



**CLARICE CAVALCANTE DAGA**

**Análise da previsão de ruído das máquinas condensadoras de ar  
em um estabelecimento hospitalar**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Especialização  
em Acústica de Edificações e Ambiental.

Brasília – DF

2015

**CLARICE CAVALCANTE DAGA**

**Análise da previsão de ruído das máquinas condensadoras de ar  
em um estabelecimento hospitalar**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Atualização em  
Acústica de Edificações e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Luis Bento Coelho

Brasília – DF

2015

## Sumário

INTRODUÇÃO.....	9
OBJETIVO.....	10
RUIDO EM EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO .....	10
SOM .....	12
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
EQUIPAMENTO DE PREVISÃO DE RUÍDO.....	13
NÍVEIS SONOROS RECOMENDADOS .....	17
LEGISLAÇÃO E NORMAS .....	18
METODOLOGIA .....	20
ANÁLISE.....	25
CONCLUSÃO.....	32
BIBLIOGRAFIA.....	33

## **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a poluição do ruído gerado pelo funcionamento dos equipamentos condicionadores de ar da Unidade Hospitalar no seu entorno, localizado em São Paulo. Esta avaliação foi realizada com os dados obtidos do mapeamento computacional sonoro. O software utilizado para a simulação computacional foi o Predictor Lima v10.10. Se os níveis de ruído encontrados são elevados, podemos tomar algumas medidas de controle. A medida avaliada foi a instalação de barreira acústica no entorno da área das máquinas. Como os níveis de ruído encontrados estão acima do permitido pela legislação foram inseridas barreiras ao redor da área dos equipamentos para contenção do ruído gerado. Com a instalação da barreira houve diminuição significativa dos valores encontrados.

## **ABSTRACT**

This work aimed to evaluate noise pollution generated by the operation of the air conditioning equipment of the Hospital Unit in its surroundings, located in São Paulo. This review was performed with the data obtained from the sound computational mapping. The software used for computer simulation was the Predictor Lima v10.10. If noise levels found are high, we can take some control measures. The evaluated measure was the installation of acoustic barrier surrounding the area of the machines. As noise levels found are higher than those permitted by law barriers were placed around the area of equipment for containment of noise generated. With the barrier installation was no significant decrease of the values found.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Diferentes vias de transmissão sonora	<b>11</b>
<b>Figura 2-</b> Diferentes vias de transmissão sonora	<b>11</b>
<b>Figura 3-</b> Comportamento da onda sonora de acordo com a frequência	<b>12</b>
<b>Figura 4-</b> Propagação do som em uma fonte pontual	<b>15</b>
<b>Figura 5-</b> Dispersão de uma fonte pontual	<b>16</b>
<b>Figura 6-</b> Propagação do som em onda semi-esférica	<b>17</b>
<b>Figura 7-</b> Localização dos receptores na simulação computacional	<b>23</b>
<b>Figura 8-</b> Desenho esquemático da barreira	<b>24</b>
<b>Figura 9-</b> Layout da simulação computacional sem barreira acústica	<b>26</b>
<b>Figura 10-</b> Vista superior da simulação computacional sem barreira acústica	<b>26</b>
<b>Figura 11-</b> Vista tridimensional da simulação computacional sem barreira acústica	<b>27</b>
<b>Figura 12-</b> Vista superior da simulação computacional com barreira acústica	<b>29</b>
<b>Figura 13-</b> Vista tridimensional da simulação computacional com barreira acústica	<b>30</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1-</b> Níveis sonoros para ambientes externos em dB(A)	<b>19</b>
<b>Tabela 2-</b> Precisão sonora dos níveis de ruído gerados na predição	<b>22</b>
<b>Tabela 3-</b> Nível de pressão sonora por banda de oitava dos equipamentos condicionadores de ar	<b>23</b>
<b>Tabela 4-</b> Nível de ruído dos pontos receptores sem a adição de barreira acústica	<b>28</b>
<b>Tabela 5-</b> Nível de ruído dos pontos receptores com a adição de barreira acústica	<b>31</b>

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1-</b> Dispersão do ruído de uma fonte pontual	<b>16</b>
<b>Equação 2-</b> Equação de dispersão do ruído de uma fonte pontual	<b>16</b>
<b>Equação 3-</b> Nível de pressão sonora	<b>21</b>
<b>Equação 4-</b> Termos de atenuação	<b>21</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**UH** – Unidade hospitalar

**UR** – Unidade residencial

**OMS** – Organização Mundial de Saúde

**ISO** - International Organization for Standardization

$r_0$  – Distância do receptor a fonte

**IEC** - International Electrotechnical Commission

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**NCA** – Nível de Critério de Avaliação

**dB(A)** – Decibel ponderado na curva A de adaptação ao espectro da audição

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

## INTRODUÇÃO

Uma das principais formas de poluição ambiental nos dias de hoje é a poluição sonora. Este fator causa efeitos negativos ao meio ambiente e a qualidade de vida da população.

O ruído faz parte da paisagem sonora, porém não deve interferir nas atividades rotineiras dos ambientes sensíveis, tal como no hospital e residencial, casos que serão avaliados neste estudo.

Segundo Maneghetti (2006) a perturbação sonora que atinge os indivíduos expostos não é somente o desconforto e causa problemas na qualidade de vida como: perda auditiva, alterações orgânicas, emocionais e sociais.

Os sistemas de climatização, hoje em dia, são implementados em vários edifícios, cujo objetivo é obter conforto térmico.

A localização e o nome do local estudado foram preservados. Assim será chamado de Unidade Hospitalar (UH) e Unidade Residencial (UR) para preservar a identidade do local avaliado.

De acordo com os estudos de Abreu (2003) em hotéis da Algarve, uma região de Portugal, ao proporcionar melhor resposta ao conforto térmico deve-se adequar as instalações de ar condicionado para que se previna o ruído e vibrações ocasionadas pelo seu funcionamento. Assim caso não haja as manutenções necessárias o que se ganha em conforto térmico se perde em conforto acústico.

Desta forma o presente estudo irá demonstrar como é a propagação de ruído dos equipamentos de ar condicionado das instalações de uma UH no seu entorno e nas UR adjacentes.

## **OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo analisar a previsão de ruído ocasionado pelos equipamentos de ar condicionado no entorno de uma Unidade Hospitalar (UH).

A área estudada é considerada como sensível, assim na previsão serão locados pontos de recepção individual em diversas alturas nas fachadas para o conhecimento do nível de ruído do local avaliado.

O nível de ruído encontrado será correlacionado com os limites da regulamentação exigida.

## **RUIDO EM EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO**

Ao passar dos anos os equipamentos de climatização e a sua utilização tem sofrido diversas mudanças, com isso a potência têm aumentado. De acordo com a evolução tem surgido grandes equipamentos de climatização que ao serem instalados devem obedecer a certos cuidados, principalmente na escolha do local de implementação.

Abaixo segue quais as interferências geradas de acordo com a localização da implementação do equipamento conforme Abreu (2013).

Na primeira situação descrita na figura 1 temos interferências de vibração da laje e tubulação, ruído aéreo transmitido pela laje e pela tubulação.

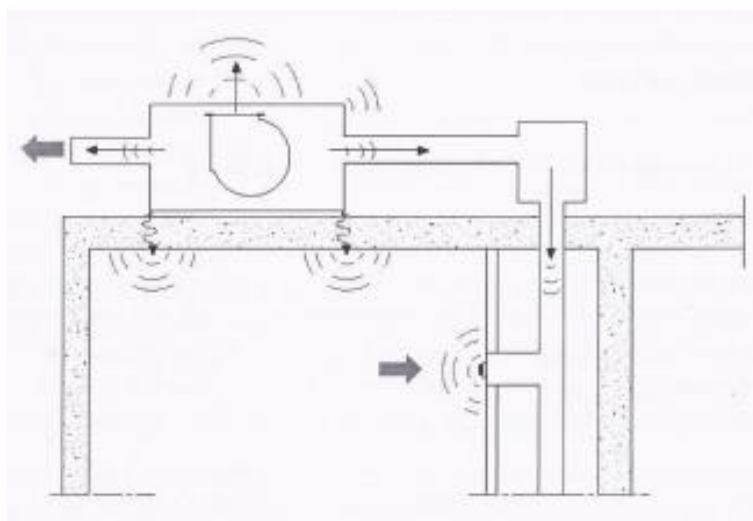


Figura1- Diferentes vias de transmissão sonora. Fonte: Abreu, 2013.

Na figura 2 temos somente o ruído aéreo sendo transmitido pela fachada. Neste caso a interferência é menor pelo fato de não haver contato.

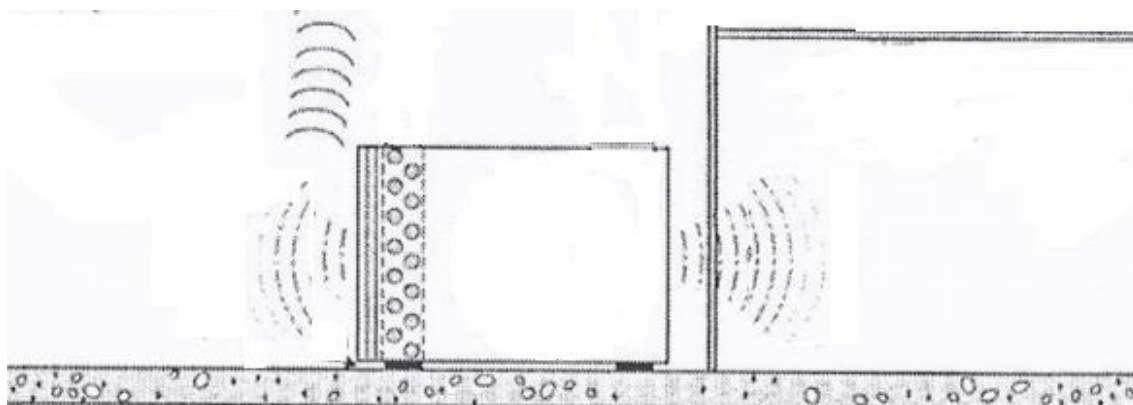


Figura 2- Diferentes vias de transmissão sonora. Fonte: Adaptada Abreu, 2013.

Atualmente o conforto é indispensável para o bom desempenho profissional em diversas áreas. Assim a principal aplicação dos condicionadores de ar é o conforto térmico.

A introdução de umidade extra no ambiente ajudou a reduzir a mortalidade infantil causada por desidratação segundo Springer Carrier (1990). Desta forma sua utilização é indispensável em hospitais, e por outro lado, deve-se ter o cuidado com o ruído gerado por estes equipamentos.

## SOM

O som é gerado pela variação da pressão ou da velocidade das partículas.

A partir de uma fonte sonora essas partículas são comprimidas e descomprimidas no meio de propagação.

Na onda sonora temos a frequência, que é uma grandeza física ondulatória que indica o número de ciclos (oscilações) durante um período de tempo e a amplitude que é a medida da extensão de uma perturbação durante um ciclo da onda.

Nas baixas frequências a amplitude é maior conforme podemos observar na imagem abaixo.

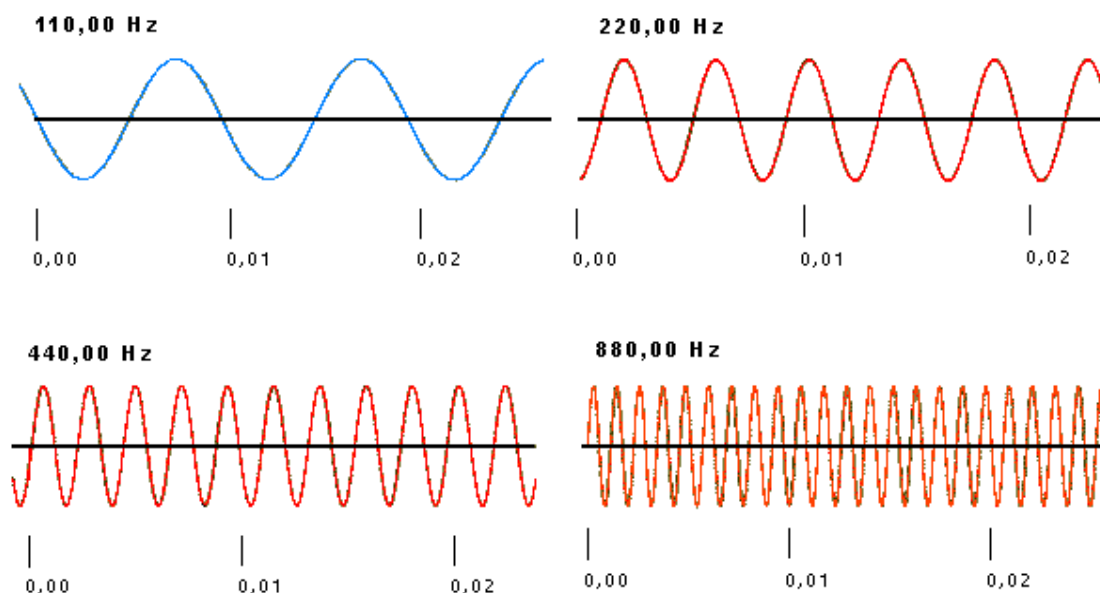


Figura 3- Comportamento da onda sonora de acordo com a frequência.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO,2011), na União Europeia o ruído tem alta prioridade nas listas dos problemas ambientais, assim a partir de 1970 criou-se um foco para redução do ruído e tem-se fixado limites de emissão de ruído específico para veículos e equipamentos ao ar livre. Apesar de todas as iniciativas houve pouco progresso na diminuição da

exposição da população ao ruído em toda a Europa. Esta dificuldade está relacionada com o desconhecimento dos efeitos sobre os seres humanos e a resposta da exposição.

Nos centros urbanos tem sido cada vez mais fácil identificar um poluente ambiental que é o ruído urbano. A poluição sonora produz efeitos deletérios à saúde e prejudica o desempenho da economia. Pesquisadores destacam a perda auditiva, o prejuízo das atividades produtivas motivadas por licenças-saúde, a redução da capacidade de trabalho e de aprendizado e a desvalorização imobiliária como os principais impactos da poluição sonora (NAISH et.al., 2012; WHO 2011; MARTIN et.al., 2006; WHO 1999).

Segundo Cordeiro (2009), muitas vezes o ruído é negligenciado e assim induz um impacto severo nas pessoas, envolvendo diversos efeitos como irritação, efeitos fisiológicos, perda de audição, insônia, etc. Um ouvido humano sadio responde a um amplo intervalo de níveis de pressão sonora, desde o limiar de audição a zero dB, com dano nos 100-120 dB e com dano e dor nos 130-140 dB. Desta forma é necessário realizar o seu controle.

A combinação de técnicas utilizadas para realizar o controle da poluição sonora depende da extensão da redução do ruído requerido, das frequências de interesse, da natureza dos equipamentos utilizados e os aspectos econômicos das técnicas disponíveis. Lembrando que estas intervenções não podem interferir no funcionamento dos equipamentos.

## **EQUIPAMENTO DE PREVISÃO DE RUÍDO**

Software de previsão de ruído ambiental Predictor Lima, versão 10.10. Este software utiliza o método de cálculo da ISO 9313-2- Atenuação do som na propagação ao ar livre.

Para realização da predição de ruído foi utilizada a ISO 9313-2- Atenuação do som na propagação ao ar livre. Esta parte da norma fala sobre os métodos de engenharia para cálculo da atenuação do som durante a propagação ao ar livre e a ordem para predição dos níveis sonoros ambientais a uma distância de uma variedade de fontes.

De acordo com a referida norma os níveis de pressão sonora englobam níveis com uma ampla variedade das condições meteorológicas. De acordo com a ISO a velocidade do vento deve estar entre 1m/s e 5m/s e deve ser inserida no modelo.

O método especificado nesta norma consiste especificamente em algoritmos da oitava banda de frequência (com médias nas frequências de 63Hz a 8kHz).

As fontes podem ser móveis ou fixas. O resultado depende dos efeitos físicos:

- Divergência geométrica
- Absorção atmosférica
- Efeitos do terreno
- Reflexão das superfícies
- Obstáculos

Uma informação adicional é o cálculo da propagação através das casas, folhagem e áreas industriais.

Com isto o método é aplicado na prática para uma grande variedade de fontes de ruído e ambientes. Ele é aplicado diretamente e indiretamente, para a maioria das situações como ruído de tráfego, fontes de ruído industrial, atividades de construção e muitas outras fontes de ruído. Não é aplicada para ruído de aeronaves.

Para aplicação desta parte da norma é necessário saber a geometria do ruído e do ambiente, as características físicas e o nível de pressão sonora por banda de oitava do ruído e a direção de propagação.

A referida norma também cita a diferença do nível de pressão sonora em duas condições: com a inserção de barreira e sem a inserção de barreira na propagação do som. Este modelo será utilizado para o conhecimento da propagação do som neste estudo.

De acordo com a distribuição da vegetação e demais barreiras o som se propaga de maneiras diferentes.

O ruído pode se propagar de diversas maneiras dependendo da fonte. Assim o ruído gerado por equipamentos condicionadores de ar é uma fonte pontual e precisa de uma coordenada. Ou seja, é necessário identificar qual o comportamento da distribuição do som. Neste estudo a fonte pontual está voltada para cima e não possui barreira física do equipamento na qual dispersa o som.

Deste modo o som é propagado conforme a figura 4 abaixo:

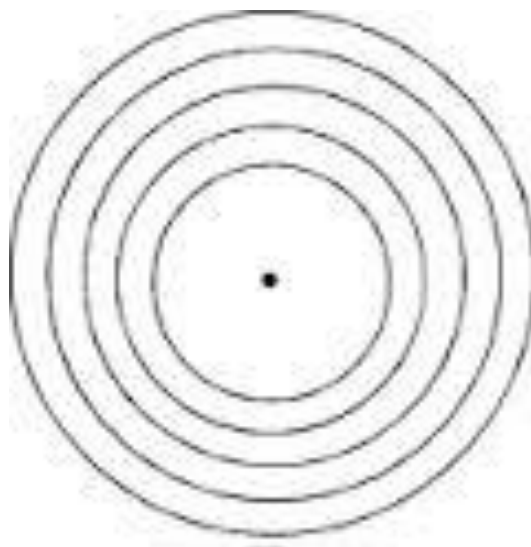


Figura 4- Propagação do som em uma fonte pontual.

Segundo Bento Coelho (2015) a energia sonora se propaga conforme uma geometria esférica, e neste caso quando se duplica a distância à fonte sonora a área das frentes de onda quadruplica conforme imagem abaixo, e os níveis de pressão sonora decrescem em 6 dB(A).

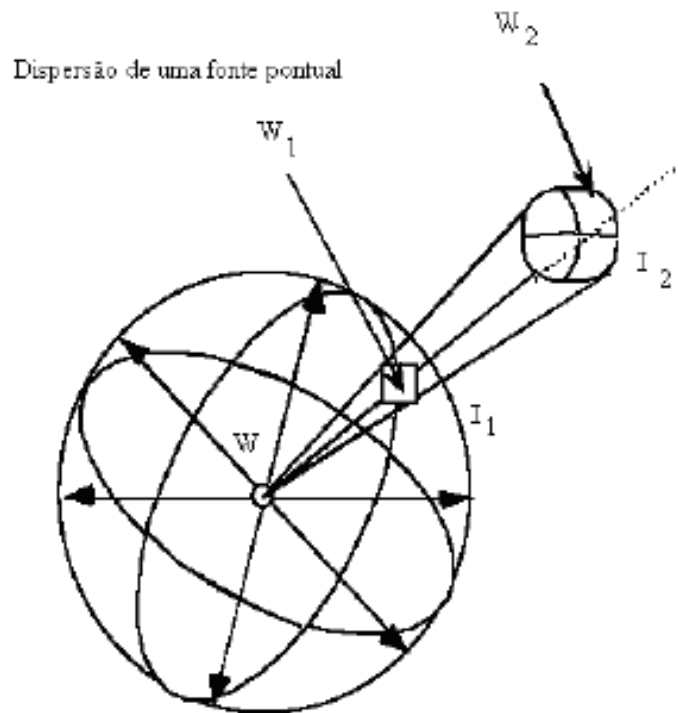


Figura 5: Dispersão de uma fonte pontual.

Segundo esta análise a equação que representa a área superficial de uma esfera é igual a  $4\pi r^2$  e a dispersão da esfera a uma distância genérica  $r_0$  da fonte é definida pela equação abaixo:

$$10\log\left(\frac{r_0}{4\pi r^2}\right) \text{ (Equação 1)}$$

O termo  $\frac{r_0}{4\pi}$  é substituído por 11 dB, e o quadrado da distancia é colocada a frente da equação. O dividendo do argumento logarítmico é elevado ao expoente -1.

Portanto a equação final fica:

$$\Delta L_r = -11 - 20 \log(r) \text{ (Equação 2)}$$

Onde  $\Delta$  é a dispersão e r é a distância da fonte.

No caso estudado como temos a interferência do solo temos uma onda semi-esférica na qual a norma ISSO 9613 já considera o efeito do solo como uma constante.



Figura 6- Propagação do som em onda semi-esférica.

Para a ISO 9613 este efeito é desconsiderado e a direção espacial da fonte é única.

## NÍVEIS SONOROS RECOMENDADOS

Nos estudos efetuados foram encontrados os seguintes normativos legais:

- NBR 10.151- 50dB(A) diurno e 45dB(A) noturno.

O período noturno possui maior exigência pois devido ao fato de ser o tempo onde a maior parte da população repousa, o que se aplica, primordialmente, aos hospitais, logo, ao estar enfermo esta necessidade aumenta.

De acordo com diversos estudos já realizados os valores nesta área está acima do recomendado pela OMS e por isto iremos avaliar o a UH.

## LEGISLAÇÃO E NORMAS

É caracterizado como ruído qualquer aparelho que pode produzir ruído acima dos limites estabelecidos pelas normas vigentes. Para avaliação nas áreas externas, a regulamentação fica por conta da NBR 10.151 e pelas leis Estaduais e Municipais, que legislam sobre direito de vizinhança.

De acordo com BRUEL & KJAER (2000) temos normatizações, metodologias e procedimentos para avaliação do ruído a partir das organizações internacionais International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), e estas por sua vez podem ser aplicadas como referência as normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O direito a um meio ambiente sadio e adequado ao desenvolvimento dos indivíduos foi consagrado constitucionalmente em nosso país com a promulgação da Constituição Federal de 1988. Os princípios legais que compõem o artigo 225 impõem ao poder público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para esta e futuras gerações.

Cabe ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) o estabelecimento de normas e critérios técnicos que permitam a correta aplicação dos preceitos legais. São incidentes sobre a área de estudo os seguintes dispositivos legais:

1. ABNT NBR 10.151- Acústica- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.
2. CONAMA nº1 – Resolução CONAMA associada à norma NBR - 10.151 como orientação para o interesse da saúde que estabelece, entre outros, os critérios e padrões para a emissão de ruído, em decorrência de quaisquer atividades.
3. CONAMA nº2 - Declara, em condição nacional, o Programa Silêncio, destinado a controlar o ruído excedente que possa interferir na saúde e bem estar da população, associada à norma NBR - 10.152 como orientação dos ruídos de fundo admissíveis.

4. Decreto Municipal nº 35.928/96: Reestrutura o Programa Silêncio Urbano - PSIU, instituído pelo Decreto n.º 34.569/94. O Programa de Silêncio Urbano (PSIU) da Prefeitura de São Paulo, ao combater a poluição sonora na cidade de São Paulo.
5. LEI Nº 13.885, DE 25 DE AGOSTO DE 2004 Estabelece normas complementares ao Plano Diretor Estratégico, institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o Uso e Ocupação do Solo do Município de São Paulo.

A resolução nº 1 de 8 de março de 1990 é a primeira resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente que se ocupa dos padrões de ruídos produzidos por atividades humanas nas cidades. Nesta resolução quaisquer atividades, sejam elas, industriais, de comércio, sociais ou recreativas e de propaganda política, devem ter seus padrões de imissão sonora compatíveis com os níveis sonoros considerados aceitáveis pela Norma Brasileira NBR 10.151.

A NBR 10.151 teve sua primeira publicação em 1987 com posterior revisão publicada em junho de 2000 (ABNT, 2000). Essa norma estabelece níveis sonoros máximos permissíveis visando o conforto da comunidade em função do tipo de uso e ocupação do solo conforme tabela 1 abaixo.

Tabela 1- Níveis sonoros para ambientes externos em dB(A).

USO PREDOMINANTE DO SOLO	NCA NÍVEL SONORO DIURNO	NCA NÍVEL SONORO NOTURNO
Sítios ou fazendas	40	35
Estritamente residencial, hospitais e escolas	50	45
Mista, predominantemente residencial	55	50
Mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Mista, com vocação recreacional	65	55
Predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT.

Os níveis descritos nessa norma são denominados Níveis de Critério de Avaliação e são definidos para dois períodos, a saber:

1. Diurno 07:01h às 22:00h e
2. Noturno das 22:01h às 07:00h.

O método de avaliação do ruído consiste na comparação entre o Nível Sonoro Corrigido em um determinado ponto de imissão e o Nível de Critério de Avaliação (NCA).

Neste caso serão feitas simulações para determinação do nível sonoro gerado somente pelos equipamentos.

O horário mais crítico é o noturno onde a interferência do fluxo de veículos e ruído de outras fontes são menores.

## **METODOLOGIA**

Modelos computacionais para cálculo de níveis sonoros correlacionam à intensidade das fontes sonoras e as características físicas do meio ambiente que as circunda como o relevo, barreiras construídas, áreas de atenuação dentre outras. Os mapas foram construídos com o auxílio do software computacional Predictor Lima v.10.10, um software comercial que utiliza as normas reconhecidas e são amplamente empregadas em território brasileiro. A norma utilizada para o cálculo da emissão foi a ISO 9316, que a partir de uma base de dados conhecidos reproduz o comportamento do ruído emitido no ambiente estudado. É uma norma de aplicação internacional e reconhecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Os mapas foram elaborados para descrever os níveis sonoros produzidos pelo funcionamento de equipamentos de refrigeração de ar. As características das máquinas foram inseridas no modelo de acordo com as informações do fabricante. Os níveis de ruído emitidos pelo equipamento foram inseridos por frequência.

A ISO 9613 estima que o nível de pressão sonora gerado por fontes

sonoras é dado pela expressão:

$$L_{fT}(dw) = L_W + D_c - A \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$L_W$  é o nível de potência sonora banda de oitava, em decibéis, produzido pelo ponto de origem do som em relação a uma potência sonora de referência de um kilowatt;

$D_c$  é a correção da direção, em decibéis, que descreve a extensão pela qual o nível de pressão sonora contínua equivalente da fonte desvia em uma direção especificada a partir do nível de um ponto de potência sonora  $L_W$ ,  $D_c$  é igual ao índice de direção  $D_i$  da fonte sonora contabiliza a propagação do som em ângulos sólidos menor que  $4\pi$  esterradianos, uma fonte sonora unidirecional que irradia para o espaço livre,  $D_c = 0$  dB.

Onde:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{agr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (\text{Equação 4})$$

$A_{div}$  é a atenuação provocada pela divergência entre a fonte e o receptor;

$A_{atm}$  é a atenuação provocada pela absorção atmosférica;

$A_{agr}$  é a atenuação provocada pelo efeito do solo;

$A_{bar}$  é a atenuação provocada por obstáculos (edifícios, topografia, muros, etc.)

$A_{misc}$  é a atenuação provocada por elementos diversos (bosques, superfícies de água e áreas ocupadas).

Os mapas foram elaborados para descrever os níveis sonoros produzidos pelos equipamentos listados abaixo. As etapas de preparação dos

mapas são descritas abaixo.

Os mapas foram calculados para um grid a 4 metros de altura e coloridos em intervalos de 5dB de acordo com a ISO 1996-2.

A previsão de ruído foi realizada seguindo os parâmetros normativos vigentes.

Existem informações que apoiam estes métodos descritos na bibliografia da referida norma. A concordância dos níveis de pressão sonora medido para a propagação são em média de acordo com as correções da tabela abaixo.

Este valor depende de uma série de condições, assim o nível de ruído calculado neste estudo é com base em todas as características simuladas.

As estimativas de precisão da tabela podem variar ainda mais de acordo com as condições do dia em uma medição in loco devido as variações da velocidade do vento e temperatura.

Tabela 2- Precisão sonora dos níveis de ruído gerados na predição.

Altura, $h^*$	Distancia, $d^*$	
	$0 < d < 100m$	$100m < d < 1000m$
$0 < h < 5m$	+/-3dB	+/-3dB
$5m < h < 30m$	+/-1dB	+/-3dB
$h^*$ representa a altura média da fonte e do receptor.		
$d^*$ representa a distância entre a fonte e o receptor.		

As fontes de ruído inseridas são de um modelo similar ao encontrado in loco, devido a não disponibilização de dados por parte do fornecedor foram utilizados os dados equivalentes. Segue abaixo a tabela do nível de ruído gerado de acordo com a carga de operação.

Na simulação as máquinas estão com 100% de carga de funcionamento, o que nos garante a pior situação de utilização.

Tabela 3: Nível de pressão sonora por banda de oitava dos equipamentos condicionadores de ar.

Octave Band Center Frequency, Hz	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Overall
100% Load	29	39	54	68	66	68	65	62	54	74
75% Load	29	39	53	68	66	68	65	62	54	73
50% Load	26	37	51	66	60	63	62	59	51	70
25% Load	26	36	49	66	59	63	61	59	51	70

O layout das edificações, fontes de ruído e pontos dos receptores individuais foram calculados na simulação computacional conforme esquema abaixo:

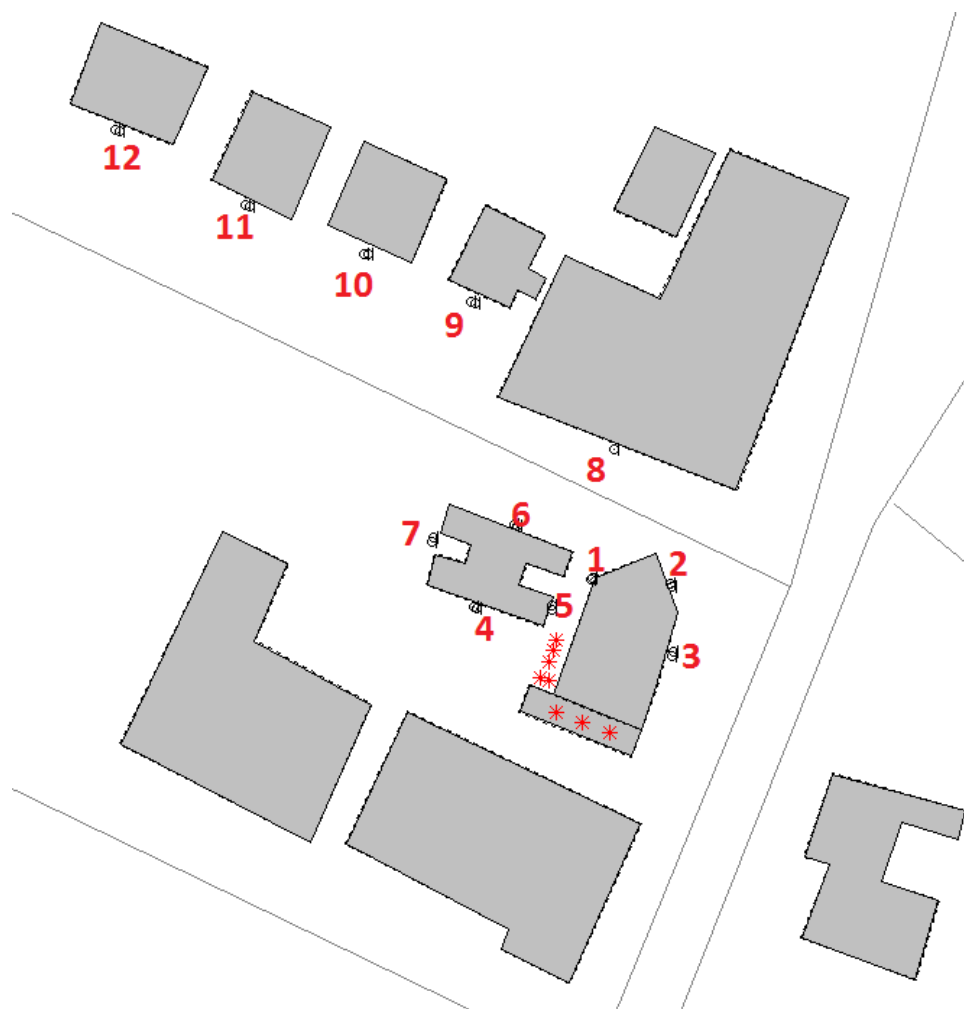


Figura7- Localização dos receptores na simulação computacional.

O mapeamento dos níveis de ruído possibilita a realização de análises das condições de impacto produzido pelo ruído, assim a verificação nos permite adotar medidas para o controle da poluição sonora e a quantificação dos níveis de ruído para este controle.

No programa Predictor Lima é constituído um mapa em três dimensões do caso estudado. Portanto para representar a UH e as UR, foram inseridas as fontes pontuais de ruído que são as condensadoras de ar, as edificações adjacentes a UH e as instalações da unidade hospitalar avaliada.

Depois de inseridas as fontes e os receptores, foram impostas duas condições consideradas: com e sem a barreira acústica nos equipamentos.

A colocação de barreiras nas fontes de ruído é uma das principais técnicas de controle. Desta forma neste estudo irá avaliar a inserção de barreira acústica e a redução de ruído ocasionada.

A barreira inserida para o estudo tem as seguintes características:

Altura: 6 metros

Altura em cima do mezanino: 2 metros

Fator de reflexão: 0,80

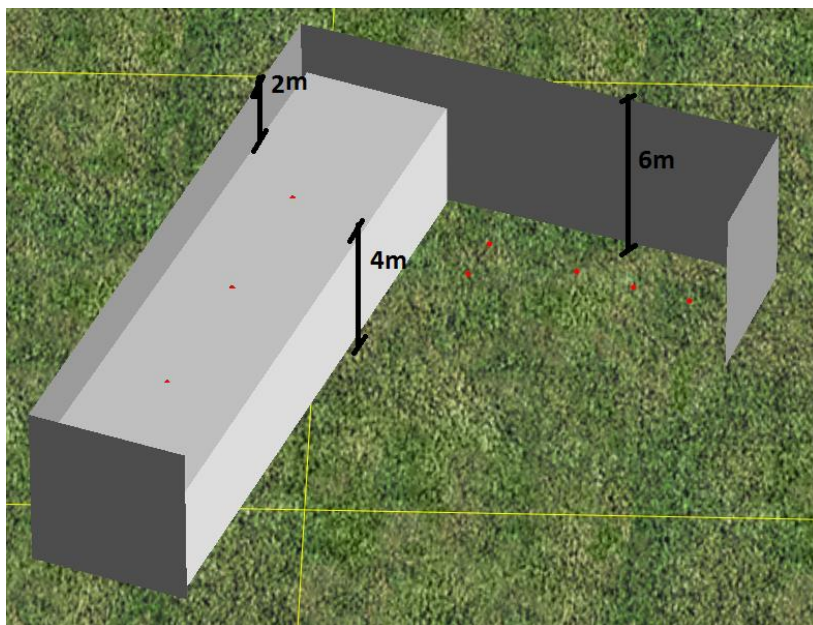


Figura 8- Desenho esquemático da barreira.

Realizado o cálculo, foi gerado um mapa da simulação computacional do ruído gerado em função do nível de pressão sonora resultante e da distância do ponto de recepção.

Nos edifícios adjacentes foram colocados receptores em diversas alturas para que os andares fossem avaliados.

Foram realizadas duas simulações. A primeira com os equipamentos sem barreira acústica e a segunda com a inserção de barreira acústica no entorno das máquinas. Nestas previsões será possível identificar a diferença de níveis sonoros nos pontos destacados.

## **ANÁLISE**

Os limites legais de emissão de ruído para o meio externo embasaram as avaliações realizadas. Conforme a NBR 10.151 os níveis sonoros da área analisada é de 50 dB(A) no período diurno e 45 dB(A) no período noturno.

Os locais avaliados foram as áreas externas aos edifícios. Comparando os resultados obtidos pela simulação computacional podemos ter um erro devido a fontes externas não avaliadas nestes estudos como: tráfego, influência das pessoas no local, etc.

O funcionamento das fontes é de 24 horas diárias. Com isso a principal análise realizada é no período noturno devido ao nível de ruído considerado pela legislação ser menor e por ter menos interferência do ruído de fundo.

Abaixo segue o layout dos edifícios inseridos na simulação.

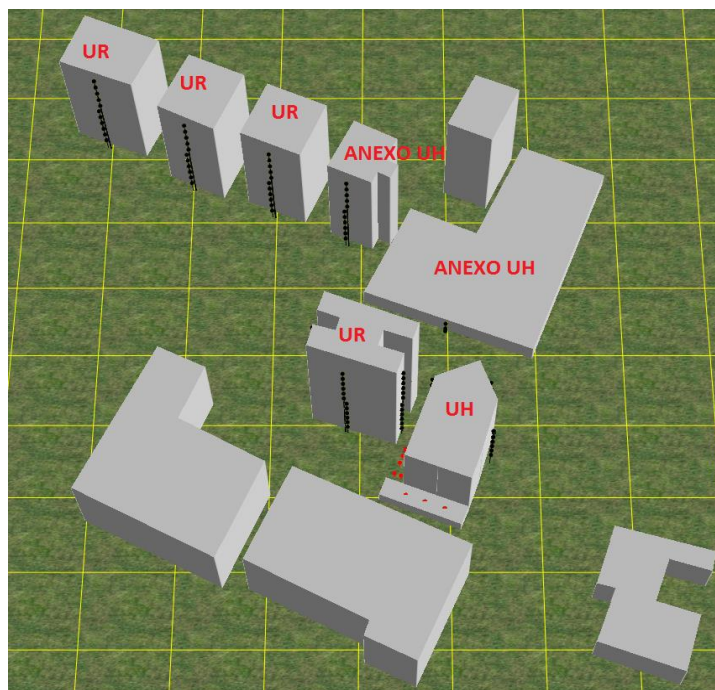


Figura 9- Layout da simulação computacional.

#### OPÇÃO 1 SEM BARREIRA ACÚSTICA

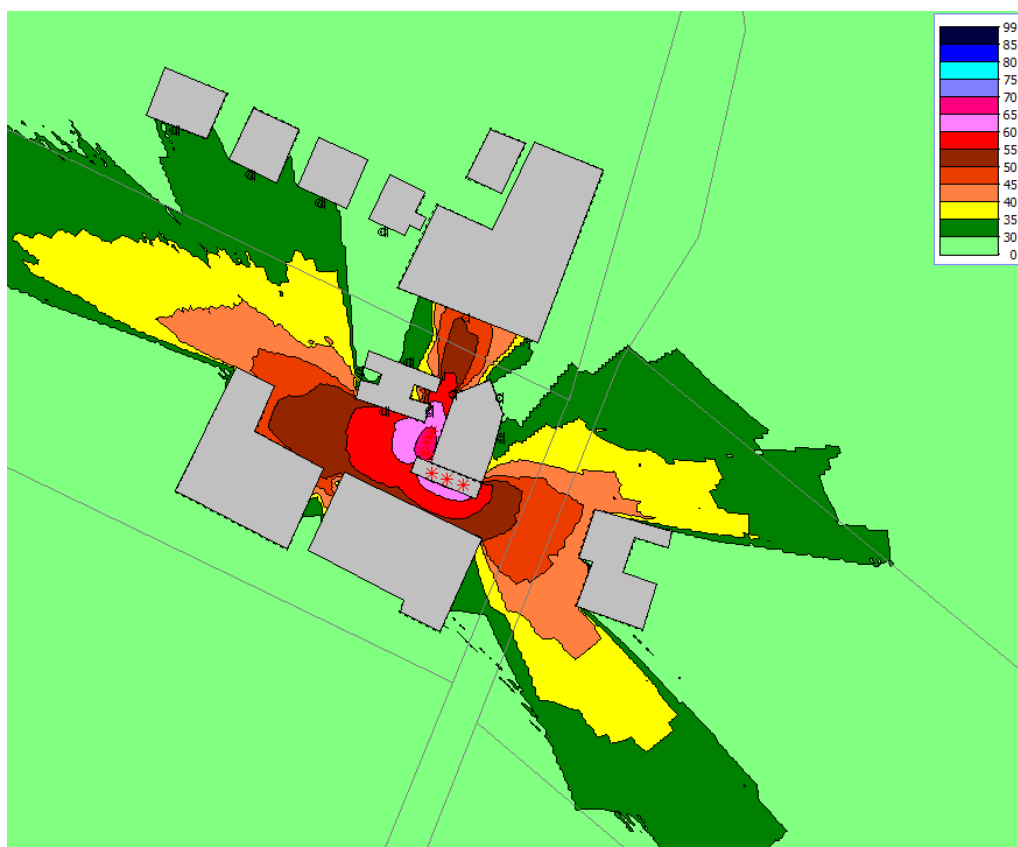


Figura 10- Vista superior da simulação computacional sem barreira acústica.

Na figura 10 os níveis sonoros em dB(A) estão representados pelas cores da tabela, onde 0 é o menor nível e 99 é o maior nível sonoro da escala.

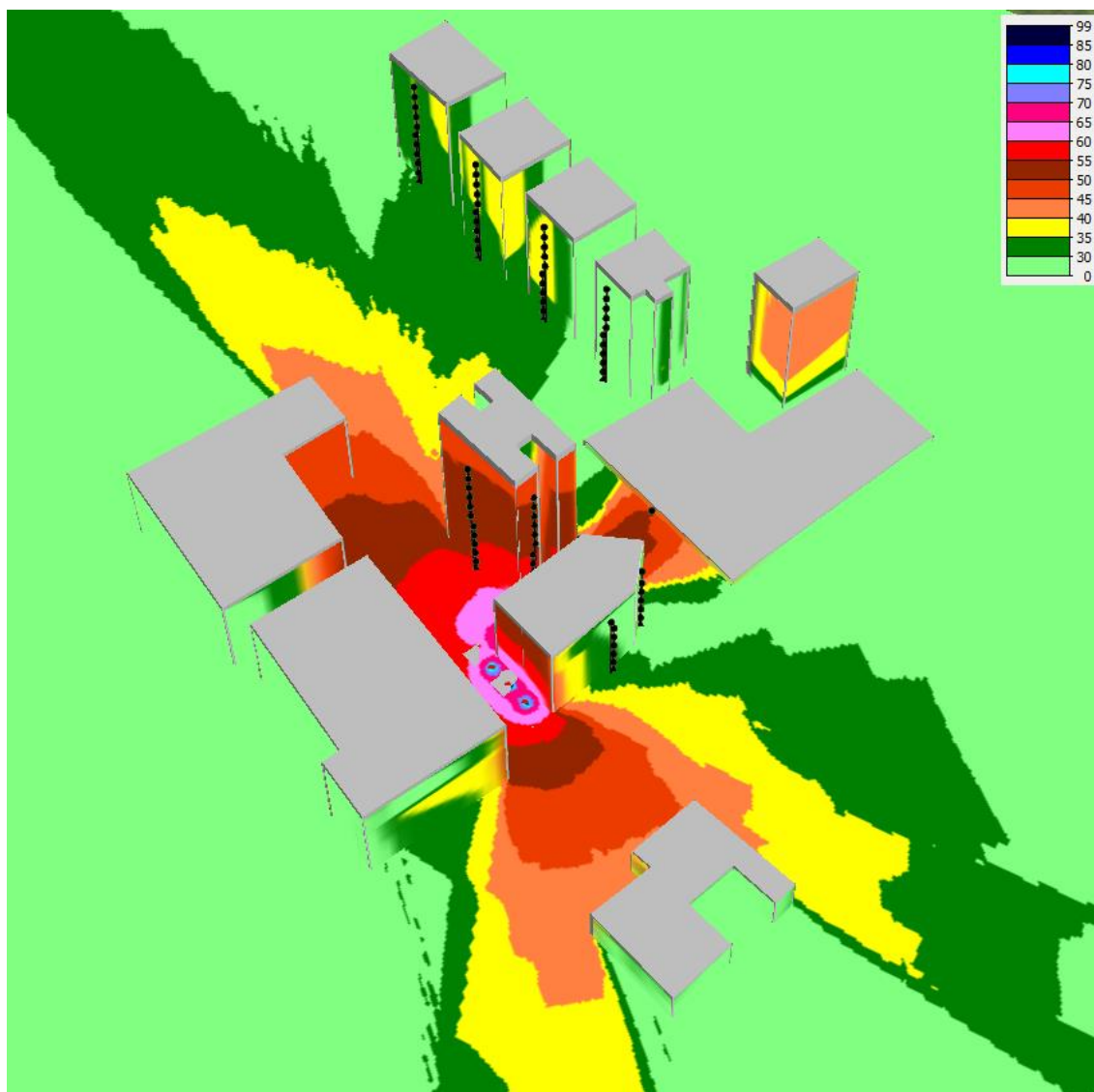


Figura 11- Vista tridimensional da simulação computacional sem barreira acústica.

Na figura 11 os níveis sonoros em dB(A) estão representados pelas cores da tabela, onde 0 é o menor nível e 99 é o maior nível sonoro da escala. Nesta figura podemos observar a propagação do ruído tanto horizontalmente quanto verticalmente.

A tabela abaixo apresenta os níveis de ruído encontrados de acordo com os pontos já definidos e com as devidas alturas.

Tabela 4- Nível de ruído nos pontos receptores sem a adição de barreira acústica.

SEM BARREIRA										
Nome	Altura	Lp		Nome	Altura	Lp		Nome	Altura	Lp
1	4	49,8		5	4	55		9	4	18,3
1	7	49,3		5	7	53,8		9	7	19,6
1	10	48,6		5	10	52,5		9	10	19,9
1	13	47,7		5	13	51,1		9	13	19,9
1	16	46,7		5	16	49,9		9	16	19,8
1	19	45,8		5	19	48,8		9	19	19,8
1	22	44,8		5	22	47,7		9	22	19,8
2	4	22,3		5	25	46,9		9	25	19,8
2	7	22,3		5	28	46		9	28	19,7
2	10	22,1		5	31	45,3		9	31	19,6
2	13	21,8		5	34	44,5		9	34	19,5
2	16	21,5		5	37	43,6		10	4	26,2
2	19	21,2		6	4	24,5		10	7	27,5
2	22	20,9		6	7	24,4		10	10	28,8
3	4	25,6		6	10	24,2		10	13	29,2
3	7	25,5		6	13	23,9		10	16	29,2
3	10	25,3		6	16	23,6		10	19	29,1
3	13	25,1		6	19	23,3		10	22	29,1
3	16	24,8		6	22	22,8		10	25	29,1
3	19	24,4		6	25	22,5		10	28	29
3	22	24,5		6	28	22,1		10	31	29
4	4	50,4		6	31	21,8		10	34	28,9
4	7	50		6	34	21,5		11	4	25,3
4	10	49,6		6	37	21,1		11	7	26,5
4	13	49		7	4	25		11	10	27,6
4	16	48,4		7	7	24,9		11	13	28,4
4	19	47,7		7	10	24,7		11	16	28,7
4	22	46,9		7	13	24,4		11	19	28,9
4	25	46,3		7	16	24,2		11	22	29,1
4	28	45,7		7	19	24,3		11	25	29,2
4	31	45,1		7	22	23,7		11	28	29,3
4	34	44,6		7	25	23,7		11	31	29,3
4	37	44,1		7	28	23,4		11	34	29,3
				7	31	23,1		12	4	23,9
				7	34	22,8		12	7	24,6
				7	37	22,6		12	10	25,7
				8	1,5	40,1		12	13	26,6
				8	3	41,9		12	16	27,2
				8	6	43		12	19	27,3
								12	22	29
								12	25	29
								12	28	29,1
								12	31	29,1
								12	34	29,1

## OPÇÃO 2 COM BARREIRA ACÚSTICA



Figura 12- Vista superior da simulação computacional com barreira acústica.

Na figura 12 os níveis sonoros em dB(A) estão representados pelas cores. Nesta figura podemos observar que os níveis estão bem menores de acordo com a legenda de cores. A legenda significa que 0 é o menor nível e 99 é o maior nível sonoro da escala.

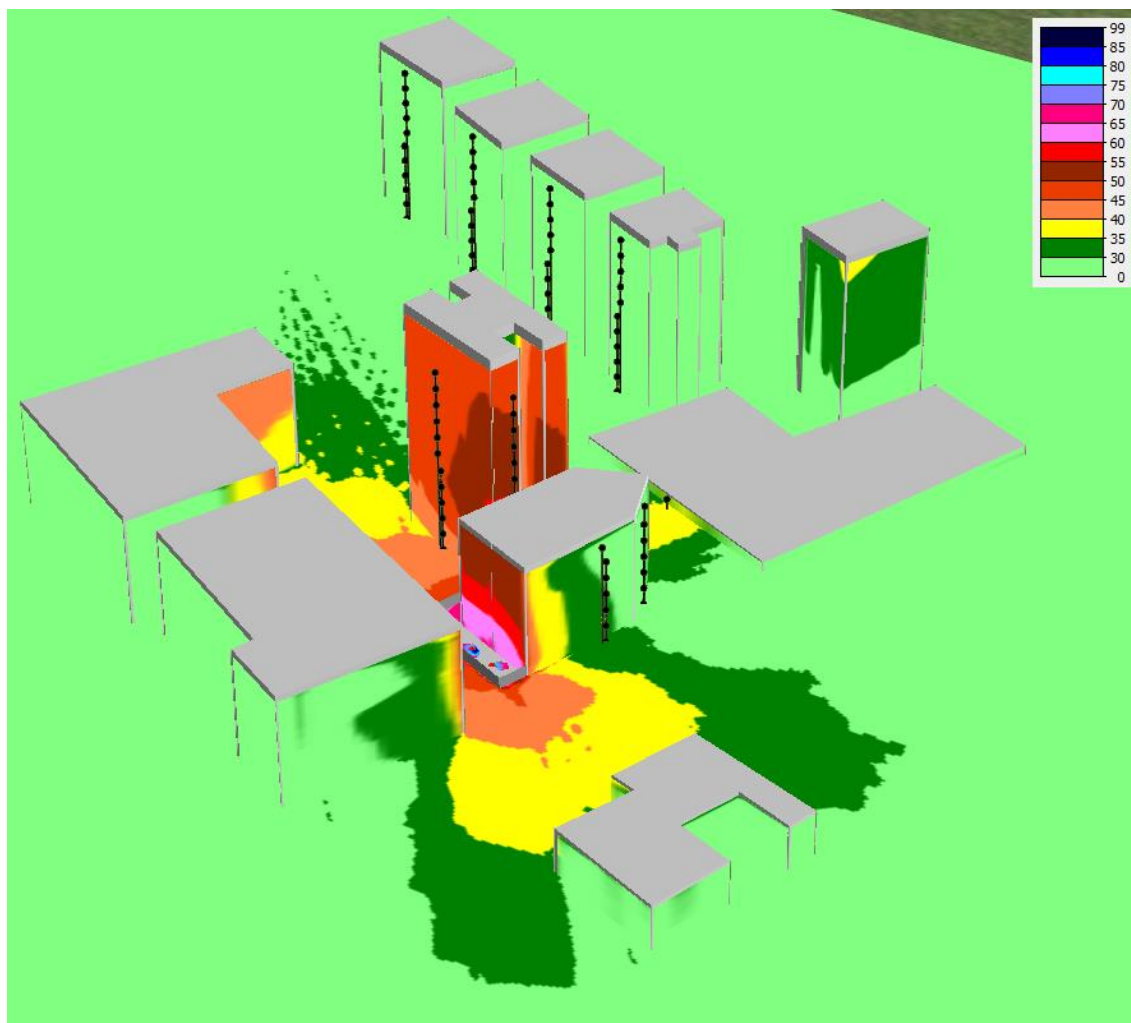


Figura 13- Vista tridimensional da simulação computacional com barreira acústica.

Na figura 13 podemos observar a propagação do ruído tanto horizontalmente quanto verticalmente.

Tabela 5- Nível de ruído nos pontos receptores com a adição de barreira acústica.

COM BARREIRA										
Nome	Altura	Lp		Nome	Altura	Lp		Nome	Altura	Lp
1	4.00	37.9		5	4.00	38.9		9	4.00	15.5
1	7.00	38.9		5	7.00	45.3		9	7.00	16.7
1	10.00	41.6		5	10.00	50.8		9	10.00	17.3
1	13.00	43.7		5	13.00	50.5		9	13.00	17.3
1	16.00	44.1		5	16.00	49.6		9	16.00	17.3
1	19.00	44.0		5	19.00	48.7		9	19.00	17.2
1	22.00	43.1		5	22.00	47.6		9	22.00	17.2
2	4.00	22.2		5	25.00	46.6		9	25.00	17.1
2	7.00	22.2		5	28.00	45.7		9	28.00	17.1
2	10.00	22.1		5	31.00	45.1		9	31.00	17.5
2	13.00	21.8		5	34.00	44.1		9	34.00	17.4
2	16.00	21.5		5	37.00	43.3		10	4.00	14.0
2	19.00	21.2		6	4.00	22.8		10	7.00	15.4
2	22.00	20.9		6	7.00	22.7		10	10.00	16.2
3	4.00	25.3		6	10.00	22.7		10	13.00	16.5
3	7.00	25.3		6	13.00	22.3		10	16.00	16.6
3	10.00	25.4		6	16.00	22.2		10	19.00	16.6
3	13.00	25.2		6	19.00	22.1		10	22.00	16.6
3	16.00	24.8		6	22.00	21.8		10	25.00	16.7
3	19.00	24.5		6	25.00	21.6		10	28.00	16.8
3	22.00	24.5		6	28.00	21.3		10	31.00	16.8
4	4.00	34.9		6	31.00	21.3		10	34.00	16.8
4	7.00	37.5		6	34.00	21.0		11	4.00	15.2
4	10.00	40.3		6	37.00	20.7		11	7.00	16.8
4	13.00	42.2		7	4.00	22.8		11	10.00	17.6
4	16.00	43.1		7	7.00	22.8		11	13.00	18.0
4	19.00	42.8		7	10.00	22.8		11	16.00	18.4
4	22.00	43.0		7	13.00	22.9		11	19.00	18.7
4	25.00	42.9		7	16.00	22.9		11	22.00	19.1
4	28.00	42.6		7	19.00	22.5		11	25.00	19.3
4	31.00	42.2		7	22.00	22.0		11	28.00	19.5
4	34.00	41.9		7	25.00	21.6		11	31.00	19.9
4	37.00	41.8		7	28.00	21.3		11	34.00	20.1
				7	31.00	21.0		12	4.00	13.6
				7	34.00	20.7		12	7.00	15.0
				7	37.00	20.4		12	10.00	16.3
				8	1.50	26.1		12	13.00	17.2
				8	3.00	27.8		12	16.00	17.4
				8	6.00	29.7		12	19.00	17.5
								12	22.00	18.1
								12	25.00	18.4
								12	28.00	18.6
								12	31.00	19.1
								12	34.00	19.3

## CONCLUSÃO

As simulações da área em estudo foram realizadas para avaliação do impacto ambiental sonoro gerado pelos equipamentos de ar condicionado.

Conforme as tabelas dos receptores inseridos na modelagem o maior nível de ruído encontrado foi de 55dB(A) a 4 metros do piso no ponto receptor número 5. Com a inserção da barreira acústica o nível encontrado chegou a 39dB(A) no mesmo ponto.

Conclui então que a inserção da barreira acústica auxilia na diminuição da propagação do som conforme a simulação. Porém mesmo com a barreira acústica tivemos como pico o nível de aproximadamente 51dB(A) no ponto 5 na altura de 10 metros do piso. Com isto o nível de ruído gerado está fora dos limites normativos que é de 45dB(A) mesmo com a intervenção realizada.

Deste modo deverão ser realizadas outras intervenções para que o nível aceitável seja alcançado.

Cabe lembrar que o ruído de fundo não está presente na simulação o que levaria a um mascaramento do ruído gerado.

## BIBLIOGRAFIA

ABREU, J. L., **Análise de Ruído e Vibrações em Sistemas de Climatização Instalados em Edifícios**, dissertação de mestrado, Faro, 2013, 65p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 10.151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

BENTO COELHO, J.L. **Acústica experimental e previsional**. Texto de apoio ao curso Acústica das edificações e Ambiental. 75p, 2015.

BRASIL. Constituição (1988). **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**. Brasília: Senado Federal, 2015.

BRUEL E KJAER (2000), **Environmental noise**. Denmark: Bruel e Kjaer Sound e Vibration Measurement A/S, 65P.

CORDEIRO, E.P. **Avaliação da propagação do ruído industrial na poluição sonora**, dissertação de mestrado, Porto Alegre, 145p, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resoluções do CONAMA**: Resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008. Brasília: CONAMA, 2008. 928p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LibroConama.pdf>>. Acesso em: 01 fev 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-2**: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - - Part 2: Determination of environmental noise levels. Gêneve, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613-1**: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, Gêneve, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613-2**: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. Gêneve, 1996.

LAGEMANN, C. H., **Análises acústicas para instalação de sistemas de ar condicionado**, dissertação de mestrado, Rio Grande do Sul, 2008, 105p.

MARTÍN, M. A. et al. Exposure–effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. **Applied Acoustics**, v. 67, p. 945–958, 2006.

MENEGHETTI, A. P., **Estudo do impacto ambiental causado pelo aumento da poluição sonora em áreas próximas aos centros de lazer noturno na cidade de Santa Maria- RS**, dissertação de mestrado, Rio Grande do Sul, 2006, 97p.

NAISH D. A.; TAN A. C.C; NUR DEMIRBILEK F. Estimating health related costs and savings from balcony acoustic design for road traffic noise. **Applied Acoustics**, v. 73, p. 497–507, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Burden of disease from environmental noise**. WHO Regional Office for Europe. 126 p, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Guidelines for Community noise**. Edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall ,Dietrich H Schwela. 161 p, 1999.

Zoneamento da cidade de São Paulo. Disponível em [www.prodiam.sp.gov.br/sempla/zone.htm](http://www.prodiam.sp.gov.br/sempla/zone.htm). Acesso em 10 de outubro de 2015.