frequências mais altas, a partir de 2000 Hz os valores praticamente coincidem, apresentando diferenças na ordem de 0,5dB, o que na prática não é representativo, pois o sistema auditivo humano só consegue sentir diferenças a partir de 1dB.

Em relação ao $L_{eq,nT}$, o mesmo apresenta valores mais baixos, que o $L_{Fmax,nT}$ e o $L_{Smax,nT}$ em todas as frequências, o que era de se esperar, pois como o $L_{eq,nT}$ é o resultado da integração dos valores medidos durante um determinado período de tempo, nesse caso 30 segundos, nessa integral também estão incluídos valores mais baixos, quando o aparelho sanitário já não estava em funcionamento.

O tempo de duração do ciclo completo de operação da torneira do lavatório é de aproximadamente 15 a 20 segundos, mas o tempo de abrir a válvula completamente e fechar é de no máximo 10 segundos (para aquele modelo específico de torneira). São nesses 10 segundos que o ruído é audivelmente mais alto, quando a máxima vazão de água cai sobre a bacia do lavatório. O mesmo acontece para a descarga.

Como já descrito no capítulo 2, item 2.2.5.3, o L_{max} é o maior valor do NPS efetivo, medido durante os 30 segundos, para cada uma das frequências apresentadas nos gráficos, em bandas de oitava. Apesar do L_{eq} tender aos valores mais altos, ou seja, se durante uma pequena fração de tempo da medição, algum dos NPS medidos foi alto, mesmo que na maior parte do tempo, como no caso da torneira, aproximadamente 20 segundos, o valor de NPS é mais baixo, o L_{eq} dará um valor muito próximo dos valores mais altos, porém nunca será o L_{max} .

Observando-se o quadro 5, também é possível perceber que os valores de L_{Fmax} , L_{Smax} e L_{eq} na ponderação C, são sempre maiores que na ponderação A. O quadro 4.2, apresenta os valores de correções para as ponderações A e C, por frequência, em bandas de oitava, fornecidos pelo Anexo A da ISO 16032 (ISO, 2004).

	31,5 (Hz)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)
A (dB)	-	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1
C (dB)	-3,0	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3,0

Quadro 4.2 – Valores de correção para as ponderações A e C.

FONTE: ISO 16032 (ISSO, 2004) – Anexo A.

Pode-se observar a partir do quadro 6 que os valores na ponderação C serão mais altos que os valores da ponderação A para as baixas frequências até 1000 Hz. A partir de 1000 Hz os valores de NPS na ponderação A serão maiores que os valores de NPS na ponderação C. Os gráficos das figuras 4.4, 4.5 e 4.6 a seguir, mostram a comparação entre os espectros do $L_{Fmax,nT}$, do $L_{Smax,nT}$ e do $L_{eq,nT}$ para o lavatório, a descarga e o ruído residual, sem ponderação.

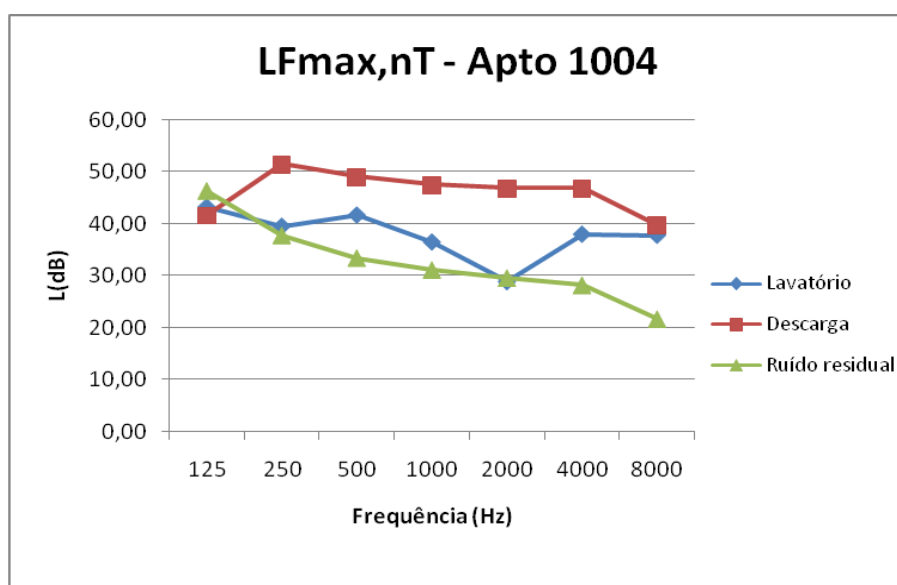


Figura 4.4 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no apto 1004.

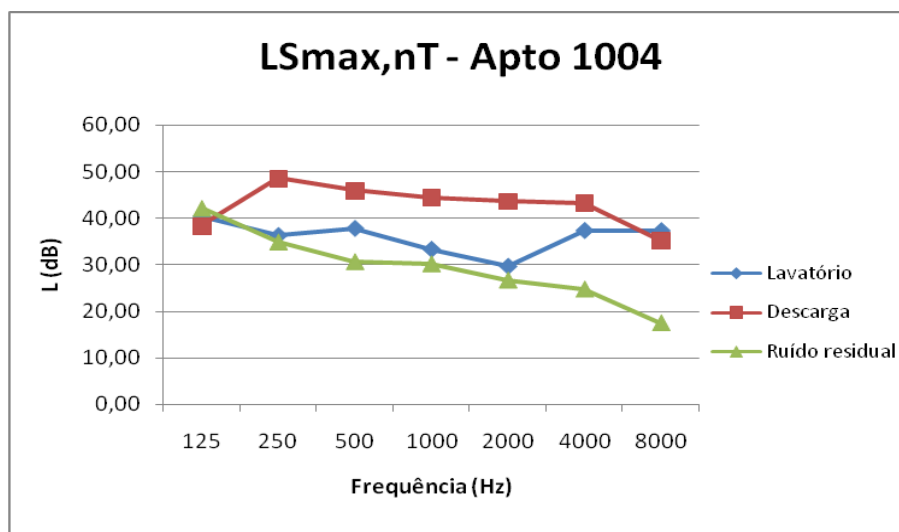


Figura 4.5 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smáx,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no apto 1004.

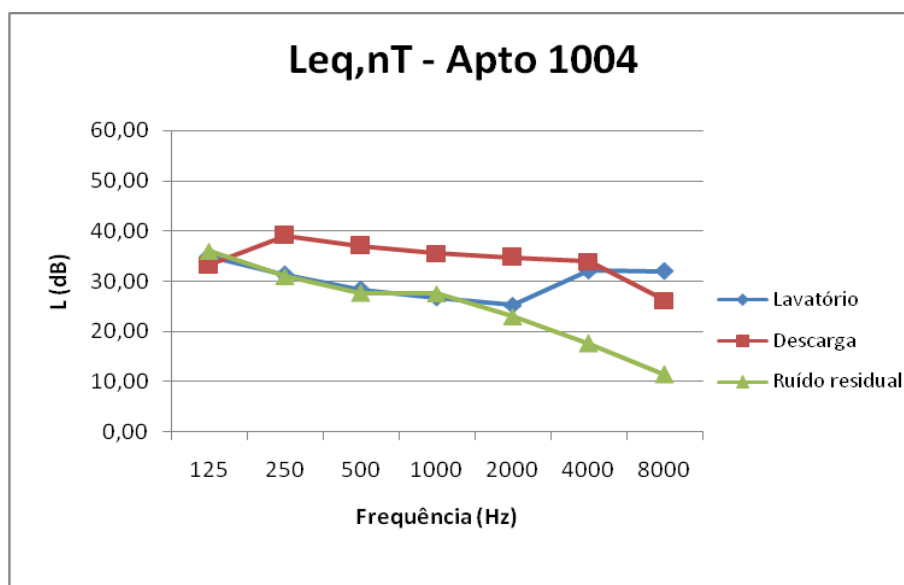


Figura 4.6 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual no apto 1004.

A partir dos gráficos é possível observar que o nível de pressão sonora gerado pela descarga da bacia sanitária é consideravelmente maior que o do lavatório, na ordem de 10dB, até a frequência de 4000Hz, quando os valores caem e começam a convergir. Nos três

gráficos plotados o nível de pressão sonora do lavatório sobe a partir da frequência de 2000Hz, que é quando a curva apresenta comportamento diferente do ruído residual.

Segundo Bistafa (2006), medições de níveis totais nas ponderações A, B e C apresentam números únicos, os quais representam o nível sonoro total dos respectivos espectros ponderados, em toda a faixa de frequências considerada pelo medidor. Por se relacionarem com a audibilidade, esses números únicos fornecem uma ideia da sensação subjetiva de intensidade do ruído, como os valores apresentados no quadro 5.

O mesmo autor afirma que caso os valores desse número único, nas ponderações A, B e C, estejam próximos, o ruído é predominantemente composto por frequências acima de 600 Hz, aproximadamente. Caso os valores obtidos com a ponderação A sejam menores que os resultantes com as ponderações B e C, o ruído apresenta componentes significativas em frequências abaixo de 600Hz. Tal afirmação explica porque a diferença entre os valores de $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ ponderados em A e C é maior para o ruído residual, pois este apresenta níveis de pressão sonora maiores em baixas frequências. Em todas as grandezas medidas, os valores na ponderação C são maiores que na ponderação A, porém a diferença é pequena para o lavatório e a descarga, pois esses aparelhos sanitários apresentam níveis de pressão sonora altos em frequências médias e altas, acima de 600Hz.

Além da medição do nível de pressão sonora gerado pelas instalações hidrossanitárias, foi medido o TR da suíte do apartamento 1004. O gráfico da figura 4.7 foi obtido através dos valores de TR fornecidos pelo MNPS 2270. Foram estes os valores utilizados para a obtenção das grandezas $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$.

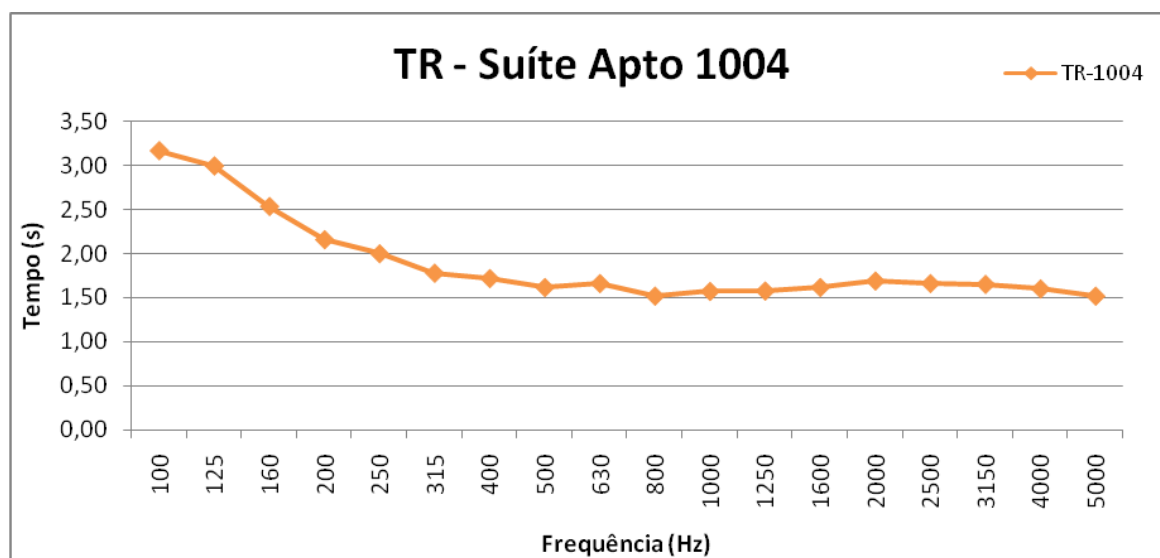


Figura 4.7 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 1004.

O gráfico mostra um tempo de reverberação mais alto nas frequências mais baixas até 315 Hz, quando se estabiliza e passa a apresentar valores muito próximos para frequências acima da citada. A suíte estava completamente vazia no dia da medição, sem a presença de móveis ou pessoas, os materiais de revestimento não apresentam propriedades absorventes, e o volume do cômodo é de aproximadamente 40 m³.

4.2 Medições no apartamento 904 – instalações hidrossanitárias do 1004.

No apartamento 904 foram realizadas duas medições: uma na suíte e outra no banheiro da suíte. Ambas foram realizadas a fim de medir o nível de pressão sonora gerado pelo lavatório e pela descarga da bacia sanitária do banheiro da suíte do apartamento 1004. No banheiro da suíte não foi possível medir o TR devido as dimensões do cômodo não atenderem a ISO 3382-2 (ISO, 2008), portanto, não foi possível calcular as grandezas $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ corrigidas, apenas foi possível obter as grandezas L_{Fmax} , L_{Smax} e L_{eq} sem a correção do tempo de reverberação.

4.2.1 Suíte do apartamento 904

Essa medição atende os critérios da ISO 16032 (ISO, 2004), quanto aos espaçamentos e pelo fato de ser em um local adjacente ao que está instalado o ruído que se quer medir, e também está de acordo com a NBR 15575-6 (ABNT, 2013), pois a medição foi realizada no quarto de uma unidade autônoma diferente de onde estão às instalações hidrossanitárias. Foram medidos $L_{Aeq,nT}$, $L_{Ceq,nT}$, $L_{AFmax,nT}$, $L_{ASmax,nT}$, $L_{CFmax,nT}$ e $L_{CSmax,nT}$. Os resultados estão expressos no quadro 4.3.

Suíte Ap 904	$L_{AFmax,nT}$	$L_{ASmax,nT}$	$L_{CFmax,nT}$	$L_{CSmax,nT}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{Ceq,nT}$
LAVATÓRIO	39,53	36,54	44,97	43,36	32,05	38,60
DESCARGA	52,04	47,87	52,71	48,35	36,48	39,43
R.RESIDUAL	39,51	36,27	44,80	42,03	31,78	38,57

Quadro 4.3 – Resultados da medição na suíte do apartamento 904.

Da mesma forma que os resultados da medição no apartamento 1004, os valores para $L_{Fmax,nT}$ são maiores que para $L_{Smax,nT}$, nas duas ponderações A e C. Os gráficos das figuras 4.8, 4.9 e 4.10 mostram a comparação entre as curvas do $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e do $L_{eq,nT}$, sem ponderação, para a torneira do lavatório, a descarga da bacia sanitária e o ruído de fundo.

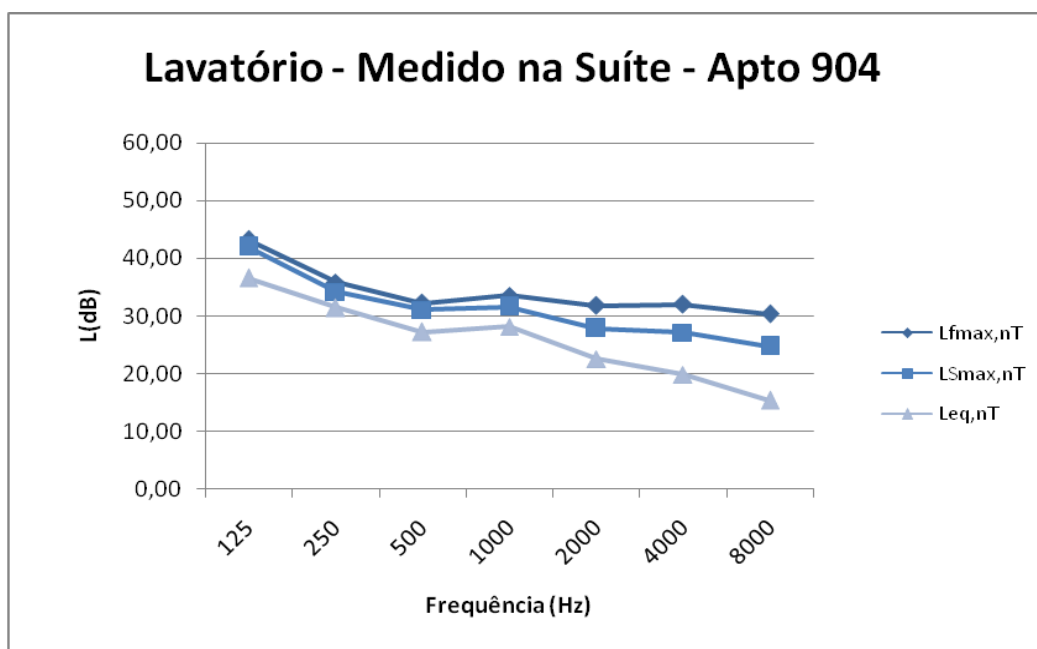


Figura 4.8 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o lavatório – apto 904.

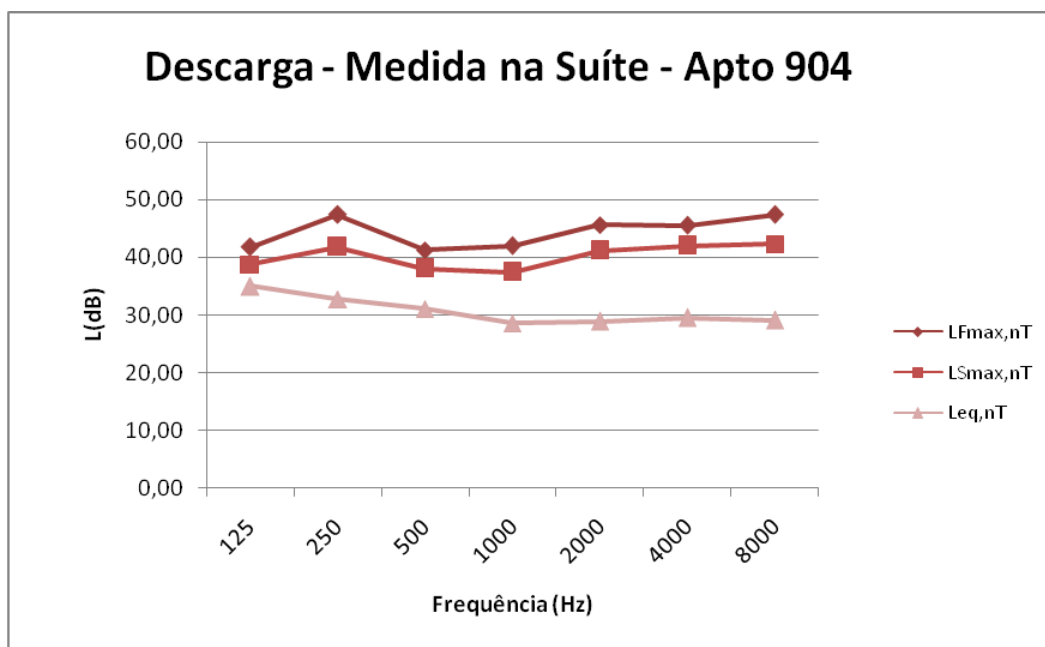


Figura 4.9 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para a descarga – apto 904.

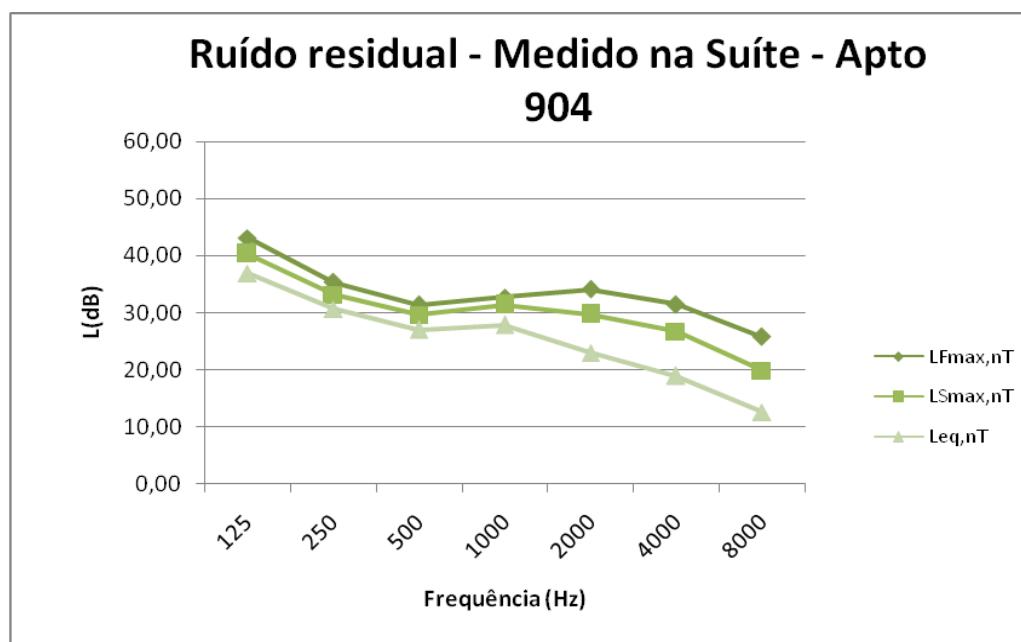


Figura 4.10 – Gráfico de comparação entre o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ para o ruído residual – apto 904.

Como na medição do apto 1004, as curvas do $L_{Fmax,nT}$ apresentam valores mais altos que as do $L_{Smax,nT}$, que por sua vez fornecem valores mais altos que a curva do $L_{eq,nT}$. As razões porque isso ocorre são as mesmas do caso anterior. Cabe ressaltar que além dos valores no tempo de integração *fast* serem mais altos, a curva apresenta mais picos que a do $L_{Smax,nT}$.

Para confirmar a justificativa dos valores mais baixos do $L_{eq,nT}$ serão apresentados os gráficos comparativos entre o do $L_{Fmin,nT}$ e o $L_{Fmax,nT}$, assim como do $L_{Smin,nT}$ e do $L_{Smax,nT}$, para o lavatório e a descarga da bacia sanitária, acionados do banheiro da suíte do apartamento 1004, e para o ruído residual da suíte do apartamento 904. As figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam estes gráficos.

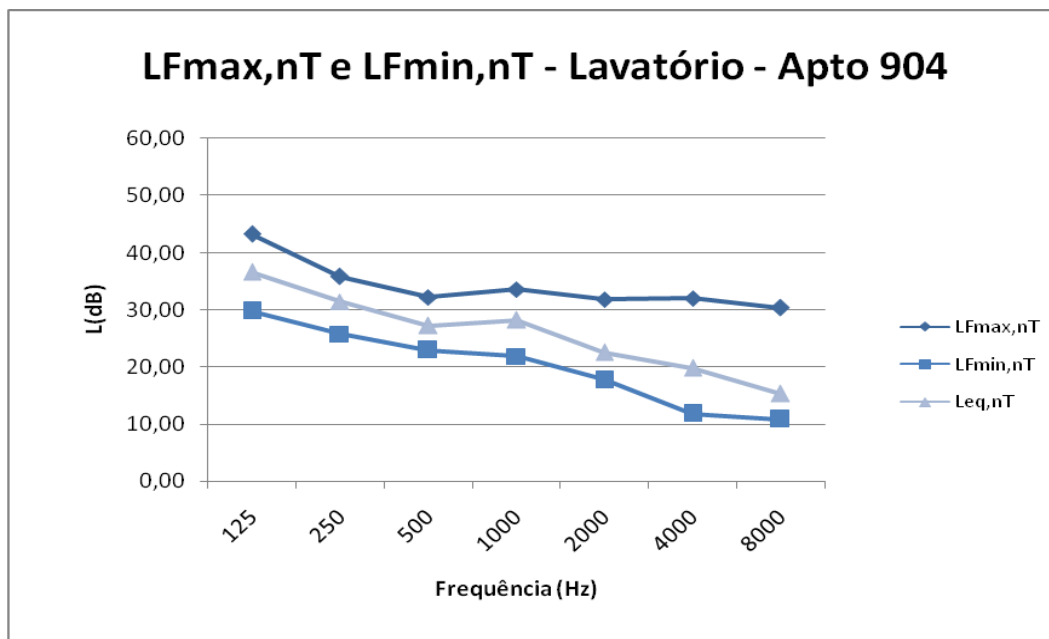


Figura 4.11 – Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Fmin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – lavatório apto 904.

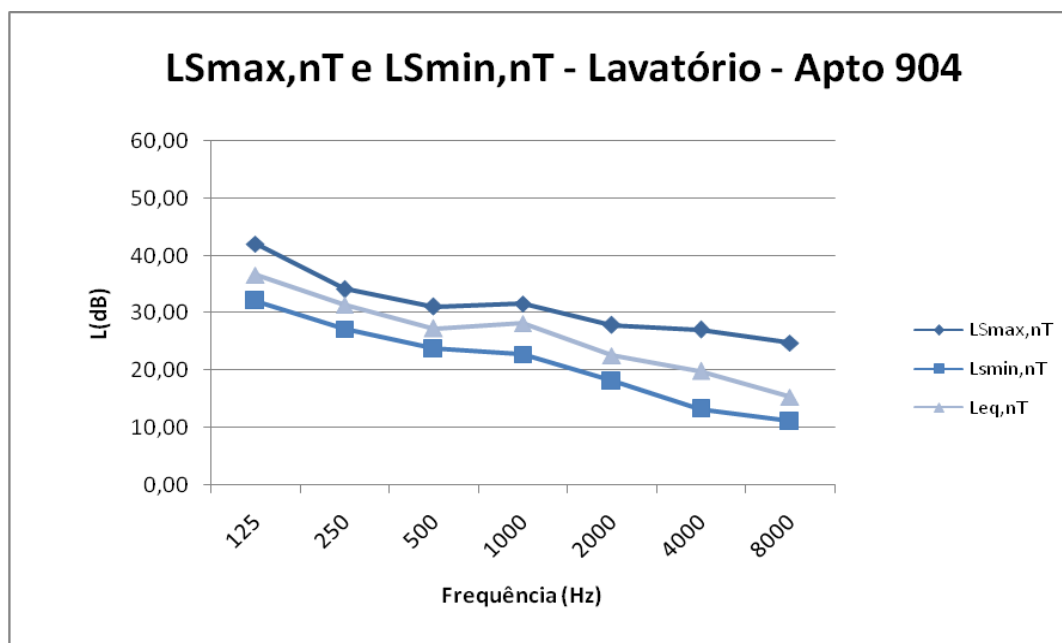


Figura 4.12 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – lavatório apto 904.

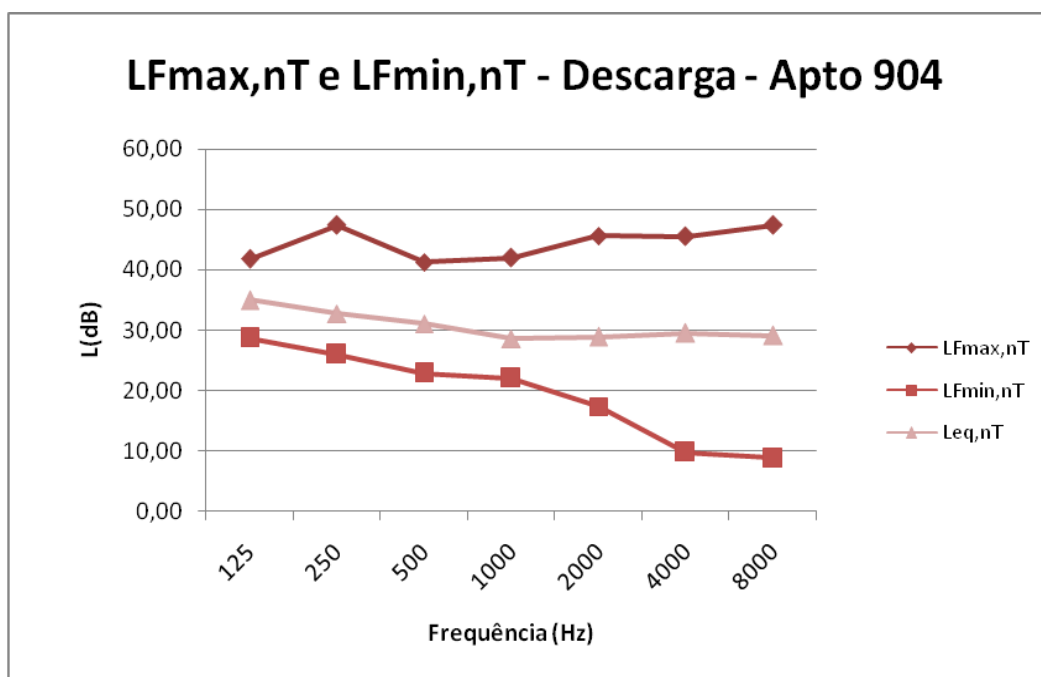


Figura 4.13 – Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Fmin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – descarga apto 904.

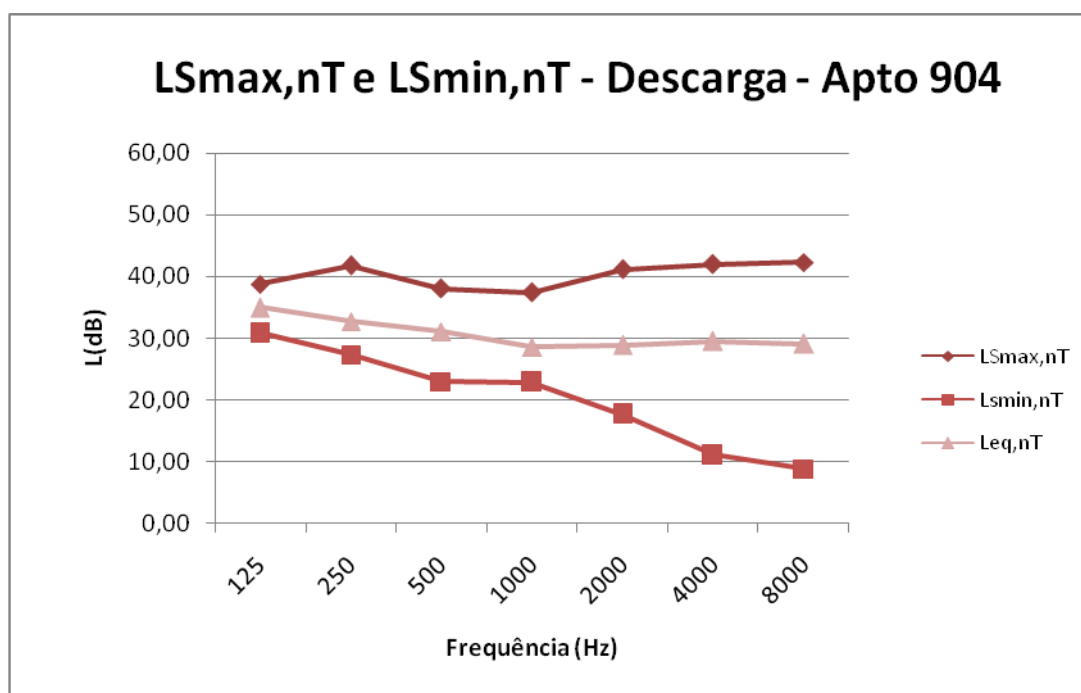


Figura 4.14 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – descarga apto 904.

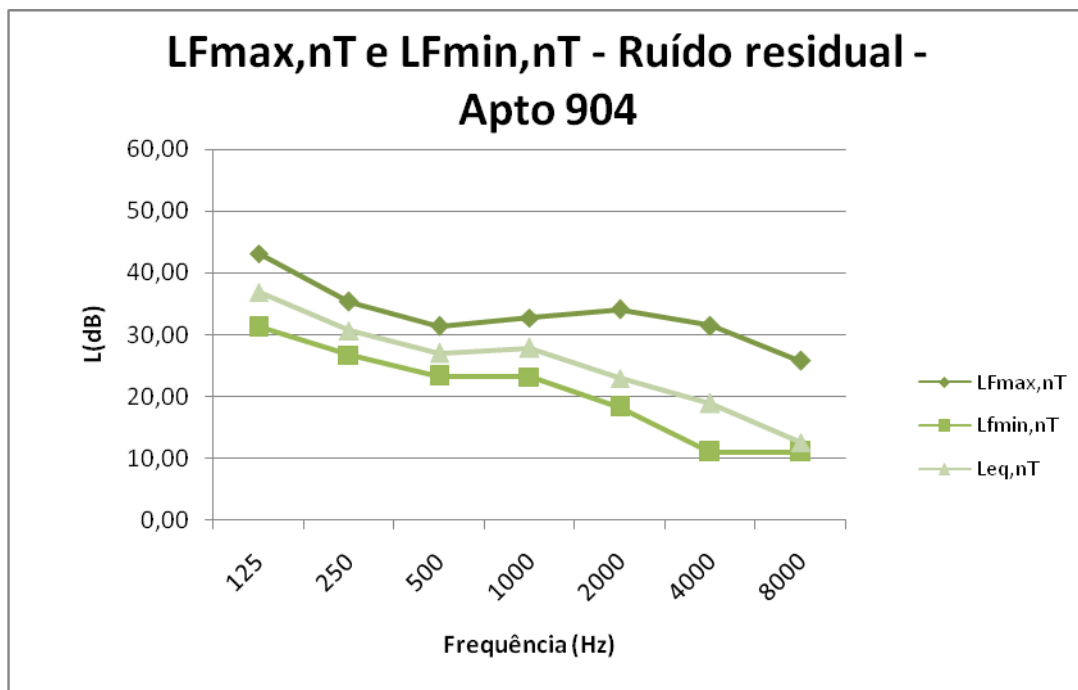


Figura 4.15 – Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Fmin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – ruído residual apto 904.

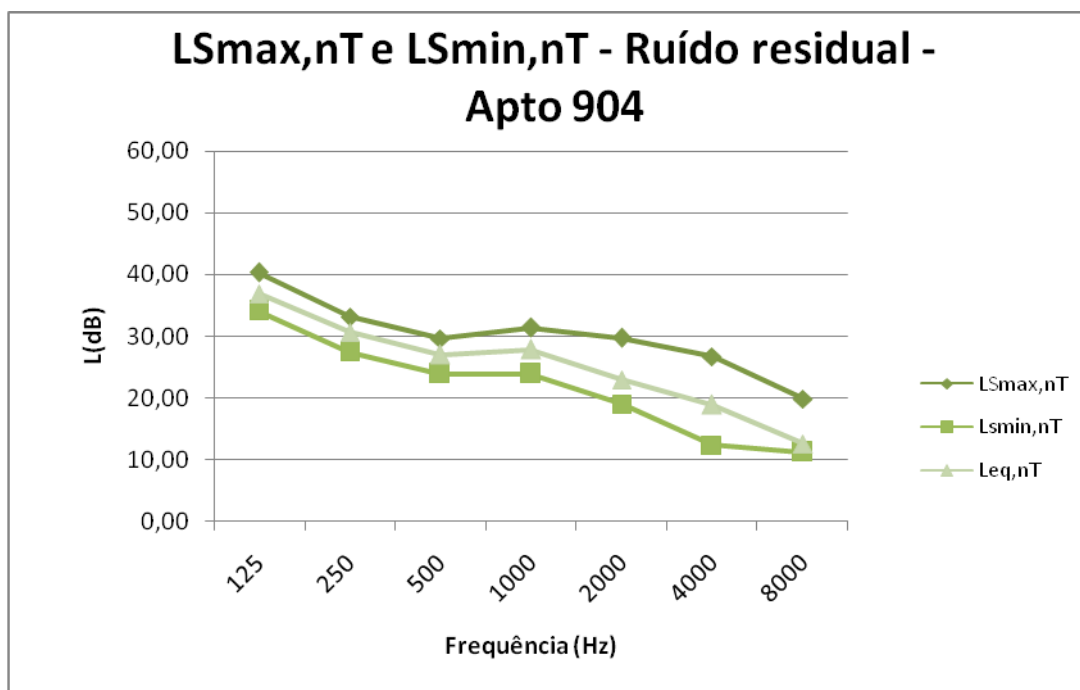


Figura 4.16 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smin,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – ruído residual apto 904.

Ao analisar os gráficos, é possível perceber que em todos os casos a curva do $L_{eq,nT}$ ficou entre as curvas do $L_{max,nT}$ e do $L_{min,nT}$, para ambos os tempos de integração. Isso não significa, obviamente, que o $L_{eq,nT}$ é a média desses valores, mas significa que durante o período de medição, 30s, em algum momento foram medidos aqueles valores máximos e aqueles valores mínimos, apresentados nos gráficos. Sendo assim, esses valores fizeram parte da integral que fornece o $L_{eq,nT}$. Durante o período de medição as instalações e o ruído de fundo apresentaram outros valores de NPS , abaixo do $L_{max,nT}$ e acima do $L_{min,nT}$, que também foram considerados no $L_{eq,nT}$. Por isso, é de se esperar que o $L_{eq,nT}$ apresente sempre valores abaixo do $L_{max,nT}$.

Observando-se o quadro 7 também é possível perceber que os valores das grandezas medidas, são maiores na ponderação C do que na ponderação A, da mesma forma que ocorreu na medição do apartamento 1004. Os gráficos das figuras 4.17, 4.18 e 4.19 apresentam uma comparação entre os aparelhos sanitários medidos, em cada uma das grandezas consideradas, $L_{Fmax,nT}$, o $L_{Smax,nT}$ e o $L_{eq,nT}$, sem ponderação.

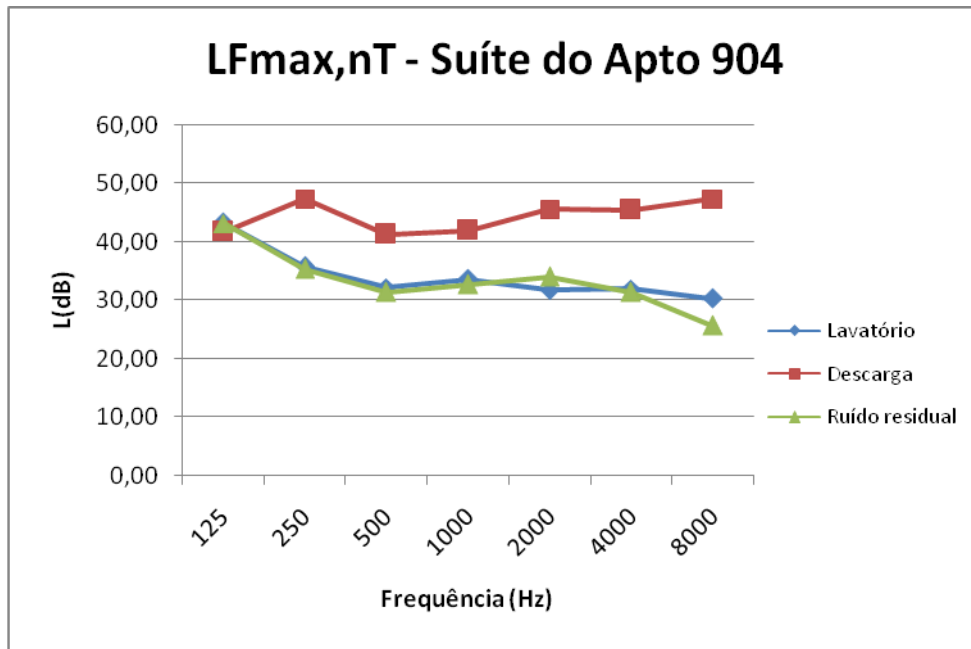


Figura 4.17 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 904.

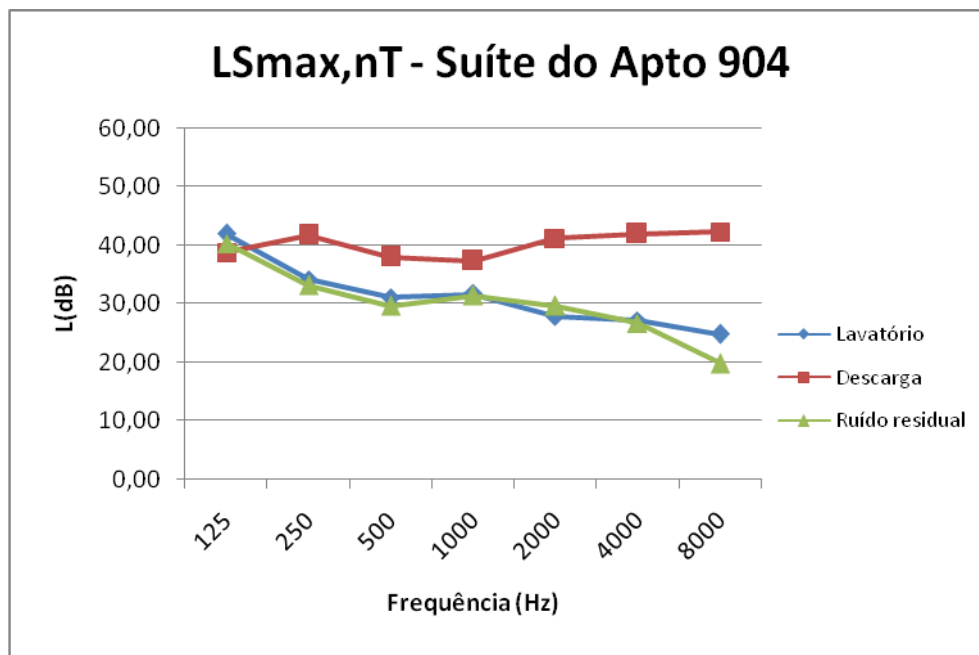


Figura 4.18 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 904.

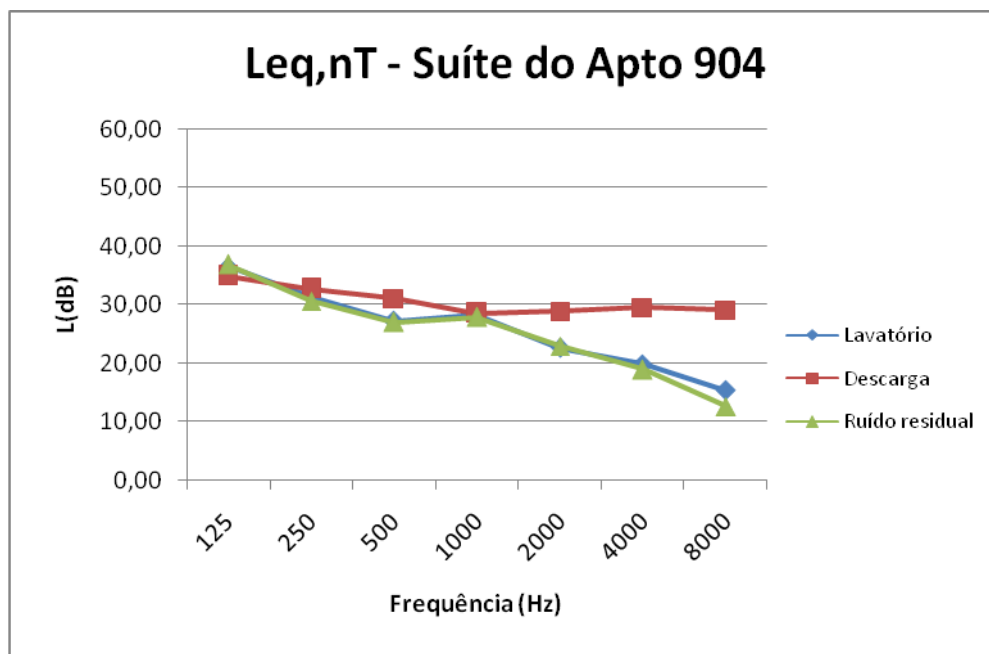


Figura 4.19 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 904.

A partir dos gráficos é possível observar que as curvas do lavatório e do ruído residual praticamente se sobrepõem em quase todas as frequências. Pode-se então dizer que os valores do lavatório são fortemente influenciados pelo ruído de fundo. O mesmo não ocorreu na medição do apartamento 1004, porque esta foi realizada no mesmo pavimento das instalações hidrossanitárias. No apartamento 904, quando o microfone foi colocado um pavimento abaixo das instalações, já se tornou difícil caracterizar o ruído proveniente do lavatório, devido ao ruído residual alto.

É possível observar que a curva da descarga da bacia sanitária, na figura 4.17 mudou em relação à figura 4.4. Ambos os gráficos são referentes aos mesmos aparelhos hidrossanitários, no entanto, quando o microfone foi colocado no apartamento 904, houve uma redução nos valores de nível de pressão sonora, na faixa da frequência entre 250Hz e 4000Hz, em relação ao que foi medido no apartamento 1004. A redução mais significativa se deu nas frequências de 250Hz, 500Hz e 1000Hz. É possível dizer que houve uma atenuação de um pavimento para o outro, no ruído provocado pela descarga da bacia sanitária, na faixa de frequências de 250Hz a 1000Hz. Os valores de $L_{Aeq,nT}$ refletem esta constatação, pois o $L_{Aeq,nT}$ medido no 1004 foi de 41,61dB(A) e o medido no apartamento 904 foi de 36,48dB(A), uma diferença de aproximadamente 5dB(A).

Comparando-se o $L_{Aeq,nT}$ do ruído residual medido na suíte do apartamento 904 com os valores fornecidos pela tabela da NBR 15575-6 (ABNT, 2013), o valor de 31,78dB(A) estaria dentro do limite permitido pela norma que é 37dB(A), sendo assim se enquadraria no desempenho intermediário.

Quanto aos aparelhos hidrossanitários, a norma de desempenho recomenda que o $L_{ASmax,nT}$ não seja superior a 42dB(A) para se enquadrar no desempenho mínimo. O $L_{ASmax,nT}$ da torneira do lavatório do apartamento 1004, medido na suíte do 904 é 34,87dB(A), sendo assim está dentro do desempenho superior. Porém, o $L_{ASmax,nT}$ da descarga da bacia sanitária, medida nas mesmas condições apresenta o valor de 47,87dB(A), o que estaria acima do valor recomendado pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013).

Foi medido o TR da suíte do apartamento 904, segundo a ISO 3382-2 (ISO, 2008). O gráfico da figura 4.20 apresenta os resultados dessa medição.

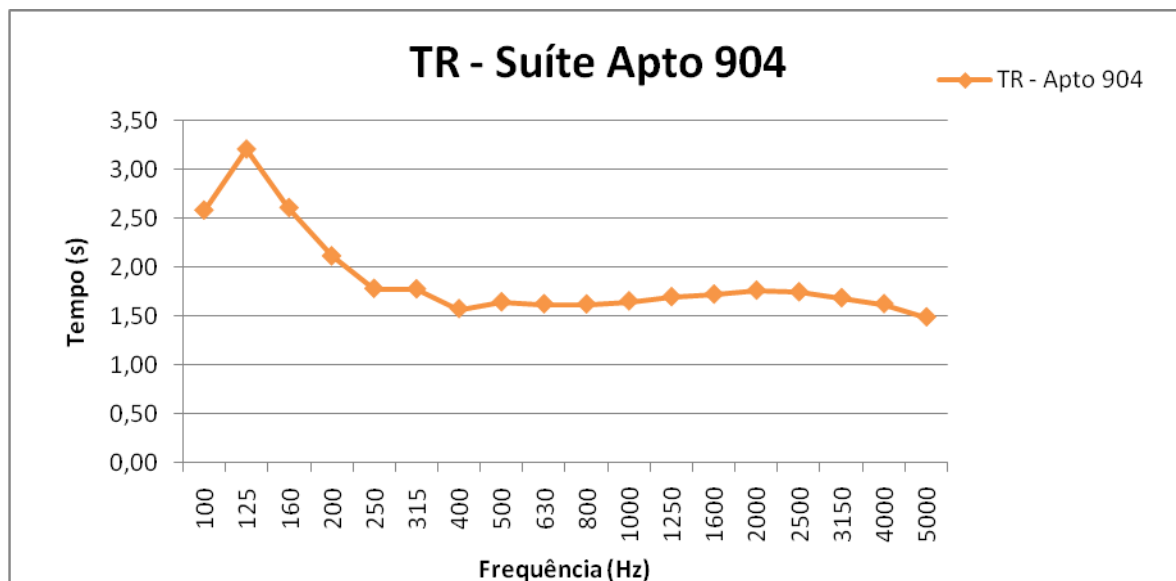


Figura 4.20 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 904.

O gráfico mostra um tempo de reverberação mais alto nas frequências mais baixas, sendo que na frequência de 125Hz há um pico, que poderia ser uma frequência de ressonância da sala. A suíte estava completamente vazia no dia da medição, sem a presença de móveis ou pessoas, os materiais de revestimento não apresentam propriedades absorventes, e o volume do cômodo é de aproximadamente 40m³. O TR para a frequência de 500Hz é 1,65s.

4.2.2 Banheiro da suíte do apartamento 904

A medição realizada no banheiro da suíte do apartamento 904, com os equipamentos hidrossanitários acionados a partir do banheiro do 1004, não atende os requisitos de distância para as posições de microfones, estipulados pela ISO 16032 (ISO, 2004) e nem a recomendação da NBR 15575 (ABNT, 2013), de que a medição seja realizada no quarto da unidade autônoma vizinha. A medição foi realizada, com o intuito de verificar se de fato as distâncias das paredes, estabelecidas pela norma internacional, influenciam na caracterização do ruído. Os resultados apresentados foram obtidos a partir da média dos 2 pontos de microfones escolhidos. O quadro 4.4 apresenta os resultados da medição.

Banheiro - 904	$L_{AFm\acute{a}x}$	$L_{ASm\acute{a}x}$	$L_{CFm\acute{a}x}$	$L_{CSm\acute{a}x}$	L_{Aeq}	L_{Ceq}
LAVATÓRIO	47,03	41,69	56,02	52,67	33,29	46,45
DESCARGA	54,03	52,15	63,87	60,34	44,46	53,82
R.RESIDUAL	41,47	36,77	51,25	48,48	30,03	45,21

Quadro 4.4 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 904.

Observando-se o quadro 8, é possível perceber que as grandezas ponderadas em C apresentam valores maiores que as ponderadas em A, assim como as grandezas com tempo de integração *fast*. O que está coerente com o resultado das medições realizadas nas suítes dos apartamentos 1004 e 904. Porém, ao se analisar o espectro de cada um dos aparelhos hidrossanitários medidos e do ruído de fundo, os gráficos não apresentam comportamento parecido com os fornecidos pelas medições nas suítes. O gráfico da figura 4.21 trata-se de uma comparação entre os espectros do L_{Fmax} , do $L_{Sm\acute{a}x}$ e do L_{eq} , sem ponderação, quando foi acionada a torneira do lavatório.

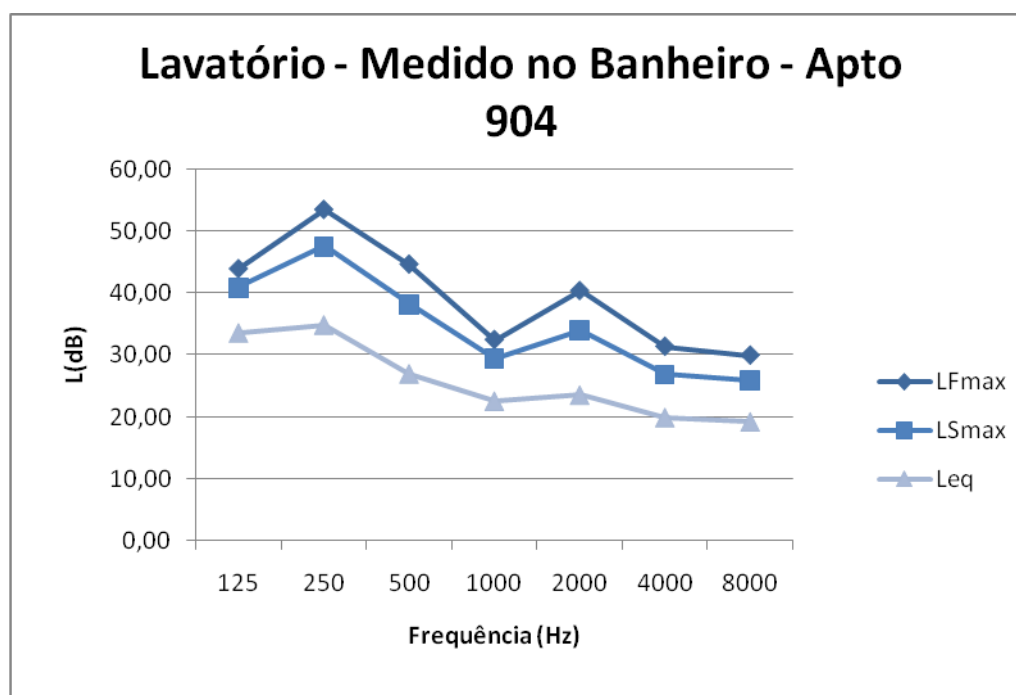


Figura 4.21 – Gráfico comparativo entre $L_{Sm\acute{a}x}$, L_{Smin} e L_{eq} – Lavatório medido no banheiro do apto 904.

As curvas do L_{Fmax} e do L_{Smax} apresentam picos em frequências, que não foram observados nos resultados das medições realizadas nas suítes. Quando se observa a curva do L_{eq} , esses picos praticamente desaparecem nas frequências a partir de 125Hz. O banheiro da suíte do apartamento 904 é exatamente embaixo do banheiro da suíte do apartamento 1004, de onde foi acionada a torneira do lavatório.

Um dos pontos de medição, o ponto 1, estava localizado a 0,50m do *shaft* onde está o tubo de queda da instalação de esgoto. Sendo assim, enquanto a torneira ainda estava aberta e parte da água ainda estava caindo sobre o lavatório, outra parte já estava descendo pelo tubo de queda. São ruídos provocados pelo acionamento do mesmo aparelho sanitário, porém com características completamente diferentes e provavelmente com L_{max} em frequências diferentes. Essa poderia ser uma justificativa para o comportamento diferenciado das curvas de L_{Fmax} e L_{Smax} observadas para o lavatório.

Outra justificativa seria que o microfone, quando colocado no ponto 1 está dentro do campo direto gerado pela fonte *shaft*, considerando que este é um local onde está concentrada toda a tubulação do sistema hidráulico e de esgoto da instalações hidrossanitárias. Como o banheiro apresenta dimensões muito pequenas era sabido que as posições de microfone estariam muito próximas de paredes ou obstáculos, ou no campo direto de possíveis fontes sonoras. As figura 4.22 e 4.23 mostram os gráficos da descarga e do ruído residual medidos no mesmo local, para as mesmas posições de microfone.

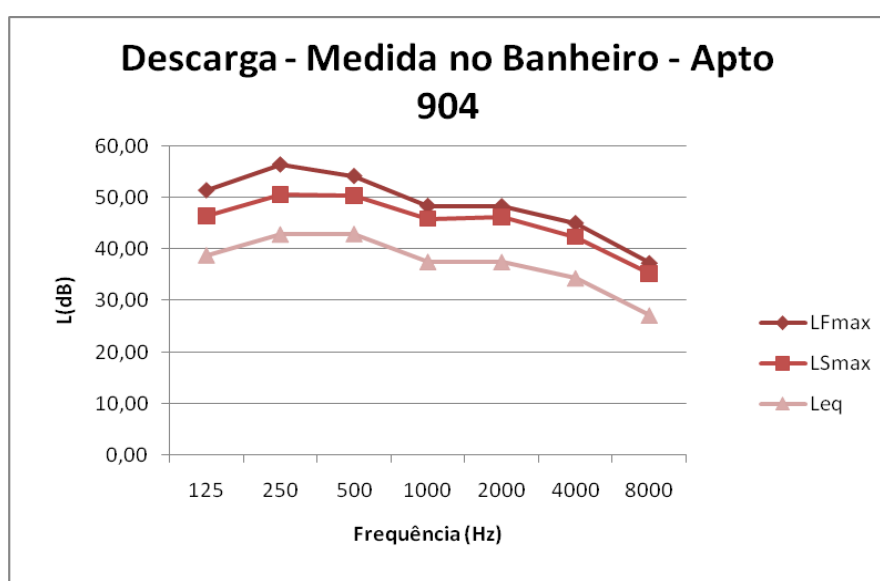


Figura 4.22 – Gráfico comparativo entre L_{Smax} , L_{Fmax} e L_{eq} – Descarga medida no banheiro do apto 904.

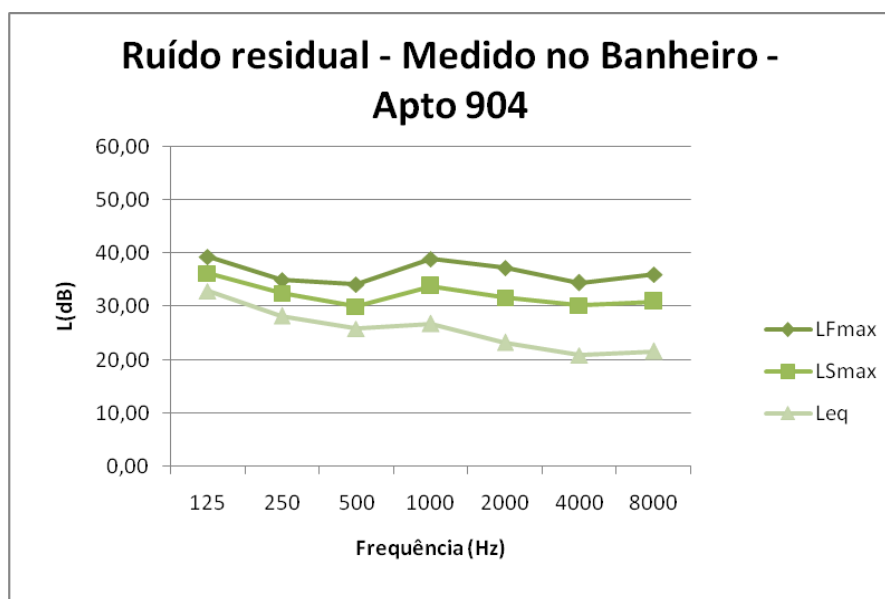


Figura 4.23 – Gráfico comparativo entre L_{Smax} , L_{Smin} e L_{eq} – ruído residual medido no banheiro do apto 904.

O comportamento da curva fornecida pela descarga é similar ao apresentado na medição realizada na suíte do apartamento 904, porém os valores da medição realizada no banheiro são bem mais altos. A respeito do ruído residual, pode-se observar a presença de picos nas baixas e médias frequências, principalmente nos L_{max} , nos dois tempos de integração. Os picos não são tão acentuados quanto os observados no lavatório, mas podem ter influenciado os resultados das curvas do lavatório.

Pode-se observar que os valores do ruído residual medidos no banheiro são mais baixos que os valores medidos na suíte do mesmo apartamento. O L_{Aeq} do banheiro é 30,03 dB(A), sendo que o L_{Aeq} da suíte é 36,98dB(A), praticamente 7dB(A) de diferença. É fato que a paisagem sonora muda um pouco no lado esquerdo do prédio, localização da janela do banheiro, em relação ao lado direito, onde está localizada a janela do quarto, que faz divisa com o Parque Itaimbé. Os gráficos das figuras 4.24, 4.25 e 4.26 são comparativos entre o ruído de fundo, o ruído gerado pela descarga e o ruído gerado pela torneira do lavatório, para cada uma das grandezas medidas: L_{Fmax} , L_{Smax} e L_{eq} .

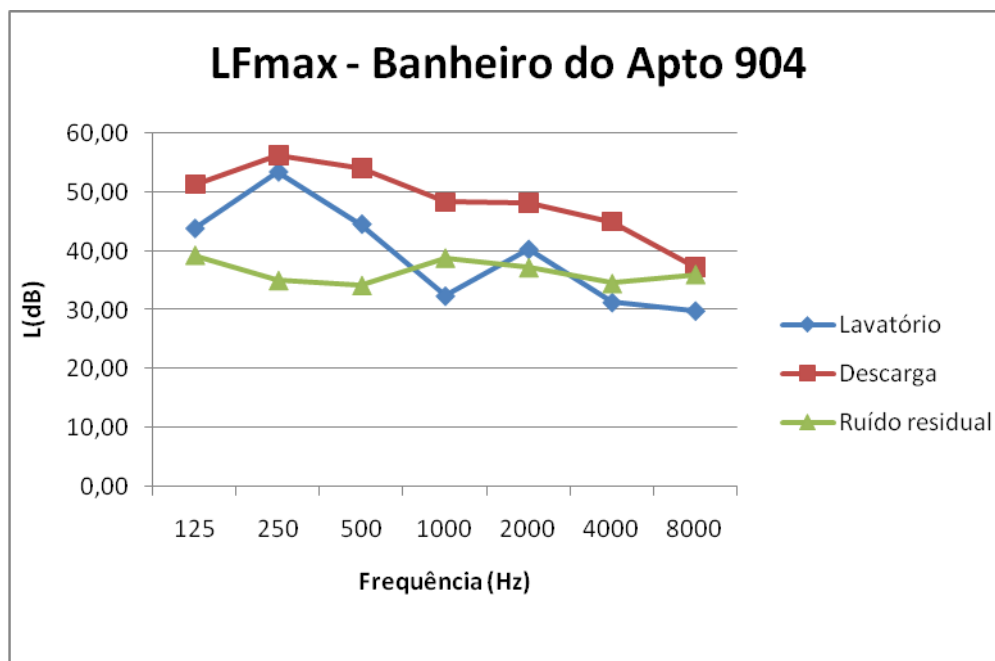


Figura 4.24 – Gráfico comparativo entre o L_{Fmax} do lavatório, da descarga e do ruído residual no banheiro da suíte do apto 904.

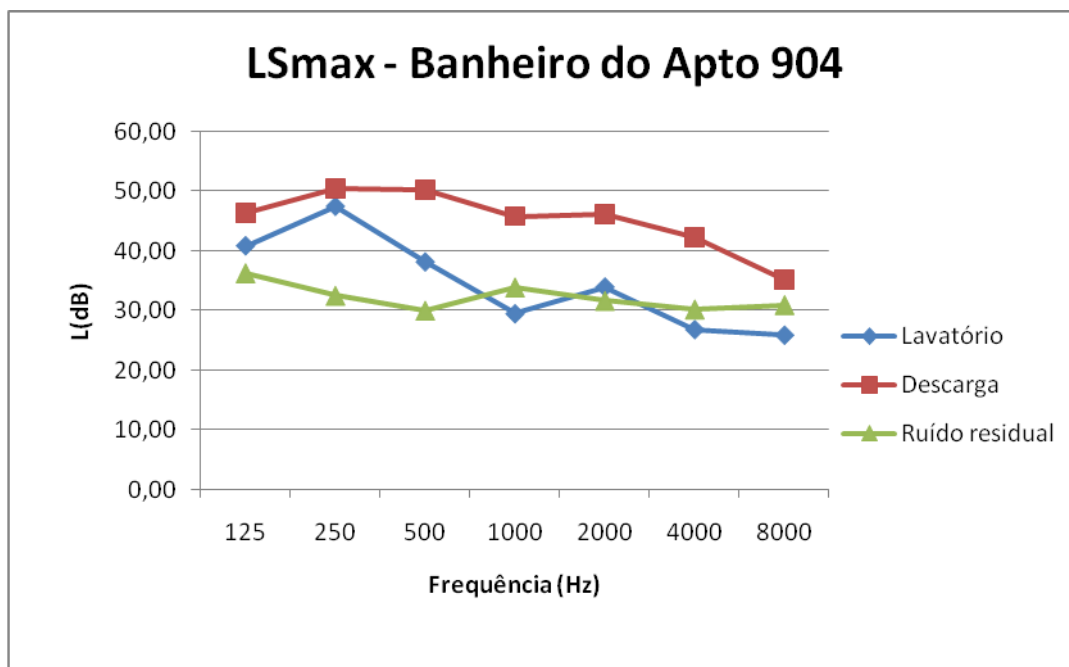


Figura 4.25 – Gráfico comparativo entre o L_{Smax} do lavatório, da descarga e do ruído residual no banheiro da suíte do apto 904.

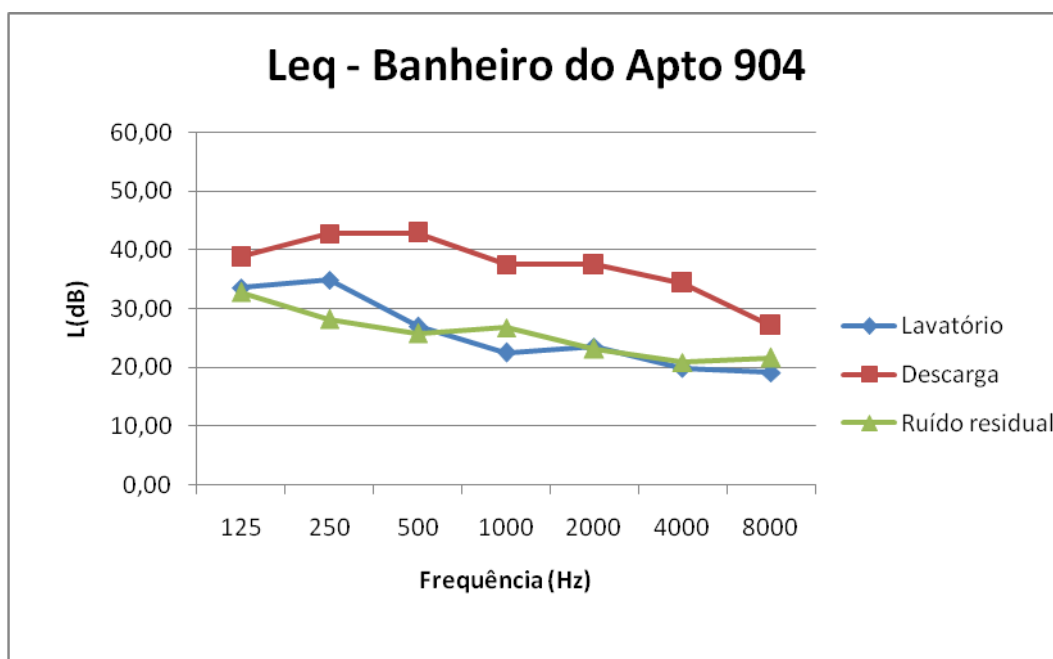


Figura 4.26 – Gráfico comparativo entre o L_{eq} do lavatório, da descarga e do ruído residual no banheiro da suíte do apto 904.

Em todos os gráficos comparativos entre os ruídos hidrossanitários gerados e o ruído residual, é possível perceber que o ruído proveniente dos aparelhos sanitários está acima do ruído residual, principalmente o ruído da descarga, que chega a estar mais de 10dB em todas as frequências a partir de 125Hz. As curvas do ruído residual e do lavatório mostradas nos gráficos das figuras 4.24, 4.25 e 4.26 apresentam comportamento muito diferente das que aparecem nos gráficos comparativos das medições realizadas nas suítes.

A curva de descarga apresenta um comportamento mais parecido. Os valores únicos apresentados, ou seja, a diferença entre os valores da descarga, do lavatório e do ruído residual, é coerente com a realidade, pois é nítida a sensação de volume mais alta da descarga em relação ao lavatório e ao ruído residual. Tal fato é observável tanto nos gráficos quanto no quadro 8, dos valores absolutos.

A presença dos picos nas curvas do ruído residual e do lavatório, podem ser devido ao fato de não terem sido respeitadas as especificações da ISO 16032 (ISO, 2004), apesar que o mesmo não ocorreu para a descarga. De qualquer forma, é uma medição duvidosa já que não apresenta coerência em relação às demais medições, que estão de acordo com as prescrições da norma internacional. Não foi medido o TR do banheiro da suíte do apartamento 904.

4.3 Medições no apartamento 604 – instalações hidrossanitárias do 704.

As medições realizadas na suíte do apartamento 604 seguem o mesmo procedimento e as mesmas condições do apartamento 904, ou seja, foi medido o ruído das instalações hidrossanitárias localizadas no banheiro da suíte da unidade autônoma acima de onde estava o microfone. Sendo assim, foram medidos na suíte do apartamento 604, os aparelhos sanitários do banheiro da suíte do apartamento 704. O quadro 4.5 apresenta os resultados globais para o $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e o $L_{eq,nT}$, nas ponderações A e C.

Suíte 604	$L_{AFmax,nT}$	$L_{ASmax,nT}$	$L_{CFmax,nT}$	$L_{CSmax,nT}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{Ceq,nT}$
LAVATÓRIO	38,75	35,12	50,01	45,50	30,46	38,32
DESCARGA	46,84	41,57	54,65	49,31	33,10	40,39
R.RESIDUAL	39,05	35,70	44,83	42,06	31,13	38,05

Quadro 4.5 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 604.

Analisando-se o quadro 4.5 é possível perceber que todas as grandezas na ponderação C apresentam valores mais altos que as grandezas medidas na ponderação A. O que significa que os aparelhos sanitários medidos apresentam valores mais altos de nível de pressão sonora nas baixas frequências. Além disso, os $L_{Fmax,nT}$ apresentam valores mais altos que os $L_{Smax,nT}$, nas duas ponderações calculadas, A e C. Foi feita a correção do ruído de fundo em ambos os aparelhos hidrossanitários e pode-se concluir que os resultados do lavatório são influenciados pelo ruído residual.

Pode-se observar que os valores únicos do lavatório e do ruído residual, quando ponderados em A apresentam diferença menor do que 1dB, o que não é audível. Dessa forma, segundo os resultados apresentados, não é possível separar o ruído gerado pelo lavatório do ruído residual. Analisando-se apenas os valores únicos fornecidos, os dois ruídos são de mesma magnitude.

O quadro 9 mostra que os valores únicos em A e C para a descarga da bacia sanitária do apartamento 704 são mais altos que os calculados para ruído residual da suíte do apartamento 604, em todas as grandezas. Sendo assim, é possível caracterizar a descarga e, portanto, os resultados são representativos e não são influenciados pelo ruído residual. As

figuras 4.27, 4.28 e 4.29 apresentam os gráficos comparativos entre o $L_{Fmax,nT}$, o $L_{Smax,nT}$ e o $L_{eq,nT}$, para o lavatório, a descarga e o ruído residual medidos na suíte do apartamento 604.

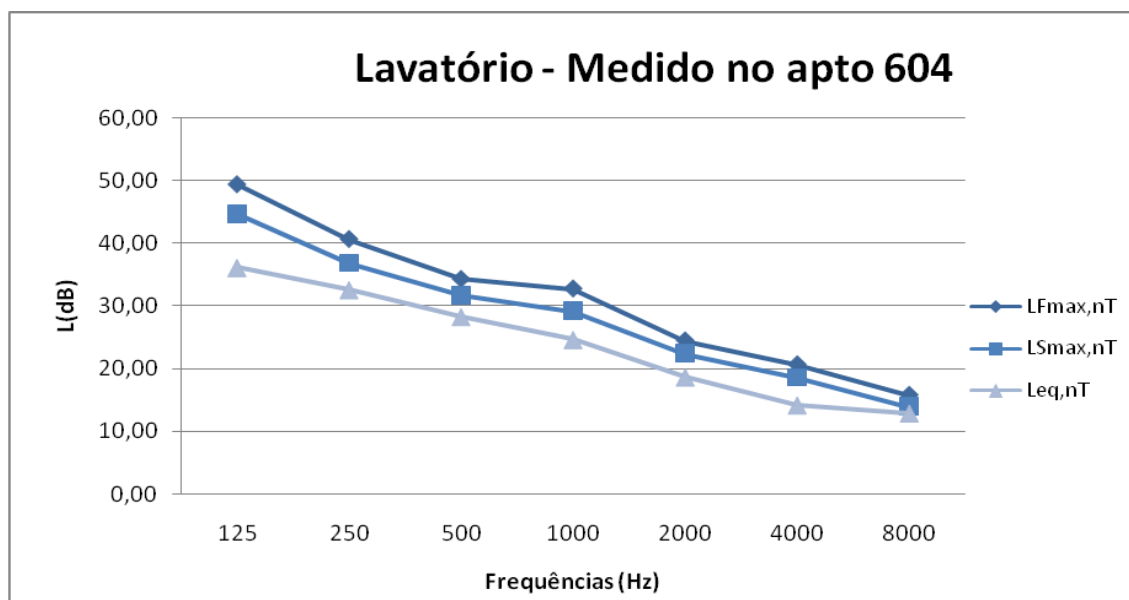


Figura 4.27 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – Lavatório medido na suíte do apto 604.

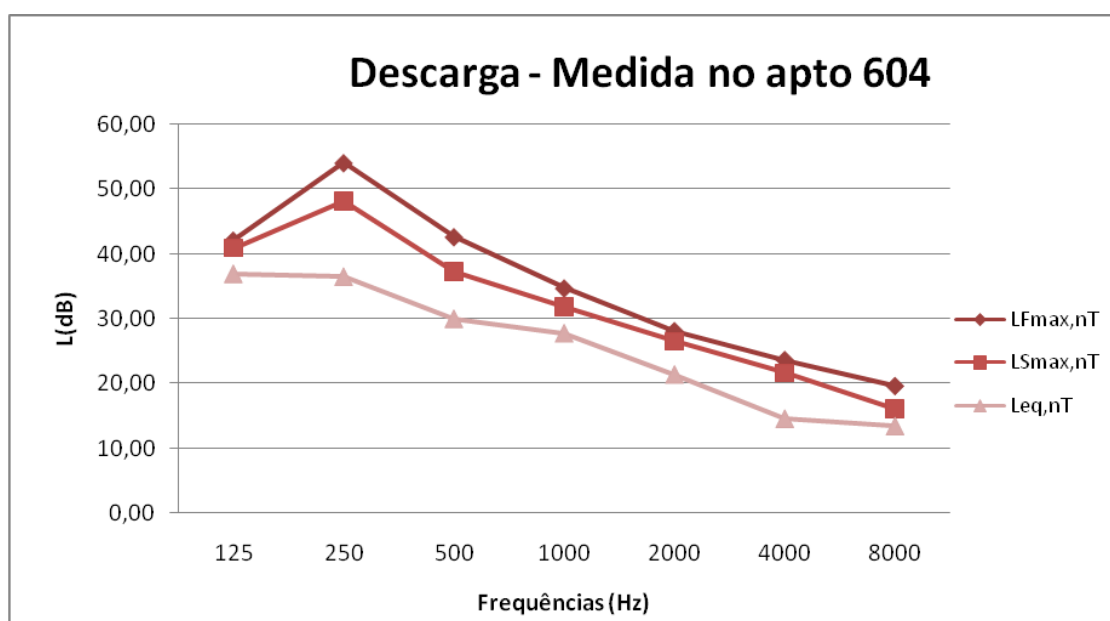


Figura 4.28 – Gráfico comparativo entre $L_{Smax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – Descarga medida na suíte do apto 604.

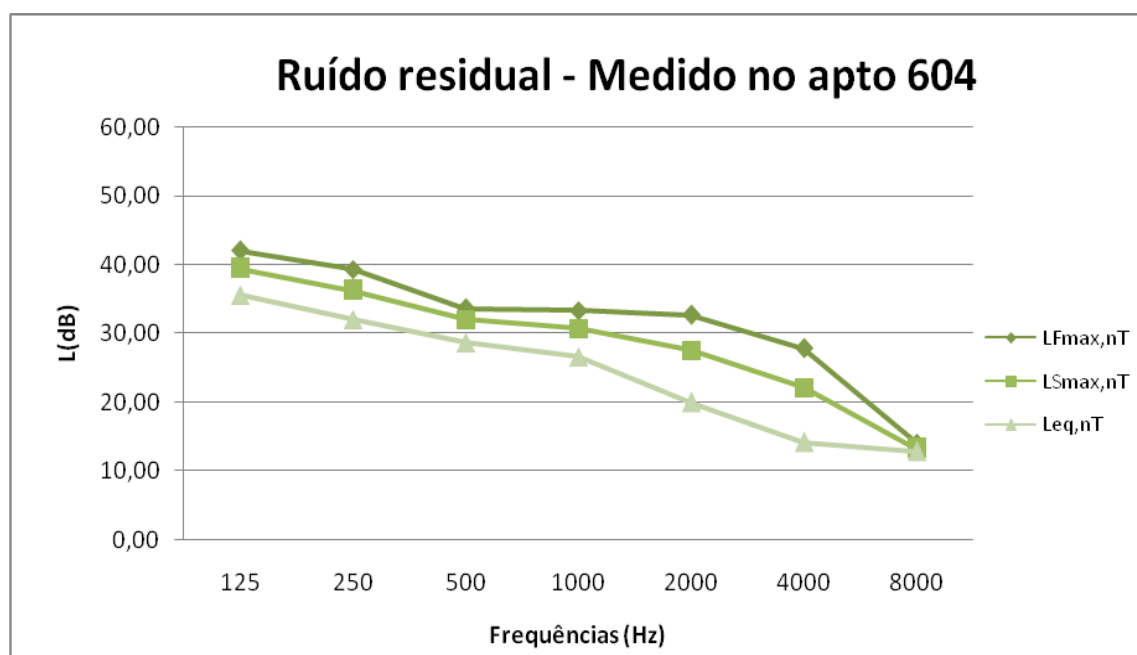


Figura 4.29– Gráfico comparativo entre $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$ – ruído residual medido na suíte do apto 604.

Os gráficos apresentados acima, são coerentes com a análise dos valores numéricos únicos do quadro 9, pois pelas curvas é possível observar que o ruído residual e os aparelhos sanitários medidos, apresentam os maiores valores de nível de pressão sonora nas baixas frequências, o que faz com que os valores únicos na ponderação C sejam maiores que na ponderação A.

As curvas do $L_{eq,nT}$ apresentam os valores mais baixos e tendem a suavizar os picos em determinadas frequências, que aparecem nas curvas do $L_{Smax,nT}$ e $L_{Fmax,nT}$. Os gráficos das figuras 4.30, 4.31 e 4.32 auxiliam a comparar os ruídos gerados pelos aparelhos hidrossanitários com o ruído residual, nas grandezas $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$.

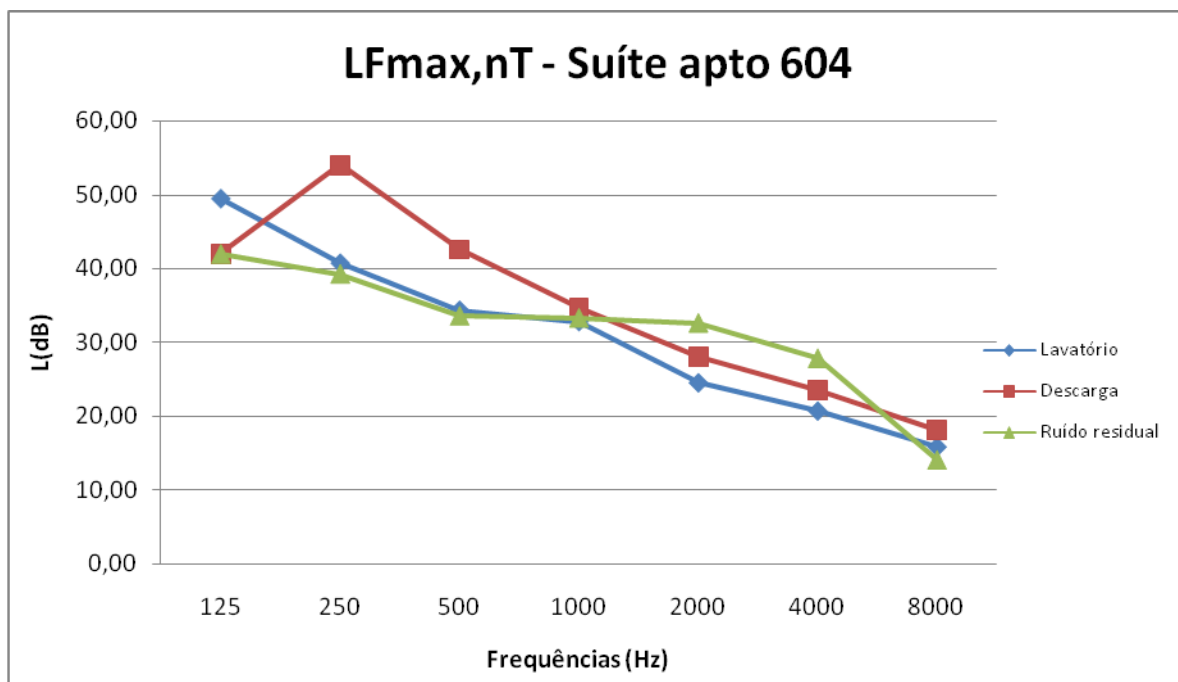


Figura 4.30 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 604.

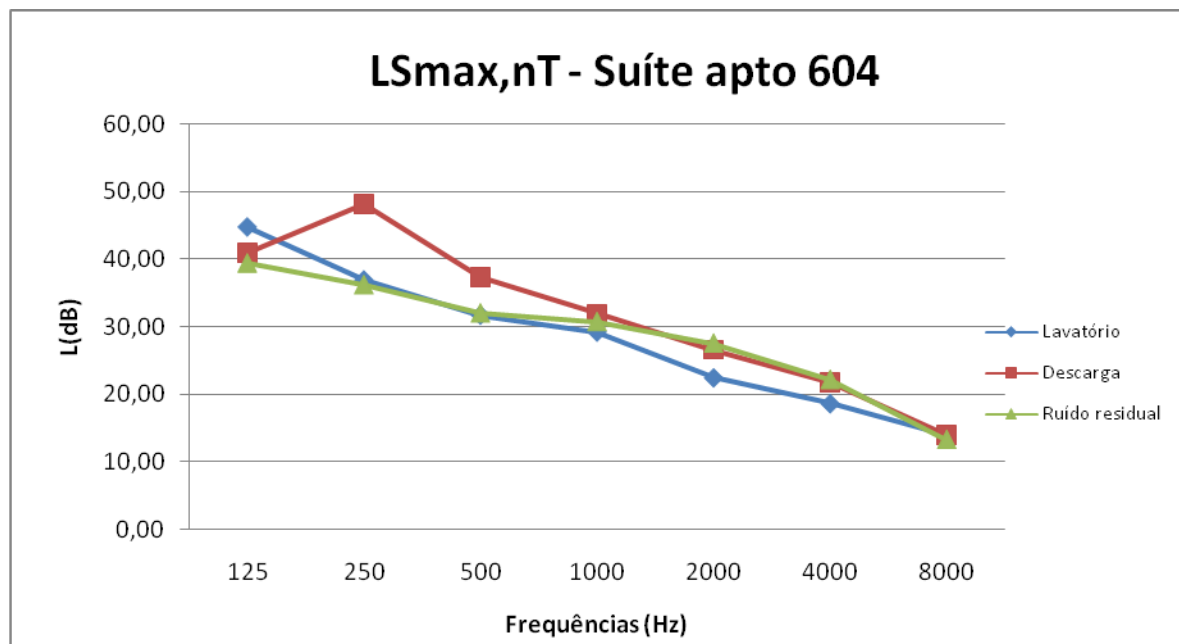


Figura 4.31 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do residual na suíte do apto 604.

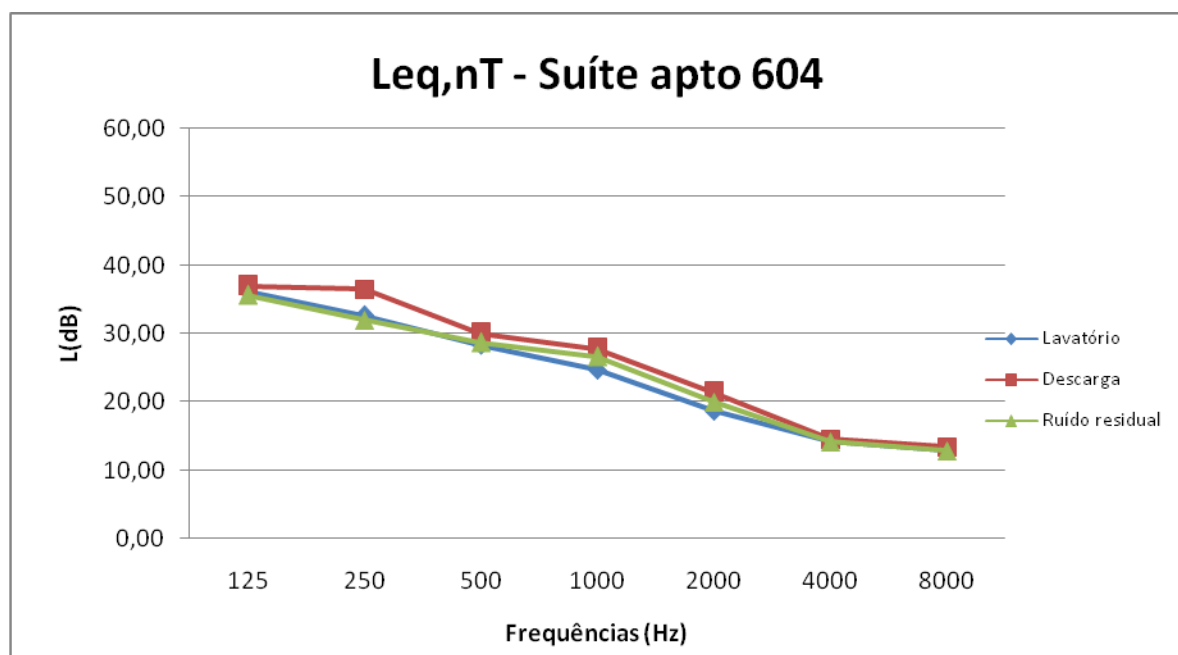


Figura 4.32 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 604.

Ao se observar os gráficos das figuras 4.30, 4.31 e 4.32 é possível perceber que as curvas do ruído gerado pelo lavatório e pelo ruído residual apresentam um comportamento muito parecido, no entanto os valores do ruído residual estão acima dos do lavatório nas frequências mais altas. Isso não seria possível a não ser que no momento da medição do ruído residual houvesse mais alguma fonte sonora, que não estivesse presente no momento da medição do lavatório. É possível que isso tenha ocorrido, porém tal fonte não foi percebida durante a medição. Esta seria uma fonte com componentes em alta frequência, pois em algumas frequências mais altas o ruído residual está inclusive maior que o ruído da descarga. De qualquer forma, o que se pode concluir é que não é possível nessa medição caracterizar o ruído da torneira do lavatório, pois ele é mascarado pelo ruído residual.

Quanto às curvas da descarga e do ruído residual, em algumas frequências, elas se sobrepõem, no entanto, na faixa entre 125Hz e 1000Hz, o $L_{eq,nT}$ e o $L_{Smax,nT}$ da descarga são sempre maiores. Sendo assim, ao passar esses valores para a ponderação A, a descarga é destacada em relação ao ruído de fundo, por isso ao observar-se o valor único $L_{Aeq,nT}$ da descarga, ele apresenta uma diferença de 2dB(A) em relação ao $L_{Aeq,nT}$ do ruído residual, e o $L_{ASmax,nT}$ da descarga é quase 6dB(A) maior do que o ruído residual. Tais valores significam

que o ruído provocado pela descarga no apartamento 704 pode ser ouvido no apartamento 604.

Comparando-se os resultados obtidos, com os valores mencionados pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013), pode-se dizer que o apartamento 604 em relação ao lavatório do apartamento 704, atende o desempenho superior (S), pois seu $L_{ASmax,nT}$ é 35,12dB(A) e o desempenho superior estabelecido pela norma para esta grandeza é $L_{ASmax,nT} \leq 36$ dB(A). O $L_{Aeq,nT}$ do lavatório é 30,46dB(A), que se enquadra no desempenho intermediário. Quanto ao ruído residual, também atende o desempenho mínimo, pois o valor do $L_{Aeq,nT}$ medido foi de 31,15dB(A), que é menor que 34dB(A), sendo assim está dentro do desempenho intermediário.

Quanto ao ruído gerado pela descarga da bacia sanitária o apartamento 604 atende o desempenho mínimo, pois o $L_{ASmax,nT}$ medido foi de 41,57dB(A), que é menor do que 42dB(A). O gráfico da figura 4.33 apresenta o TR da suíte do apartamento 604.

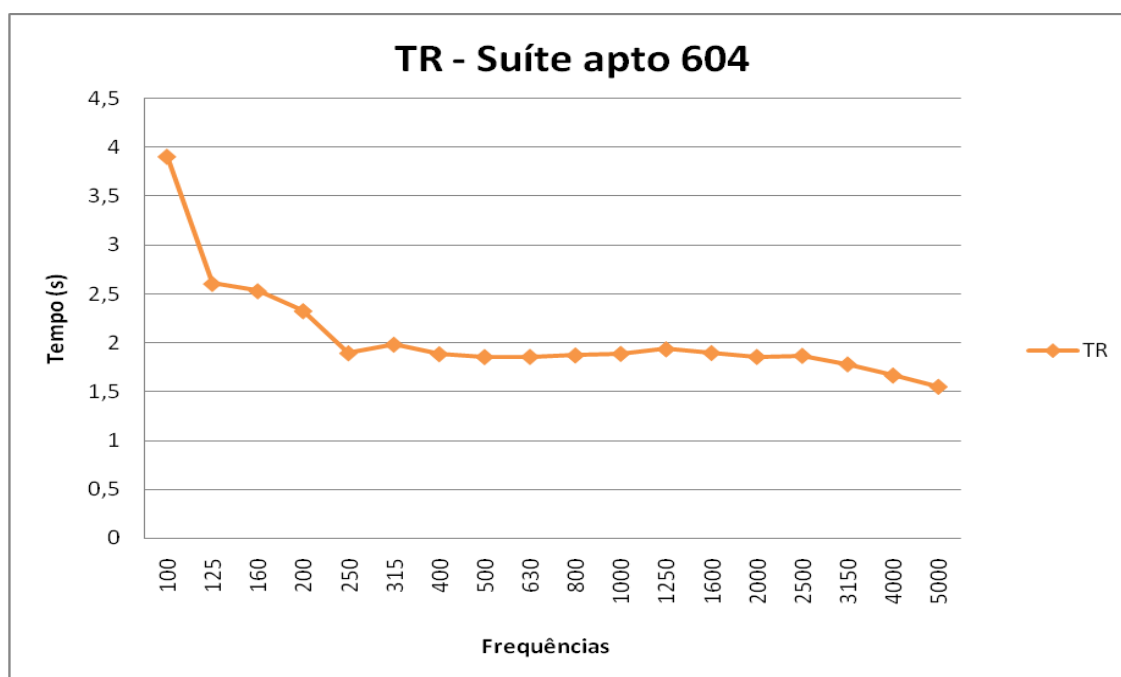


Figura 4.33 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 604.

O gráfico mostra um tempo de reverberação mais alto nas frequências mais baixas. A suíte estava completamente vazia no dia da medição, sem a presença de móveis ou pessoas, os

materiais de revestimento não apresentam propriedades absorventes, e o volume do cômodo é aproximadamente 40m^3 . O TR para a frequência de 500Hz é $1,86\text{s}$. O comportamento da curva do TR da suíte do apartamento 604 é muito parecido com o das suítes do 1004 e do 904, o que era esperado, tendo em vista que os cômodos possuem o mesmo volume, a mesma geometria e os mesmos materiais de revestimento.

4.4 Medições no apartamento 404 – instalações hidrossanitárias do 504.

As medições realizadas na suíte do apartamento 404 seguem o mesmo procedimento das realizadas nos apartamentos 904 e 604. Ou seja, foi medido o ruído das instalações hidrossanitárias localizadas no banheiro da suíte da unidade autônoma acima de onde está localizado o microfone. Sendo assim, foram medidos na suíte do apartamento 404, os aparelhos sanitários do banheiro da suíte do apartamento 504. O quadro 4.6 apresenta os valores únicos do $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e o $L_{eq,nT}$, nas ponderações A e C.

Suíte - 404	$L_{AFmá,nT}$	$L_{ASmá,nT}$	$L_{CFmá,nT}$	$L_{CSmá,nT}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{Ceq,nT}$
LAVATÓRIO	39,79	36,49	44,17	41,60	31,38	37,02
DESCARGA	41,68	37,36	47,53	43,01	32,01	37,21
RF	37,64	36,19	45,37	42,72	31,68	37,43

Quadro 4.6 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 404.

A partir do quadro 4.6 é possível perceber que os valores das grandezas $L_{AFmax,nT}$, $L_{ASmax,nT}$ e $L_{Aeq,nT}$ são menores do que quando ponderados em C. Assim como os valores de $L_{max,nT}$ quando utilizado o tempo de integração *slow* são menores do que quando integrados em *fast*.

As grandezas $L_{Fmax,nT}$ e $L_{Smax,nT}$ ponderadas em A, apresentaram o valor maior para o lavatório do que para o ruído de fundo, porém quando ponderadas em C, o ruído residual apresentou maior valor que o lavatório. Os gráficos das figuras 4.34 e 4.35 auxiliam na compreensão desta informação.

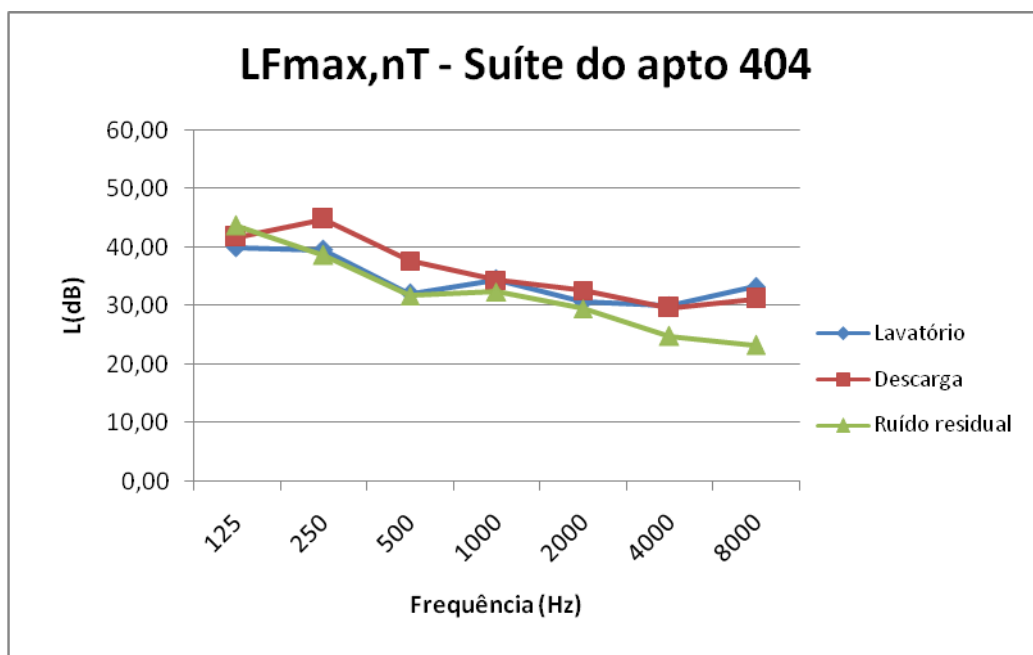


Figura 4.34 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 404.

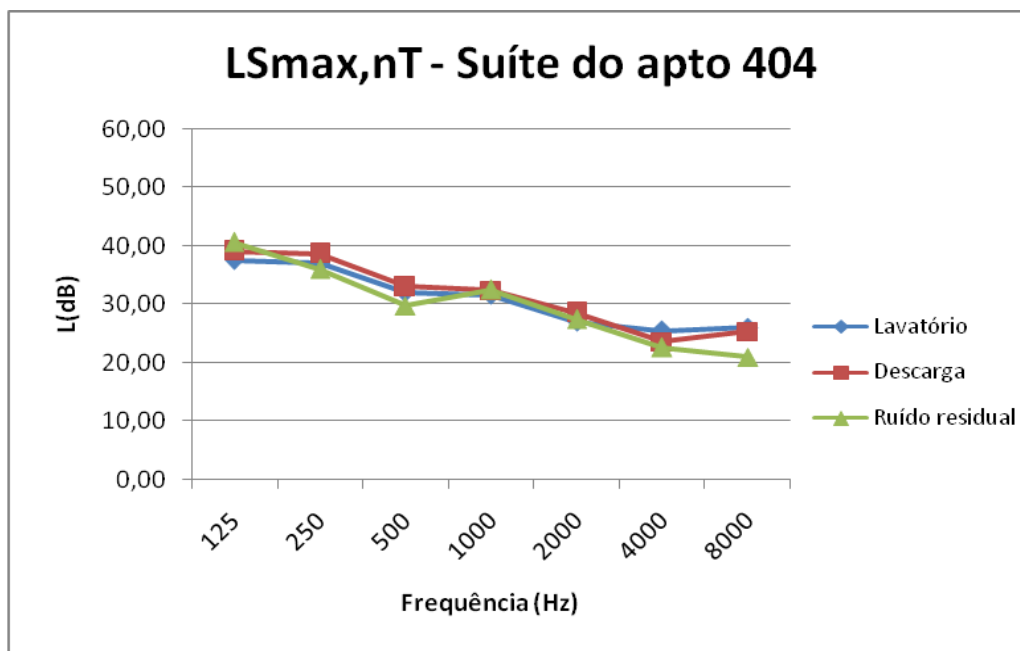


Figura 4.35 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 404.

Ao se observar os gráficos das figuras 4.34 e 4.35 é possível perceber que nas frequências até 250Hz, o ruído da descarga e do lavatório praticamente se confundem com o ruído residual, para as grandezas $L_{Fmax,nT}$ e $L_{Smax,nT}$. A partir de 250Hz, o ruído proveniente da descarga nunca é inferior ao ruído residual, ou é igual ou superior. E a partir de 2000Hz o ruído do lavatório é sempre superior ao ruído residual e apresenta NPS muito próximo do ruído da descarga. Isso explica, porque na ponderação C o valor único do $L_{Fmax,nT}$ e o $L_{Smax,nT}$ do ruído residual é mais alto do que o do lavatório e da descarga.

Quando é acionada a descarga do apartamento 504 é possível escutá-la na suíte do apartamento 404. Mesmo que não fosse possível senti-la, ao ser acionada, ela nunca seria menor que o ruído residual, se ela fosse completamente inaudível o ouvido humano estaria escutando exatamente o ruído de fundo. Sendo assim, a ponderação C para o $L_{Fmax,nT}$ e para o $L_{Smax,nT}$ não expressa a realidade do cenário sonoro existente no local. A ponderação A expressa com mais exatidão a sensação de volume provocada pelos 3 ruídos analisados. O gráfico da figura 4.36 auxilia na análise do que ocorre em relação ao $L_{eq,nT}$, nas ponderações A e C.

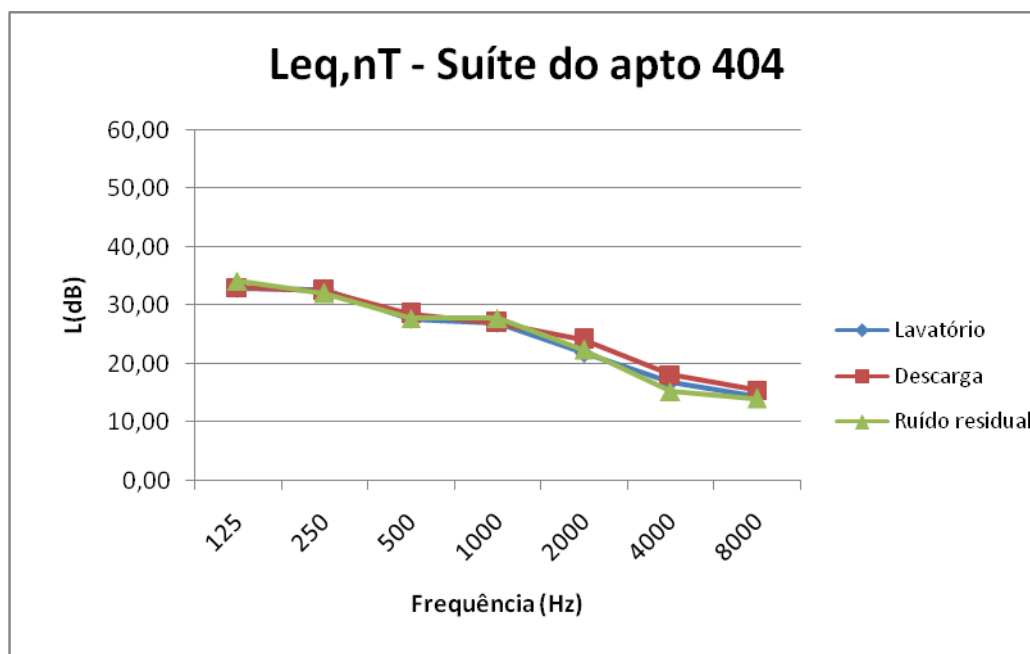


Figura 4.36 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 404.

O gráfico das curvas do $L_{eq,nT}$, sem ponderação, expressa que os valores devidos a contribuição do lavatório, da descarga e do ruído residual praticamente se sobrepõem até a frequência de 1000Hz, quando a descarga passa então, a apresentar valores maiores. Quando é aplicada a ponderação C nas curvas do gráfico 4.36, os resultados das baixas frequências são pouco atenuados em relação à ponderação A, e os valores das altas frequências diminuem, sendo que a ponderação A aumenta os valores entre 2000 e 4000Hz. O valor único para o $L_{Ceq,nT}$ do ruído residual, por isso, é maior do que da descarga e da bacia sanitária.

O valor único do $L_{eq,nT}$ na ponderação em A, apresenta o ruído da descarga como sendo maior que o ruído residual. E quanto ao lavatório e o ruído residual, a diferença é menor que 1dB(A), sendo assim, a medição do lavatório é influenciada pelo ruído residual. É difícil de sentir diferença na paisagem sonora da suíte do apartamento 404 quando o lavatório do banheiro do 504 é acionado. O gráfico da figura 4.37 apresenta o TR medido para a suíte do apartamento 404.

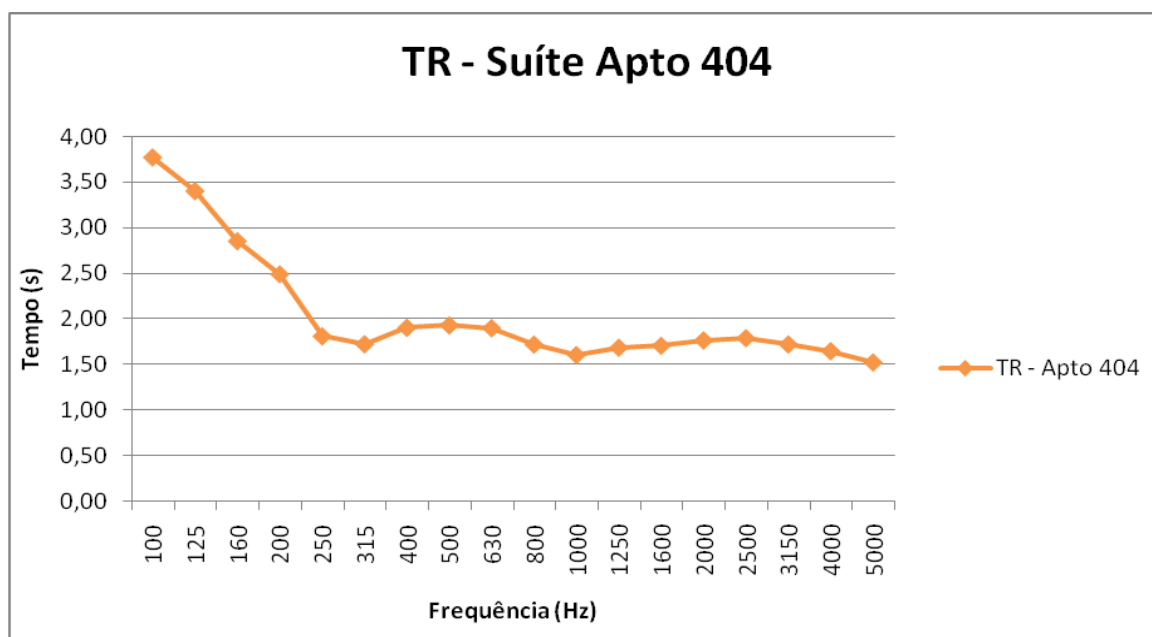


Figura 4.37 – Gráfico do TR da suíte do apartamento 404.

O gráfico mostra um tempo de reverberação mais alto nas frequências mais baixas, até aproximadamente 250Hz. Para frequências mais altas o comportamento da sala se mantém praticamente homogêneo. A suíte estava completamente vazia no dia da medição, sem a

presença de móveis ou pessoas. Os materiais de revestimento não apresentam propriedades absorventes, e o volume do cômodo é aproximadamente 40m³. O TR para a frequência de 500Hz é 1,93s.

4.5 Medições no apartamento 704 – instalações hidrossanitárias do 904.

As medições realizadas na suíte do apartamento 704 diferem das demais, pois nesta situação foi medido o NPS do ruído gerado pelas instalações hidrossanitárias do apartamento 904. A medição foi realizada com o intuito de se verificar se seria possível medir o ruído de instalações hidrossanitárias, com o equipamento de medição instalado dois pavimentos abaixo. O quadro 4.7 apresenta os valores únicos do $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e o $L_{eq,nT}$, nas ponderações A e C. Cabe ressaltar que o procedimento adotado para a obtenção dos valores mostrados no quadro 4.6 é o mesmo utilizado em todas as outras situações, porém como não foi medido o TR da suíte do apartamento 704, foi utilizado o TR do apartamento 604, já que os TR's de todas as suítes são muito parecidos.

Suíte 704	$L_{AFmax,nT}$	$L_{ASmax,nT}$	$L_{CFmax,nT}$	$L_{CSmax,nT}$	$L_{Aeq,nT}$	$L_{Ceq,nT}$
LAVATÓRIO	37,99	33,96	46,86	43,54	29,49	38,70
DESCARGA	38,70	35,37	44,70	42,05	30,99	38,23
RF	37,25	34,05	46,81	43,35	30,77	38,91

Quadro 4.7 – Resultados da medição realizada no banheiro do apartamento 704.

O quadro 4.7 mostra que em todas as grandezas, quase não há diferença entre o ruído residual, o ruído do lavatório e o ruído da descarga. Comparando-se os $L_{Aeq,nT}$ dos três ruídos é possível perceber que a única coisa medida nessa situação foi o ruído de fundo. Tal constatação é reforçada pelos gráficos das figuras 4.38, 4.39 e 4.40.

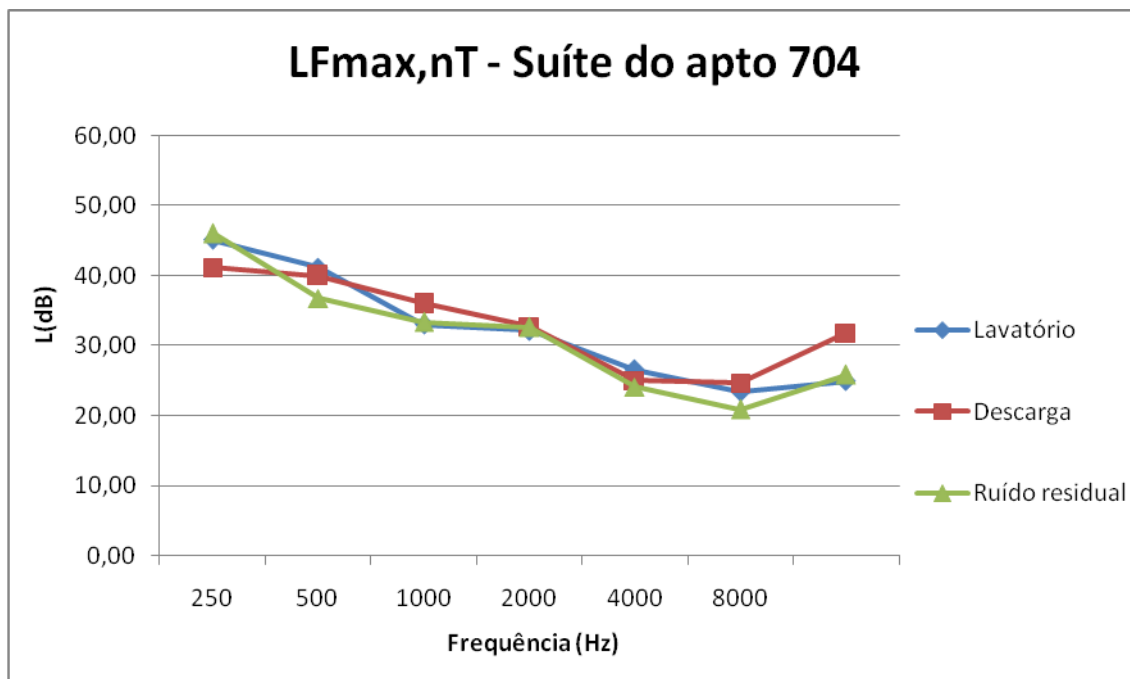


Figura 4.38 – Gráfico comparativo entre o $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 704.

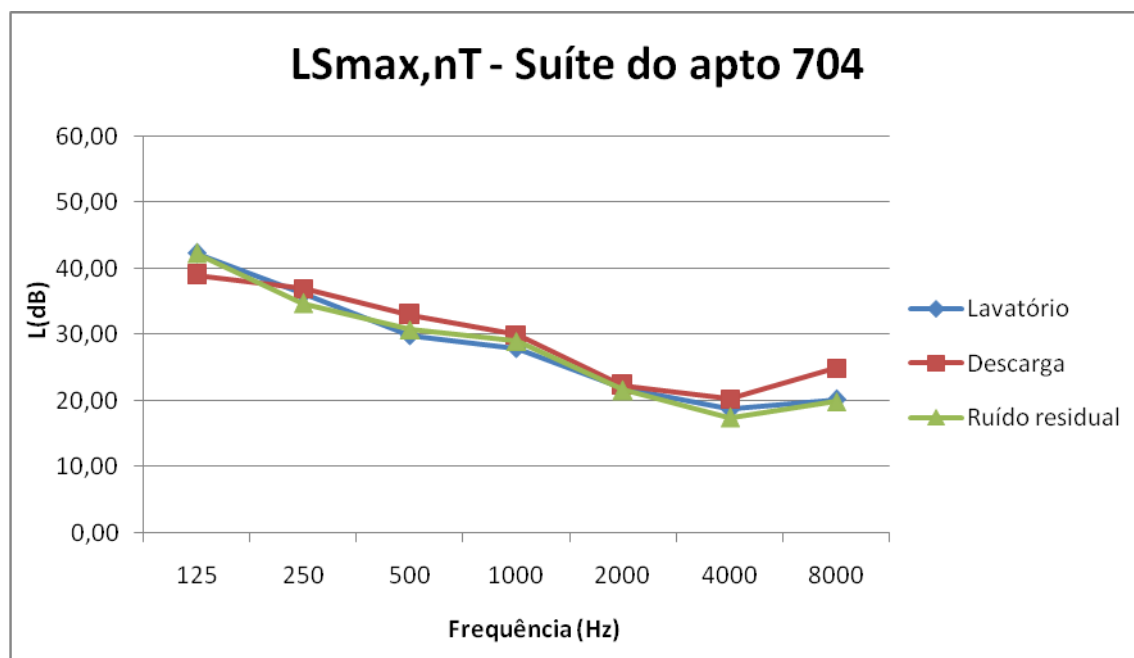


Figura 4.39 – Gráfico comparativo entre o $L_{Smax,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 704.

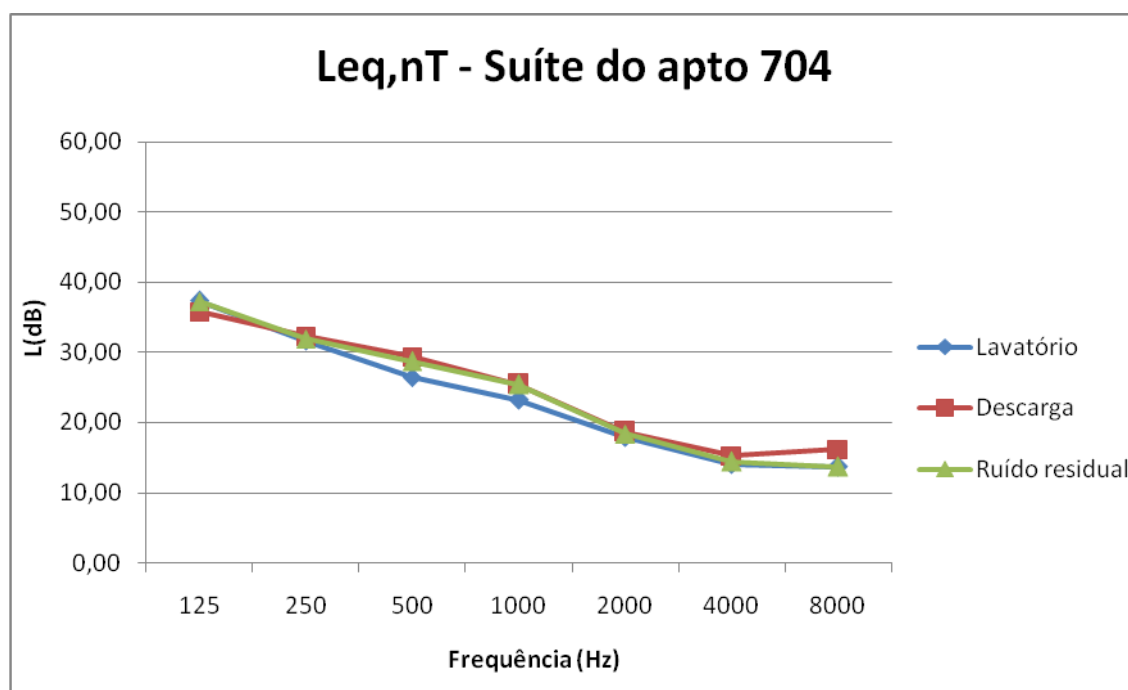


Figura 4.40 – Gráfico comparativo entre o $L_{eq,nT}$ do lavatório, da descarga e do ruído residual na suíte do apto 704.

Os gráficos acima mostram que para as três grandezas apresentadas: $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$, as curvas geradas pelo ruído do lavatório, pelo ruído da descarga e pelo ruído residual praticamente se sobrepõem. O espectro das grandezas medidas justifica porque no quadro de comparação dos valores únicos ponderados praticamente não há variação. A leitura desses números é que não é possível, na edificação medida, perceber o ruído gerado pela torneira do lavatório e pela descarga, em uma unidade autônoma localizada 2 pavimentos acima de onde se está medindo.

4.6 Análise geral

Para comparar as propriedades das suítes, onde foram realizadas as medições, foi construído o gráfico da figura 4.41, que apresenta as curvas do TR de todas as suítes medidas, menos do apartamento 704, pois não foi realizada medição do TR nele.

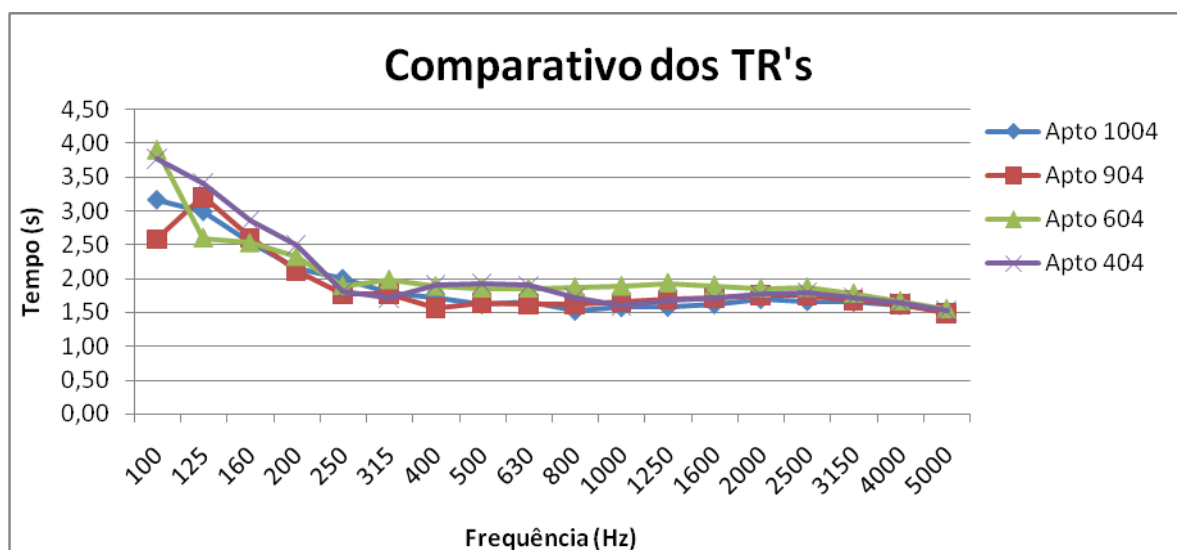


Figura 4.41 – Gráfico dos TR's das suítes, onde foram realizadas medições.

Através da figura 4.41 é possível observar que as curvas do TR de todas as suítes medidas, apresentam o mesmo comportamento, ou seja, tempo de reverberação variando bastante até 250Hz, e a partir dessa frequência resultados praticamente homogêneos. Essa convergência nas curvas do TR era esperada, tendo em vista que os cômodos medidos são muito parecidos. As curvas só não são exatamente iguais, porque as salas são variáveis aleatórias, então apesar de terem as mesmas dimensões e serem revestidas com os mesmos materiais, nunca serão iguais.

Dessa forma, é satisfatório concluir, a partir do gráfico, que as suítes apresentam características acústicas parecidas, como por exemplo, frequência de Schroeder² muito parecidas, em torno de 450Hz. Tal constatação é relevante, pois se os resultados das medições do ruído das instalações hidrossanitárias apresentassem divergências, as mesmas não são decorrentes de características da sala de recepção. As figuras 4.42, 4.43 e 4.44 mostram o $L_{Fmax,nT}$, o $L_{Smax,nT}$ e o $L_{eq,nT}$ do ruído de fundo para todas as suítes.

² Frequência de Schroeder (f_s) = $2000 \cdot \sqrt{(TR/V)}$, onde TR é o tempo de reverberação e V é o volume da sala em m^3 .

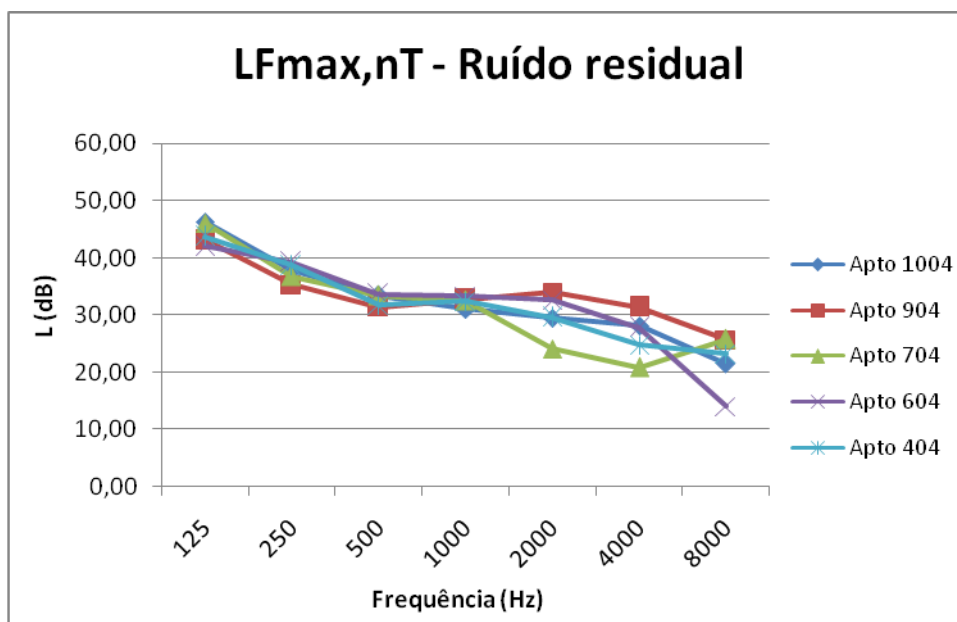


Figura 4.42 – Gráfico do $L_{Fmax,nT}$ do ruído residual das suítes medidas.

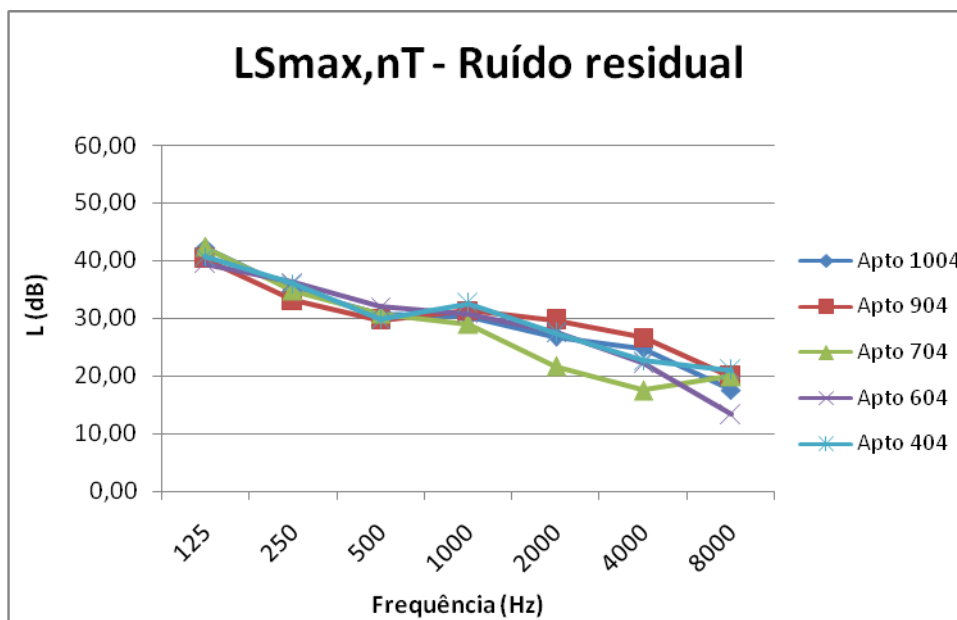


Figura 4.43 – Gráfico do $L_{Smax,nT}$ do ruído residual das suítes medidas.

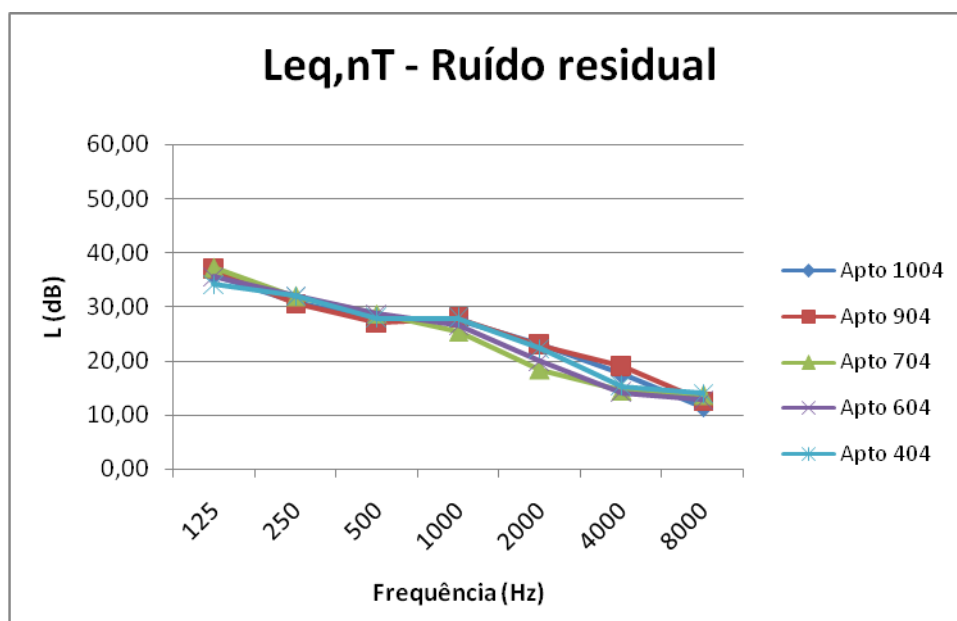


Figura 4.44 – Gráfico do $L_{eq,nT}$ do ruído residual das suítes medidas.

O comportamento das curvas do ruído residual é muito parecido, principalmente em relação ao $L_{eq,nT}$, pois para esta grandeza as curvas estão praticamente sobrepostas. Como a duração da medição do ruído residual foi de 30s, e conforme já descrito o mesmo é composto por elementos variáveis, tais como tráfego, vozes, cachorros latindo, passarinhos, entre outros componentes, as divergências nas curvas de $L_{Smax,nT}$ e $L_{Fmax,nT}$, principalmente nas altas frequências, são devidas a variações do próprio ruído e não decorrentes das diferenças dos pavimentos das suítes ou de características das mesmas.

Dessa forma, apesar do apartamento localizado no 10º andar estar mais distante das fontes sonoras identificadas como componentes do ruído residual, o gráfico do $L_{eq,nT}$ não mostra diferença significativa no comportamento da curva medida no apartamento 1004 e no 404, por exemplo. Portanto, pode-se concluir que o ruído residual é o mesmo para todas as suítes com final 4, ou seja, pertencentes ao apartamento de fundo.

A respeito do ruído gerado pelo lavatório, os gráficos das figuras 4.45, 4.46 e 4.47, apresentam o comportamento das curvas obtidas através das medições realizadas em cada uma das suítes dos apartamentos já mencionados.

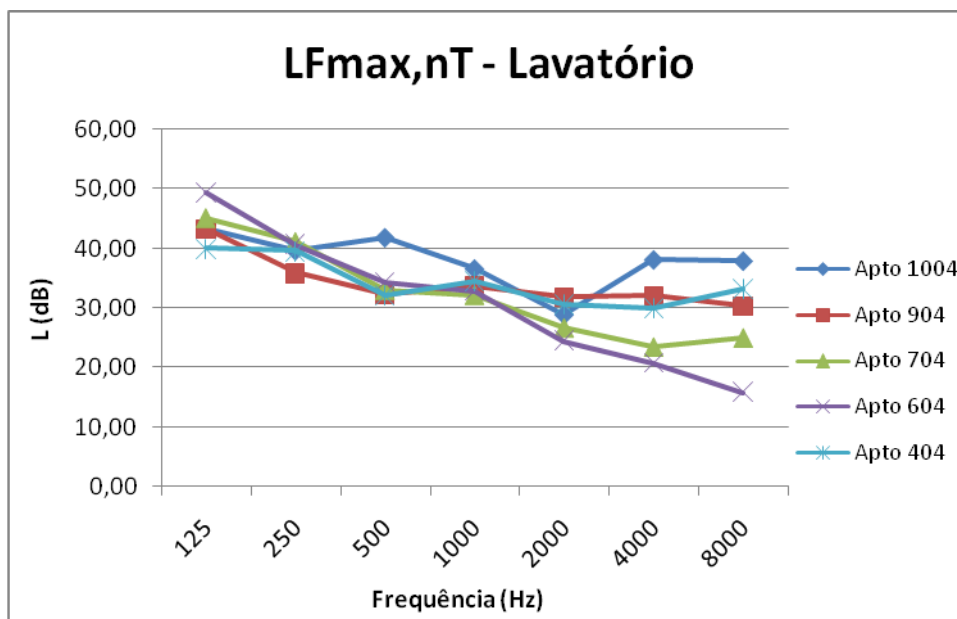


Figura 4.45 – Gráfico do $L_{Fmax,nT}$ do lavatório, quando medido nas suítes.

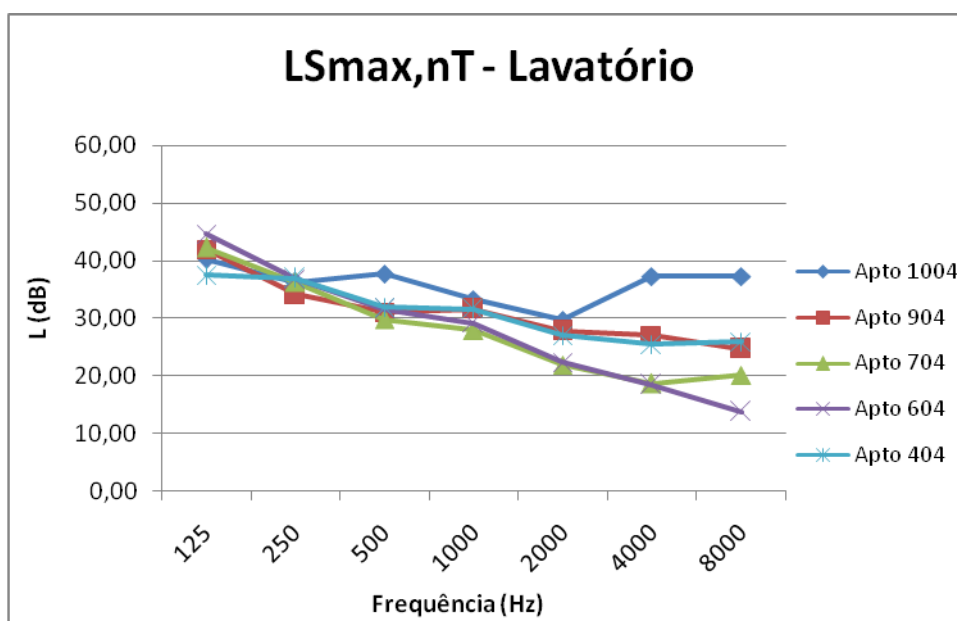


Figura 4.46 – Gráfico do $L_{Smax,nT}$ do lavatório, quando medido nas suítes.

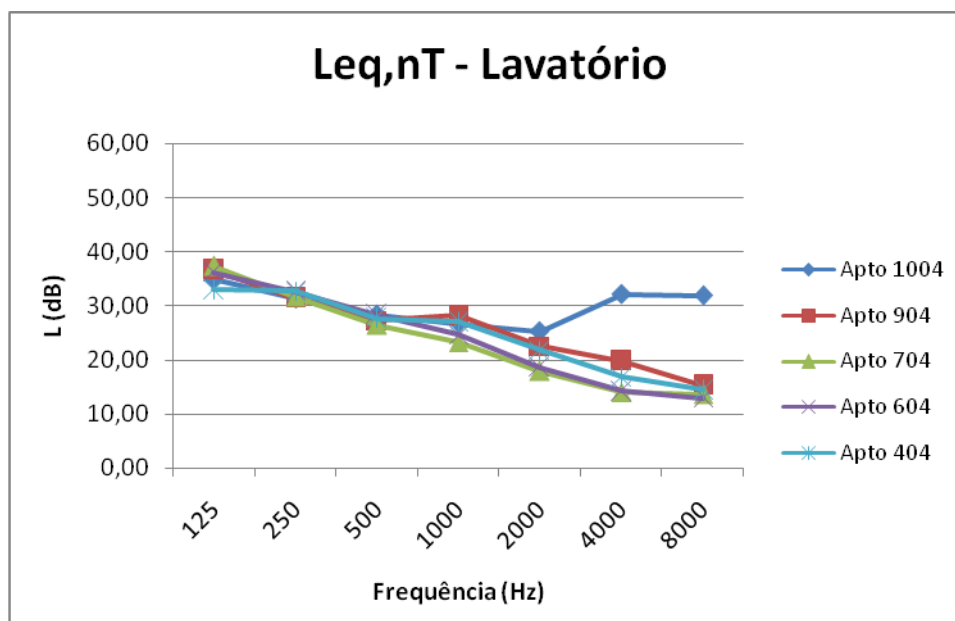


Figura 4.47 – Gráfico do $L_{eq,nT}$ do lavatório, quando medido nas suítes.

Observando-se os gráficos das grandezas medidas, referentes ao ruído gerado pela torneira do lavatório, é possível concluir que o comportamento dos lavatórios dos diferentes pavimentos é similar. Há algumas divergências nas curvas, principalmente, nas frequências mais altas, a partir de 2000Hz. Este comportamento pode ser devido a inúmeros fatores, tais como materiais do lavatório, da torneira, entre outras variáveis, cuja análise não é proposta deste trabalho, pois os materiais da torneira e do lavatório também são variáveis aleatórias.

É relevante observar, que a curva do apartamento 1004 é a que apresenta maior divergência em relação às demais. Tal resultado é coerente com a realidade, pois no apartamento 1004, a medição foi realizada na suíte ao lado do banheiro onde estava localizado o lavatório que estava sendo medido. Sendo assim é de se esperar que os valores apresentados sejam mais altos.

Esperava-se que as curvas do apartamento 704 apresentassem os valores mais baixos, pois o lavatório medido nesta unidade autônoma estava a dois pavimentos acima da suíte de recepção. No entanto, conforme análises realizadas em sub-itens anteriores, os resultados das medições dos ruídos gerados pelos lavatórios são comprometidos pelo ruído de fundo, que apresenta níveis de pressão sonora muito altos em relação ao aparelho sanitário em questão. Então, não se pode garantir que a medição do 704 apresentaria valores menores, já que as

demais também são influenciadas pelo ruído residual, com exceção da suíte do apartamento 1004.

O gráfico do $L_{eq,nT}$ é o que mais salienta a diferença da medição realizada no apartamento 1004 em relação aos demais. Isso é mais próximo da realidade observada por um ouvinte, pois, ao ser acionado o lavatório em qualquer um dos apartamentos medidos, não é possível sentir diferença, de um pavimento em relação ao outro. As divergências entre os lavatórios, apresentadas nos gráficos do $L_{Fmax,nT}$ e do $L_{Smax,nT}$, nas altas frequências não são sensíveis ao ouvido humano. A sensação de volume sonoro, no entanto, é nitidamente maior quando o lavatório é acionado a partir do mesmo pavimento, em que se está medindo, como o caso da medição do apartamento 1004.

A fim de se analisar o comportamento do ruído gerado pela descarga da bacia sanitária em cada um dos apartamentos medidos, foram plotados os gráficos das figuras 4.48, 4.49 e 4.50, referentes ao $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$.

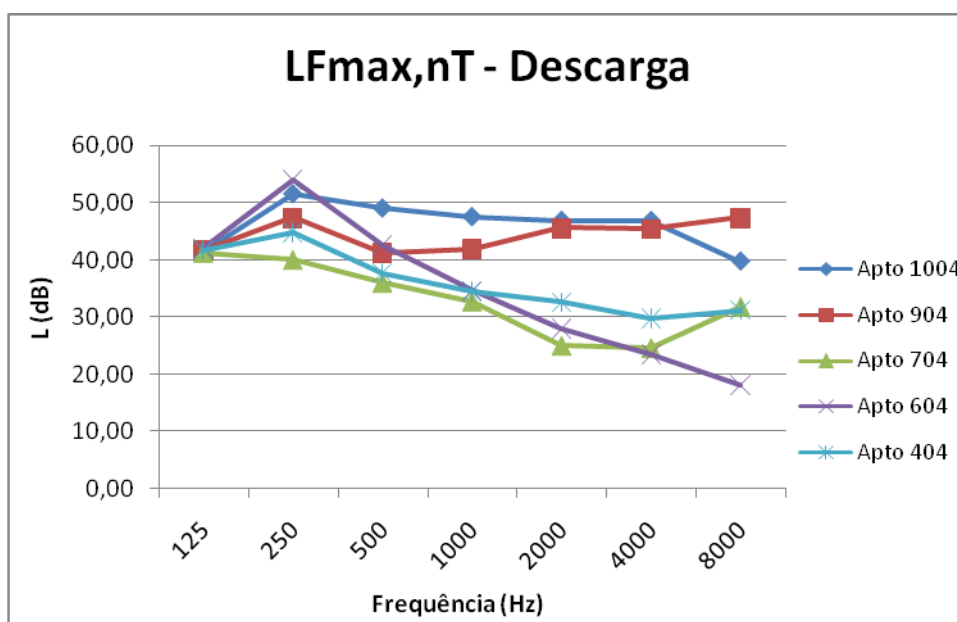


Figura 4.48 – Gráfico do $L_{Fmax,nT}$ da descarga, quando medida nas suítes.

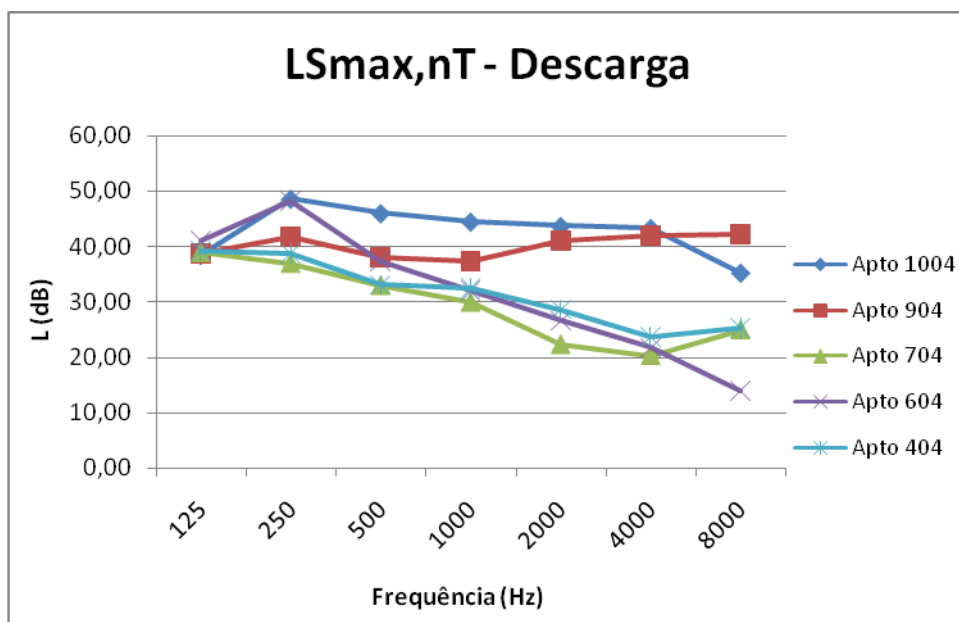


Figura 4.49– Gráfico do $L_{Smax,nT}$ da descarga, quando medida nas suítes.

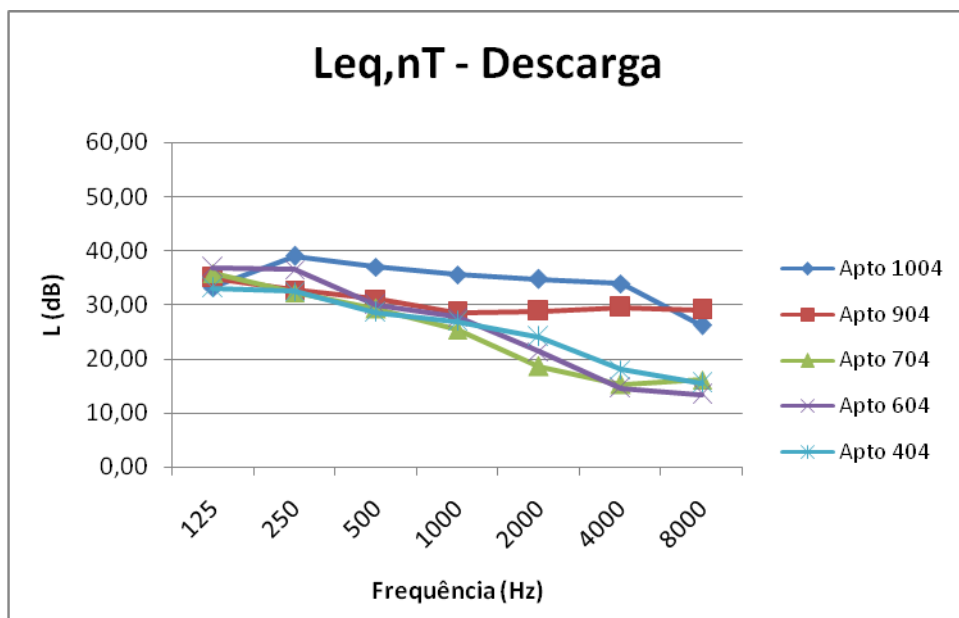


Figura 4.50 – Gráfico do $L_{eq,nT}$ da descarga, quando medida nas suítes.

A partir das curvas dos gráficos do ruído gerado pela descarga, nas grandezas consideradas, é possível perceber que há um comportamento parecido entre as curvas, porém as divergências entre os resultados começam a aparecer já nas frequências médias, a partir de 500Hz. No $L_{eq,nT}$ as curvas convergem mais, no entanto é realçada a diferença mais uma vez da curva medida no apartamento 1004. A explicação é a mesma utilizada para o lavatório.

É possível que as diferenças nos comportamentos das curvas sejam mais acentuadas quando se refere ao ruído proveniente da descarga, pois o mesmo não foi afetado pelo ruído residual em todos os apartamentos, apenas na medição realizada no 704. Sendo assim, por se tratar de variáveis aleatórias é possível que cada bacia sanitária apresente uma diferença em relação à outra, apesar de serem da mesma marca, mesmo material e terem descargas acionadas da mesma forma, elas não são idênticas.

As diferentes amplitudes das curvas geradas pelas medições nas diversas suítes, nas frequências médias e altas não são facilmente perceptíveis ao ouvido. Não dá pra saber se a descarga de um apartamento é mais aguda ou grave que outra, a única sensação provocada por este ruído, que é nitidamente sensível é a de volume sonoro, que é melhor caracterizada pelo gráfico do $L_{eq,nT}$.

5 CONCLUSÕES

O controle de ruído está se consolidando como um dos parâmetros indicativos da qualidade das edificações e, em alguns países, resulta em um fator decisivo na hora de se escolher um local para residir (KUERER, 1997). Uma edificação que proporciona conforto acústico deve apresentar isolamento em relação ao ruído externo, entre os cômodos e também dos ruídos gerados pelas suas próprias instalações, como o caso dos sistemas hidrossanitários, que foi o assunto desta pesquisa.

Dentre todos os aparelhos hidrossanitários existentes em uma instalação predial optou-se por realizar, medições do ruído gerado pela torneira do lavatório e pela descarga da bacia sanitária com caixa acoplada, em uma edificação residencial multifamiliar. O prédio apresenta estrutura de concreto armado, com vedação em alvenaria de tijolo furado, com tubulação hidrossanitária embutida em *shaft*. As medições foram realizadas *in loco* com procedimento descrito pela ISO 16032 (ISO, 2004), medindo-se todas as grandezas referidas pela norma, nas ponderações A e C: $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$.

A edificação avaliada apresenta concepção de projeto hidrossanitário benéfica no que se refere a menor propagação do ruído das instalações, pois a parede que recebe a canalização hidráulica e sanitária não é adjacente a nenhum outro cômodo do apartamento, é uma parede externa (BARNEWITZ, 1997; CARVALHO JÚNIOR, 2013). Toda tubulação está embutida em *shaft*, que para Houten (2003) é uma solução para redução da transmissão do ruído estrutural e, além disso, o sistema de descarga é com caixa acoplada, que segundo Corrêa e Niemeyer (2009), gera menos ruído que a descarga com válvula embutida na parede. O material utilizado para tubulação é o PVC, que não é a melhor solução em relação à transmissão de ruído (HOUTEN, 2003), mas é o mais utilizado no Brasil.

As medições foram realizadas em 5 apartamentos. Em todas elas os aparelhos sanitários medidos foram acionados do banheiro da suíte. No apartamento 1004 a medição foi realizada na suíte, e o sistema hidrossanitário medido fazia parte do mesmo apartamento. No apartamento 904 foram realizadas 2 medições, ambas a fim de caracterizar o ruído proveniente das instalações do apartamento 1004. Uma medição foi realizada na suíte e outra no banheiro da suíte.

Em relação aos apartamentos 604 e 404, a torneira do lavatório e a descarga da bacia sanitária foram acionadas a partir da unidade autônoma vizinha adjacente, localizada no pavimento acima. A medição realizada no apartamento 704 foi similar, porém os aparelhos

sanitários foram acionados de uma unidade autônoma 2 pavimentos acima. Essas 3 medições foram realizadas nas suítes dos apartamentos mencionados.

As dimensões dos cômodos, suíte e banheiro da suíte, dificultaram a aplicabilidade da ISO 16032 (2004), pois a norma exige que a medição seja realizada em 3 pontos distintos e especifica distâncias entre os pontos e dos pontos em relação a objetos ou a parede. Devido a isso, a norma só foi aplicada nas medições realizadas na suíte, pois o banheiro não atendia às dimensões prescritas. Para medir o TR as dimensões são ainda mais difíceis de serem atendidas. Portanto, ao verificar-se a aplicabilidade do procedimento de medição descrito pela ISO 16032 (ISO, 2004) em instalações de uma edificação residencial multifamiliar brasileira concluiu-se que, considerando-se o atual padrão das construções populares no Brasil, a dificuldade de atender as distâncias estabelecidas pela norma constitui-se num empecilho para sua aplicabilidade.

Foi possível medir o nível de pressão sonora de ambos os equipamentos, a descarga e a torneira do lavatório, nas grandezas mencionadas e sugeridas pela ISO 16032 (ISO, 2004). Constatou-se, que o ruído residual, nos horários das medições, estava dentro do permitido pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013), apresentando valores de $L_{Aeq,nT}$ entre 30dB(A) e 32dB(A) nas suítes e $L_{Aeq} = 30\text{dB(A)}$ no banheiro da suíte do apartamento 904. Essa norma recomenda que não sejam realizadas medições do ruído de instalações hidrossanitárias quando o valor do $L_{Aeq,nT}$ para o ruído residual for maior que 37dB(A) no local, pois os resultados serão influenciados.

Não foi possível separar os valores do ruído proveniente do lavatório daquele resultante do ruído residual, embora se tenha observado que as medições são influenciadas por este último, mesmo que nenhum dos valores de ruído residual para $L_{Aeq,nT}$ tenha dado maior que 37dB(A). O mesmo não ocorreu em relação ao ruído da descarga, que apresentou valores para todas as grandezas acima do ruído residual em todas as medições, com exceção do apartamento 704, pois nesse caso o resultado foi influenciado pelo ruído residual.

A edificação medida não está inserida num lugar de ruído de tráfego intenso, como uma avenida. Não há tráfego de veículos pesados no local e conforme mencionado, o apartamento avaliado localiza-se nos fundos do prédio. Sendo assim, é possível que muitas edificações com essas mesmas características construtivas estejam submetidas a condições sonoras similares, que inclusive estão dentro do estabelecido pela NBR 10152 (ABNT, 1987). Dessa forma, ao avaliar-se a influência do ruído residual na caracterização das instalações hidrossanitárias, constatou-se que esse ruído é um desafio na caracterização da emissão sonora gerada pelos elementos das instalações hidrossanitárias.

A respeito das grandezas medidas: $L_{Fmax,nT}$, $L_{Smax,nT}$ e $L_{eq,nT}$. Pode-se concluir que em relação à caracterização do ruído gerado pelos equipamentos hidrossanitários, o $L_{Fmax,nT}$ apresenta picos em algumas frequências, que são ignorados pelo $L_{eq,nT}$ e suavizados pelo $L_{Smax,nT}$. Sendo assim, a fim de se detalhar o ruído dessas instalações hidrossanitárias e tomar medidas em relação ao seu isolamento, o $L_{Fmax,nT}$ é uma grandeza útil de ser conhecida e analisada. Quando, porém, o objetivo da medição é avaliar o incômodo gerado pelo ruído de uma instalação hidrossanitária, em relação à unidade autônoma vizinha, como é o sugerido pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013), a grandeza que melhor expressa a sensação sonora do ruído provocada no ouvinte é o $L_{eq,nT}$.

Quanto às ponderações A e C, pode-se concluir que para os aparelhos sanitários medidos, em relação aos valores únicos das grandezas, a ponderação C não ressaltou a diferença entre o ruído proveniente dos aparelhos hidrossanitários e o ruído residual. A ponderação A atenua os valores nas baixas frequências, por isso há uma valorização dos valores nas médias e altas frequências. Dessa forma, ao serem apresentados os valores únicos das variáveis medidas, na ponderação A, é evidenciada a diferença entre os ruídos provenientes dos aparelhos hidrossanitários e o ruído residual, e entre a descarga e o lavatório.

Portanto, em relação à escolha da grandeza adequada para caracterizar o ruído proveniente dos aparelhos hidrossanitários medidos, lavatório e descarga, nas condições de medição vivenciadas, o $L_{Aeq,nT}$ é a grandeza que expressa melhor a sensação do ouvinte, ao serem acionados esses aparelhos hidrossanitários. É importante ressaltar, no entanto, que a medição utilizando a ponderação C não deve ser descartada, pois propicia uma identificação mais detalhada em baixas frequências.

A partir da análise realizada sobre os resultados obtidos, é possível afirmar que o procedimento adotado pode ser aplicado para medição de ruído das instalações hidrossanitárias executadas no Brasil e pode ser utilizado como procedimento de medição no tipo de edificação escolhida. Justifica-se essa afirmação, pois foi possível conhecer e caracterizar os níveis de pressão sonora gerados pelos equipamentos medidos, quando as dimensões estabelecidas pela norma foram atendidas. O procedimento utilizado seguindo o que recomenda a ISO 16032 (ISO, 2004) contém os seguintes passos:

- 1º Passo – Escolha dos aparelhos hidrossanitários a serem medidos;
- 2º Passo – Escolha da sala de recepção, que para atender a NBR 15575-6 (ABNT, 2013), deve ser um dormitório;
- 3º Passo – Escolha das grandezas e ponderações que serão medidas;

4º Passo – Decisão a respeito do ciclo de operação do aparelho sanitário. Deverá ser decidido se o equipamento de medição estará programado para medir determinado tempo, ou se será desligado manualmente após o término do ciclo de operação do aparelho. No caso deste trabalho, optou-se por programar o equipamento para um tempo de medição de 30s, após avaliar que o ciclo de operação dos aparelhos sanitários era pouco menor que esse tempo;

5º Passo – Calibração e configuração do sistema de medição;

6º Passo – Abrir totalmente o registro que fornece água ao aparelho sanitário que será medido e fechar todas as janelas e portas das salas de emissão e recepção;

7º Passo – Medição dos cantos do dormitório, respeitando as distâncias estabelecidas na ISO 16032 (ISO, 2004), para encontrar o P1, ou seja, o canto de maior nível de pressão sonora na grandeza escolhida, durante o ciclo de operação do aparelho sanitário que se quer caracterizar;

8º Passo – A partir da localização do P1, escolher o P2 e o P3, respeitando as distâncias estabelecidas na ISO 16032 (ISO, 2004). Se for necessário medir o TR, os pontos P2 e P3 já têm que ser pensados em função também das distâncias estabelecidas na ISO 3382-2 (ISO, 2008). As posições de fonte (F1 e F2) devem ser pensadas nessa hora também.

9º Passo – Realização de duas medições consecutivas no P1, referentes ao mesmo aparelho sanitário com o mesmo ciclo de operação, para verificar quantas vezes deverá ser medido em cada ponto. Da diferença dos resultados entre as duas medições consecutivas realizadas no P1, dependerá o número de medições a ser realizada em cada ponto. Se a diferença for apenas 1dB, então deve ser realizada apenas uma medição por ponto.

10º Passo – Começar a medição do aparelho sanitário em cada um dos pontos estabelecidos.

11º Passo – Medir ruído residual nos mesmos pontos em que foi medido o aparelho sanitário. O tempo de medição do ruído residual depende das características do mesmo. Pode-se adotar o mesmo tempo do ciclo de operação do aparelho sanitário ou não.

12º Passo – Se necessário, medir o TR da sala de recepção;

13º Passo – Tratamento e análise dos resultados.

O procedimento descrito é válido e útil para aplicação da NBR 15575-6 (ABNT, 2013), pois os valores obtidos apresentam coerência com os valores utilizados como referência pela norma nacional de desempenho. Sendo assim, foi possível comparar os resultados aos da norma e assim, fazer uma análise do desempenho das instalações hidrossanitárias da edificação. Portanto, o procedimento adotado serve de subsídio para a parte 6 da norma nacional de desempenho.

Considera-se, assim, que esse trabalho contribui para o avanço dos estudos que buscam ampliar o conforto acústico nas edificações brasileiras, estabelecendo um procedimento de medição dos níveis de pressão sonora, com base na ISO 16032 (ISO, 2004), apropriado para avaliação do ruído de instalações hidrossanitárias executadas conforme os padrões brasileiros.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho teve como objetivo principal apresentar um procedimento de medição para ruído de instalações hidrossanitárias, executadas a partir das normas nacionais e assim, conhecer valores de nível de pressão sonora gerados pela torneira do lavatório e pela descarga da bacia sanitária com caixa acoplada. Entretanto, dada a complexidade do tema e a pequena quantidade de pesquisas sobre o assunto, ainda há muito a ser feito, a fim de melhorar o desempenho das instalações hidrossanitárias do Brasil, bem como a qualidade dos projetos. As sugestões para continuidade do trabalho ou para início de novas pesquisas envolvendo o tema abordado estão listadas a seguir:

- avaliar acusticamente outros aparelhos hidrossanitários;
- verificar a aplicabilidade do procedimento adotado em outros sistemas construtivos;
- estudar as causas do ruído gerado pelos aparelhos hidrossanitários medidos, bem como dos demais;
- obter conhecimento dos valores de nível de pressão sonora adequados para as instalações hidrossanitárias, de modo a não gerar incômodo, nos usuários de unidades autônomas vizinhas.

Acredita-se que os temas sugeridos complementariam o estudo realizado e poderiam fornecer aos projetistas brasileiros informação e conhecimento que enriqueceriam a qualidade

dos projetos e melhorariam o desempenho acústico das instalações hidrossanitárias de edificações residenciais multifamiliares, proporcionando melhores condições de conforto e conseqüentemente, na qualidade de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade**. NBR 10151. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 10152**. - Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Rio de Janeiro. 1987.

_____. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro. 2008.

_____. **NBR 5626**. Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro. 1998.

_____. **NBR 8160**. Sistemas prediais de esgoto sanitário. Rio de Janeiro. 1999.

_____. **NBR 7198**. Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro. 1993.

_____. **NBR 10844**. Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro. 1989.

ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE MECÂNICOS E ENCANADORES. **Código de encanamentos**. Walnut, 1988.

BARNEWITZ, L. C. **Análise Acústica do Sistema de Bacia Sanitária com Válvula de Descarga**. 1997. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 1997.

BARBOSA, A. R. **Influência do Ruído Aeronáutico na População que Reside nas Imediações da Base Aérea de Santa Maria**. 2011. 212p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2011.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 368p.

BORGES, R; BORGES, L. **Manual de instalações prediais hidráulico-sanitárias e de gás**. 4. Ed. São Paulo: Pini, 1992, 546p.

BRAGA, C. dos S. **O ambiente construído e o uso da água.** 2006. Pós Graduação Executiva em Meio Ambiente. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

BRÜEL & KJAER. **Environmental noise.** Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2001. 69 p.

BRUNI, J. C. A água e a vida. **Tempo Social.** Rev. Sociol. USP, São Paulo, 5(1-2): 53-65, 1993 (editado em nov. 1994).

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura.** 7ª ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher, 2013. 223 p.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Patologias em sistemas prediais hidráulico-sanitários.** 1ª Ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher, 2013. 212 p.

CASTRO, A. R. V. de. **Um Modelo para Certificação de Qualidade de Projetos de instalações Hidráulicas Prediais.** 2008. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

CLEMESHA, M. R. **Durma-se com um barulho destes: Acústica e ambiente terapêutico.** 2005. p 060-075.

CORRÊA, A. P e NIEMEYER, M. L. A. **Ruído de Tubulação como Fator de Desconforto em Salas de Reunião em Edifício Institucional: Um Estudo de Caso.** 2009. Simpósio Brasileiro de Qualidade de Projeto na Construção de Edifícios – SBQP. 18 a 20 de Novembro. São Carlos, SP - USP. 12p.

EVANS, G. W. **Environmental stress and health.** In: BAUM, Andrew et al. Handbook of Health Psychology. Londres: Lawrence Earlebaum Associates, Publishers, 2001.

EVEREST, F. A. **The Master Handbook of Acoustics.** 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2001. 641p.

FAHY, F. **Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response.** London: Academic Press Inc., 1985, 309p.

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de múltiplos pavimentos.** 2008. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Minas Gerais – PPGEE, Belo Horizonte, 2008.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: UFSC, 1992. 600 p.

GOOGLE MAPS. Foto de satélite da cidade de Santa Maria – RS. 2014. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps/place/R.+Tuiuti,+Santa+Maria+-+RS>>. Acesso em: 18 junho 2014.

GNIPPER, S. F. et al. **Estudo de patologias nos sistemas prediais hidráulicos e sanitários do prédio do ciclo básico II da UNICAMP**. RECC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Nº 2, Vol 1. p. 34-50. 2011.

GNIPPER, S. F. **Especificações recomendadas para a contratação de projetos de instalações hidráulicas**. 1993, In: 58º Encontro Nacional da Construção. Anais, 29-30 agosto de 1993, Belém.

GNIPPER, S. F.; MIKALDO JR, J. Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulico-sanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto. In: VII WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2007, Curitiba. **Anais Eletrônicos...**Curitiba: UFPR, 2007. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-29.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

GRIMWOOD, C. **Complaints about poor sound insulation between dwellings in England and Wales**. Applied Acoustics, Vol 52, Nº 3. p.211-223, 1997.

HANSEN, C. H. e GOELZER, B. I. F. **Engineering noise control**. Chapter 10. 51p. 1996.

HOLANDA, A. B. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5ª ed. São Paulo: Editora Positiva, 2010. 2222p.

HOUTEN, J. J. V. Noise Control in Plumbing Systems, Chapter 8 in **Noise Control in Buildings** – A Guide for Architects and Engineers. McGraw Hill, New York, 1994.

_____. **Control of plumbing noise in buildings**. Plumbing Systems & Design – Continuing education. March/April 2003. p.30-37.

ILHA, M. S. O. **A investigação patológica na melhoria dos sistemas prediais hidráulico-sanitários**. Hydro, Aranda, São Paulo, a. 30, n. 30, p.60-65, abr. 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Acoustics — Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings — Engineering method.** ISO 16032, 2004. 26p.

_____. **ISO 3382-1.** Acoustics - Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces. Geneva. 2009. 26p.

_____. **ISO 3382-2.** Acoustics - Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Geneva. 2008. 17p.

_____. **ISO 10052.** Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method. Geneva. 2004. 30p.

_____. **ISO 10140-2.** Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation. Geneva. 2010. 13p.

_____. **ISO 3822-1.** Acoustics – Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 1: Method of measurement. Geneva. 1999. 20p.

_____. **ISO 3822-2.** Acoustics – Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 2: Mounting and operating conditions for draw-off taps and mixing valves. Geneva. 1995. 4p.

_____. **ISO 3822-3.** Acoustics – Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 3: Mounting and operating conditions for in-line valves and appliances. Geneva. 1997. 8p.

_____. **ISO 3822-4.** Acoustics – Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 4: Mounting and operating conditions for special appliances. Geneva. 1997. 24p.

KWOLKOSKI, J. P. **An effective new approach isolate plumbing stub-outs in residential construction.** 2006. Inter-Noise, Honolulu, Hawaii, USA. 7p. 2006.

KINSLER, L.; FREY, A.; COPPENS,A.; SANDERS,J. **Fundamentals of Acoustics.** New York: John Wiley & Sons, 1982. 480p.

KÖTZ, W. D. **Ruídos em instalações hidrossanitárias.** Revista Hydra. 2009. p 34-39.

KUERER, R. **Classes of acoustical comfort in housing: improved information about noise control in buildings.** Applied Acoustics. Vol. 52, Nº 3, p.197-210. 1997.

KUTTRUFF, H. **Acoustics an Introduction.** New York: Taylor & Francis, 2007. 472p.

LAGES, C.A. et. al. **Impacte do novo DL 96/2008 nas condições acústicas da construção em Portugal.** Universidade de Coimbra. Coimbra: 2008. 12p.

LANDI, F. R. **A Evolução Histórica das Instalações Prediais.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 1993. 67p.

LEAL, U. **Ruídos em tubulações podem ter várias causas.** São Paulo, Técne, n.72, p.48-51, mar. Pini, 2004.

LONG, M. **Architectural Acoustics.** San Diego: Elsevier Academic Press, 2006. 844p.

MARTINS, M. S.; HERNANDES, A. T.; AMORIM, S. V. **Ferramentas para melhoria do processo de execução dos sistemas hidráulicos prediais.** 2003. In: III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Anais, p 16-19, setembro de 2003, São Carlos.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural Acoustics: principles and design.** New Jersey: Prentice Hall, 1999. 445p.

MEHTA, P.K. ; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Ed. Pini, 1994, 673p.

MEISSER, M. **Acustica de los Edificios.** Barcelona: Editores técnicos asociados, 1973. 253p.

MÉNDEZ, A. M. et al. **Acustica arquitectonica.** 1. ed. Buenos Aires: UMSA, 1994. 238p.

MORAES, D. S. L. e JORDÃO, B. Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana.** Rev Saúde Pública 2002;36(3): p. 370-374.

MURGEL, E. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Senac, 2007.

NEVES, F. L. **Estudo do sistema hidrossanitário aparente com relação à norma de desempenho 15575-6/2008**. 2010. 67f. Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

QUERIDO, J.G. **Instalações prediais hidráulico sanitárias: prognóstico de ruídos**. 1993. Tese de Doutorado inédita em Engenharia de Construção Civil – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1993.

PAIXÃO, D. X. da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. Tese de doutorado, Programa de pós-graduação em engenharia de produção, UFSC. Florianópolis, 2002.

PAUL, S. **Som e ruído – releituras críticas de textos brasileiros**. 2010. 9p. XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Salvador, 2010.

_____. **O ruído, as vibrações e o ser humano** – EAC 1001 UFSM. Santa Maria, 2011. (Apostila).

_____. **Acústica Ambiental – Anatomia do sistema auditivo** – EAC e PPGEC - UFSM. Santa Maria, 2013. (Apostila).

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PIÃO, A.; GODINHO, L.; TADEU, A. **Comportamento acústico de paredes de alvenaria, na presença de pequenas aberturas e diferentes inclusões**. 2008. 12p. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

PIMENTEL-SOUZA, F. **Perturbação do sono pelo ruído**. Texto eletrônico online no site “Saúde Mental”. Minas Gerais: Laboratório de Psicofisiologia da UFMG, 2004.

POLLI, T. **O Isolamento Acústico Comparado aos Investimentos Financeiros em Edifícios Multifamiliares de Florianópolis**. 2007. 94p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. **Código de obras de edificações do município de Santa Maria**. Santa Maria. 2009.

REBOLLO, B.P. **Aislamiento a ruído aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2011.

SANTOS, M. D. F dos. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso**. 2007. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 1998.

SANCHES, V.M.; SENCHERMES, A.G. – **Acustica en Arquitectura**. Madri: Colégio Oficial de Arquitectos de Madri, 1982, 215 p.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica**. Belo Horizonte: EDTAL, 1997.

SOUZA, C.F. Instalações Hidráulico-sanitárias – Notas de aula, UFV, 2009, 35p.

SOUZA, L. C. L. de.; ALMEIDA, M. G. de.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 1.ed. Bauru, 2003. 150p.

TEMPORAL et. al. **Arquitetura de Unidades Hospitalares**. Salvador: FAUFBA, ARQSAUDE/GEA-hosp, ICS, 2004.

TIGRE. **Orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais**. Manual Técnico Tigre. 5ª Ed. Joinville. 2013. 208p.

VARGAS, M. **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista: Centro de educação Tecnológica Paula Souza, 1994. 412p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**. Geneva, 1999.