



INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE AR CONDICIONADO NO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIO

**Cristina Yukari Kawakita Ikeda (1); Fulvio Vittorino (2);
Maria Akutsu (3); Marcelo de Mello Aquilino (4)**

(1) Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios – Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, Brasil – e-mail: cristinak@ipt.br

(2) e-mail: fulviov@ipt.br

(3) e-mail: akutsuma@ipt.br

(4) e-mail: aquilino@ipt.br

RESUMO

Em edifícios de escritório é comum o uso de ar condicionado e em várias situações há problemas de ruído. Enfocando-se o conforto acústico, far-se-á então, uma apresentação dos principais equipamentos e componentes geradores de ruído em sistemas de climatização de ar e erros de projeto arquitetônico e do sistema de distribuição de ar que levam à geração de ruído. Foram feitas medições em campo para comparar parâmetros objetivos com o conforto acústico dos usuários. Conclui-se que dentro de um mesmo recinto podem existir áreas que atendam minimamente ao conforto acústico dos usuários bem como outras áreas em que a sensação de desconforto predomina.

Palavras-chave: conforto acústico, ar-condicionado, escritório, critérios de avaliação, medição de ruído

1 INTRODUÇÃO

Em edifícios de escritórios é fato corriqueiro o uso de sistemas de ar condicionado para prover condições satisfatórias de conforto térmico para os ocupantes. No Brasil, em particular, isso se deve tanto às temperaturas externas que já estão, na maior parte do tempo e do território nacional, acima dos limites de conforto térmico; quanto pela elevada taxa de ocupação dos espaços, que gera grandes cargas térmicas diretamente no interior dos recintos; e ainda pela adoção de conceitos de projeto arquitetônico inadequados às nossas condições climáticas.

Um sistema de climatização bem projetado, bem executado e adequadamente operado pode resolver a grande maioria dos problemas de conforto térmico e ainda melhorar a privacidade em grandes escritórios de planta livre, pelo mascaramento de conversas e outras fontes de ruído que poderiam causar distrações e perdas de concentração.

Contudo, o que se verifica, em muitas situações, é que os equipamentos de climatização acabam sendo fontes de ruídos perturbadoras. Essas perturbações são decorrentes ou de níveis de ruído elevados, ou por apresentarem componentes, como grelhas e dutos, destacados em faixas de freqüência estreitas ou do ruído gerado por componentes das edificações, que são excitadas pela trepidação dos equipamentos ou pela passagem de fluxos de ar em grelhas e difusores.

Este artigo discute os critérios mais adequados para avaliar os potenciais incômodos causados pelos sistemas de climatização e apresenta a análise de alguns casos típicos de sistemas de pequeno-médio porte onde a maior parte da perturbação sonora é causada por ruídos aéreos associados ao processo de movimentação do ar.

2 OBJETIVO

O objetivo é estudar os efeitos dos ruídos gerados pelas evaporadoras de sistemas do tipo *mini-split* e de equipamentos do tipo *self-contained*, instalados em salas de máquinas em áreas adjacentes aos ambientes por eles climatizados.

Não são abordados aqui aspectos de conforto antropodinâmico decorrentes de vibrações mecânicas geradas no corpo dos ocupantes decorrentes das vibrações dos equipamentos.

3 O RUÍDO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

O ruído produzido pelos sistemas de climatização de ar pode ser causado diretamente por efeitos aerodinâmicos decorrentes do escoamento de ar através de grelhas, dutos e na passagem pelas pás de ventiladores; decorrentes de escoamento de fluidos refrigerantes em sistemas de expansão direta e da água gelada em bombas, tubulações e *chillers*; e, ainda, por vibrações de todos os componentes eletromecânicos.

A solução de um problema de ruído oriundo de instalações de ar condicionado requer um enfoque sistêmico para a questão. Não basta adotar-se apenas equipamentos com baixa geração de ruído individualmente, pois eles podem tornar-se ruidosos devido a falhas de instalação. Além disso, o ruído aerodinâmico, do escoamento de ar resfriado, pode estar sendo produzido diretamente no ambiente em função de decisões de projeto que não atentaram devidamente à essa questão.

Crocker et. al (2004) propõe essa sistematização sugerindo que se inicie o processo identificando o ruído gerado, individualmente, pelas fontes atuantes, classificando-as em função do impacto produzido. A seguir, inicia-se o processo de mitigação, atuando-se, se possível, diretamente sobre ela, ou então sobre o caminho de transmissão da energia sonora por ela gerada. Então, a próxima fonte e o caminho mais forte devem ser reduzidos, e assim sucessivamente, até se atingir a meta de conforto acústico desejada.

Na Figura 1 são apresentadas as faixas de freqüência em que, tipicamente, cada fonte de ruído gera a maior parte da energia sonora (ASHRAE, 1998).

O ruído de alta freqüência é relativamente fácil de ser controlado por meios passivos, como com o uso de enclausuramentos e a adição de materiais absorventes sonoros. Contudo, essa solução não pode ser aplicada onde há a predominância das baixas freqüências nem quando se necessita do escoamento de ar. A seguir são apresentados os principais equipamentos geradores de ruído em sistemas de climatização de ar e uma breve descrição das causas dos incômodos gerados. Informações detalhadas desse assunto são objeto de vários livros.

3.1 Ventiladores

O funcionamento dos ventiladores, estejam eles em unidades evaporadoras de sistemas mini-split, ou em *self-contained*s ou ainda em unidades de *fan-coil* são as causas da maior parte dos problemas de ruído no sistema de ar condicionado.

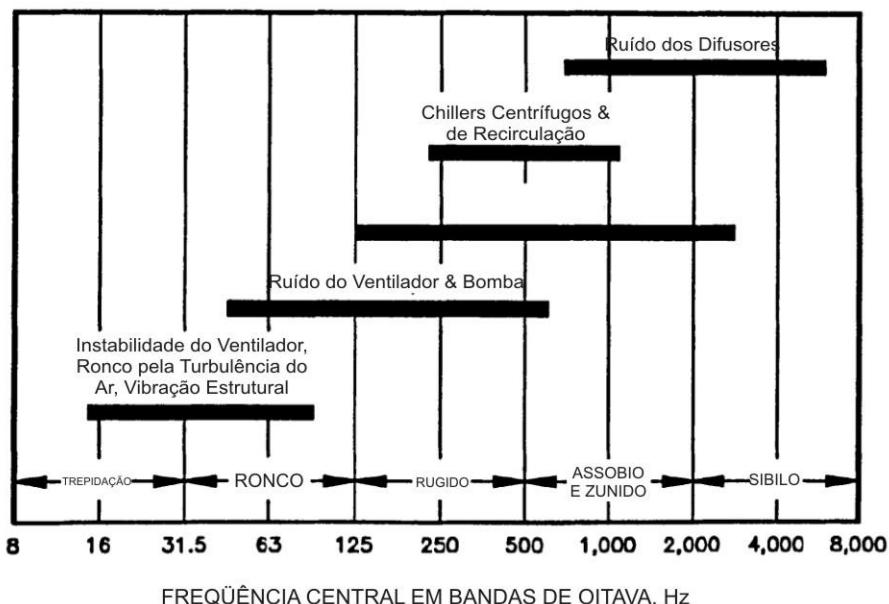


Figura 1 – Distribuição da energia pelo espectro sonoro, tipicamente gerado pelas várias fontes presentes em uma instalação de ar condicionado (ASHRAE, 1998).

Esses problemas são causados tanto pelos efeitos aerodinâmicos diretos decorrentes do próprio escoamento como o turbilhonamento em grelhas, dutos e na passagem pela pá dos ventiladores, induzindo vibrações em aletas. Como, em função das vazões necessárias e da baixa viscosidade do ar, o escoamento é naturalmente turbulento e, portanto, ruidoso, decisões de projeto contribuem para agravar o incômodo causado pelo funcionamento normal de equipamentos de movimentação de ar, como:

- Baixa isolação sonora nos compartimentos que contém *fan-coils* e *selfs*;
- Falta de um atenuador sonoro na abertura de ar de retorno de uma sala de máquinas, que poderia evitar que o ruído do ventilador viajasse dentro do plenum, e desta cavidade para o espaço ocupado;
- Ausência de revestimento absorvente sonoro em plenums e nos compartimentos que contém *fan-coils* e *selfs*.

3.2 Dutos

Segundo Stocker e Jones (1985), os dutos usados para a condução do ar também representam um caminho para a transmissão de ruídos provenientes de conversas ou dos equipamentos de climatização, além de, ao vibrarem, poderem induzir trepidações em elementos de vedação ou no próprio ar que os circunda.

Outra causa de ruído associada à existência dos dutos está em falha na selagem nas suas passagens pelos elementos de vedação das edificações, criando canais para vazamentos sonoros entre ambientes.

Além disso, pode-se citar o ruído decorrente de aumento de turbulência do escoamento em elementos de transição de seção, ramificações, de mudança de direção do escoamento, que são diretamente proporcionais à perda de carga por eles gerada.

4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO

Dependendo do uso do espaço, a satisfação do usuário pode ser obtida através de um ruído de fundo baixo, para ambientes como auditórios, ou ruído de fundo, intencionalmente, mais alto, para prover um mascaramento de outros ruídos perturbadores e proporcionar, assim, a obtenção da privacidade da fala, como em escritórios panorâmicos. O ruído de instalações de ar condicionado deve ser avaliado cuidadosamente, considerando que meta de projeto foi buscada. Dessa forma, a escolha do critério adequado de avaliação é um ponto de fundamental importância.

Ayr et al (2001) em uma pesquisa em edifícios climatizados, através da aplicação de questionários com seus usuários e determinação simultânea de vários índices de ruído verificou qual era a correlação entre parâmetros objetivos e respostas subjetivas dos usuários quanto às sensações de intensidade do som (*loudness*) e incômodo (*annoyance*). Dentre os parâmetros objetivos pesquisados, as correlações mais fortes foram encontradas com L_{90} (índice estatístico a 90%) e $L_{eq,A}$ (nível de ruído equivalente contínuo, em dB(A)) e baixa ou nenhuma com índices mais complexos, como NC (*noise criteria*) e RC (*room criteria*) que permitem uma consideração mais apurada do espectro sonoro presente.

A ASHRAE (2009) também discute a adequação de alguns dos parâmetros estudados por Ayr, além de outros como o NCB (balanced noise criteria) e RC Mark II, para fins de projeto ou de avaliação de uma condição presente. Assim, nesse documento de 2009, a ASHRAE apresenta os pontos fortes e fracos de cada um sugerindo qual o mais adequado para de uso: projeto, diagnóstico de um problema ou fase de comissionamento.

Para não ser um “incômodo”, o sistema de climatização deve prover uma distribuição balanceada de energia sonora nas faixas de freqüências; não ter tonais audíveis (assobios, zumbidos, roncos); não ter variações de nível perceptíveis ao longo do tempo (batidas); e não ter níveis flutuantes (pulsações). Atualmente não existe um método de avaliação consolidado para caracterizar os efeitos de tonais audíveis e flutuações de nível. O método que foi adotado no restante do presente trabalho, o RC Mark II é tido como adequada para verificar o nível e a composição espectral do ruído além de permitir inferir se surgirão perturbações devido a vibrações de baixa freqüência, induzidas pelo escoamento de ar.

5 MÉTODO DE TRABALHO

5.1 Ambientes e Equipamentos estudados

Nos ambientes contemplados neste trabalho, foram identificados os seguintes sistemas a serem avaliados: *mini-splits* com evaporadoras do tipo piso-teto, instaladas junto ao forro e *self-contained*, que distribuíam o ar por dutos até o ambiente. Os mini-splits eram de fabricantes diferentes, porém de mesma capacidade e nas mesmas condições de instalação.

Definindo-se os sistemas, buscou-se conhecer as características de cada um quanto à a geração e transmissão de ruídos, através de medições em campo. Nesta pesquisa, todos os sistemas foram avaliados desprovidos de proteção acústica com os equipamentos em perfeitas condições. Por fim, foram feitas proposições de soluções quanto à isolamento sonoro, absorção sonora e controle de vibrações.

5.2 Parâmetros Medidos

Foram feitas medições em 3 salas do nível de pressão sonora, por faixa de freqüência na altura do ouvido do usuário. Na salas A e B, de formato retangular, onde estão instalados sistemas do tipo *minisplits* foram feitas medições em 6 pontos. Em cada um, o tempo de aquisição de dados foi de 30 segundos.

Na sala C, que é um grande espaço climatizado por 2 self-containeds instalados em um recinto adjacente a ele, foram feitas medições em apenas 2 pontos com características muito diferentes: o primeiro no meio do ambiente, com o ar chegando até lá por meio de dutos e o segundo junto à grelha de retorno de ar que existe nas portas que confinam os equipamentos.

Além disso, foram feitas medições de nível de pressão sonora em vários pontos ao redor dos equipamentos para determinar a sua potência sonora, conforme procedimentos adaptados da Norma ISO 3746:1995.

Para esta pesquisa foram utilizadas as curvas RC Mark II que são uma revisão das curvas RC e avaliam o desempenho de um sistema de climatização como um todo. Por este método determina-se a curva RC de referência e calcula-se o QAI (*quality assessment index*) com o qual se avalia a percepção do usuário. Todas as medições foram feitas com o ambiente desocupado.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 Níveis de pressão sonora considerados

Nas Figuras 2 a, 2 b e 2 c têm-se os valores obtidos, por faixa de freqüência para cada um dos pontos de medição ilustrados na Figura 3, para as salas A, B e C, respectivamente.

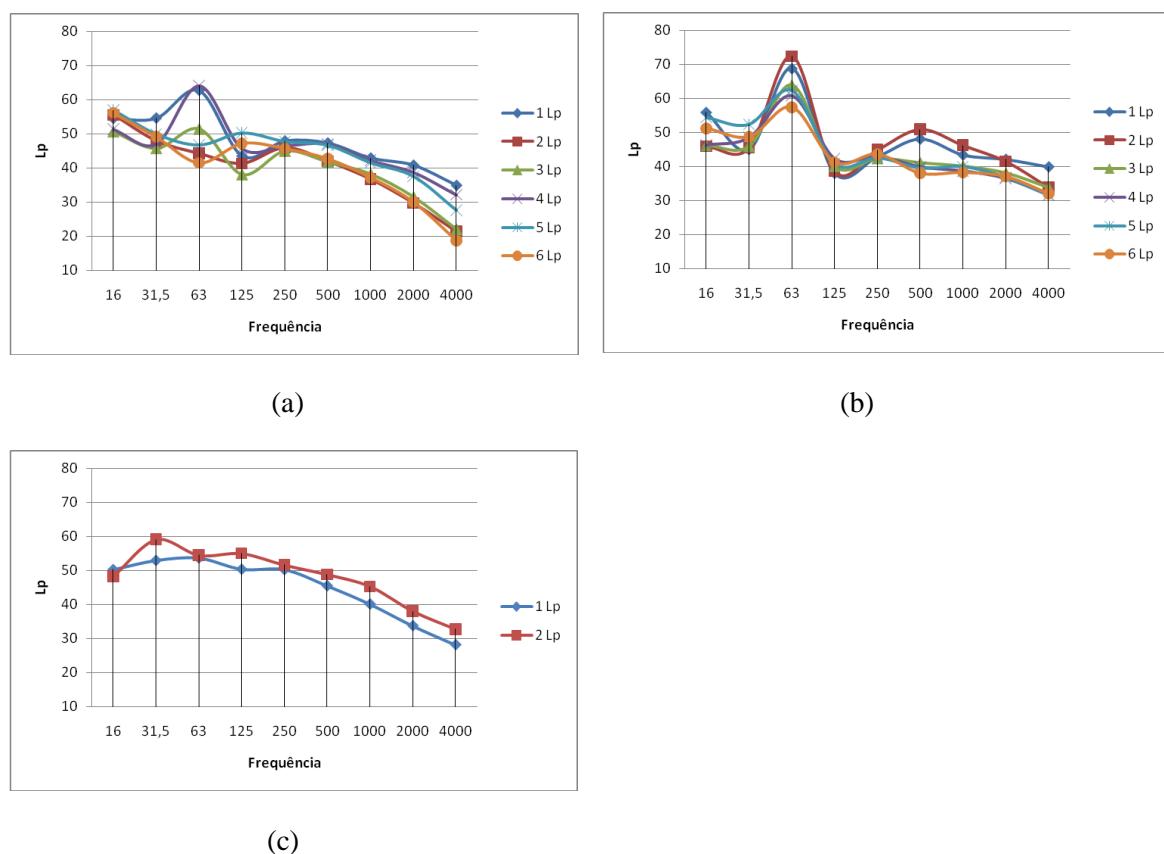


Figura 2 – Nível de pressão sonora nas faixas de freqüências das salas A, B e C.

Devido à dispersão dos dados foram feitas, então, verificações para os casos extremos de cada sala: na sala A, nos pontos 1 (distante da evaporadora) e 6 (próximo à evaporadora); na sala B, nos pontos 2 (distante da evaporadora) e 6 (próximo à evaporadora) e as duas curvas da sala C.

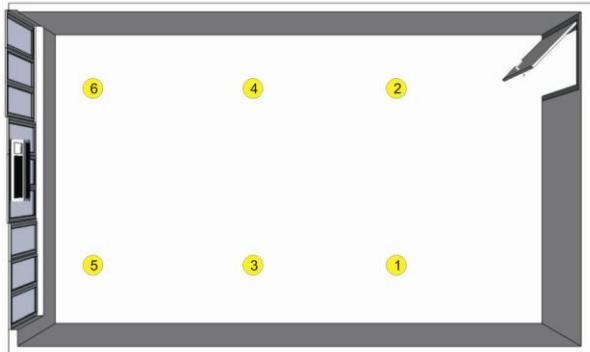


Figura 3 – Pontos de medição.

6.2 Avaliação pelas curvas RC Mark II.

O método RC Mark II, a fim de avaliar possíveis más distribuições de energia sonora ao longo do espectro, utiliza as seguintes classificações para o descritor de qualidade sonora:

- (N) Neutro,
- (LF) *Low-Frequencies* – Ronco,
- (LFVB) Ronco, com percepção moderada da vibração do recinto,
- (LFVA) Ronco, com clara percepção da vibração das superfícies do recinto,
- (MF) *Medium frequencies* – Rugido
- (HF) *High Frequencies* - Sibilo

A estimativa da satisfação dos usuários usando QAI (*quality assessment index*) assumindo que o nível do critério assumido não seja excedido, considera:

- $QAI \leq 5\text{dB}$, aceitável;
- $5\text{dB} < QAI \leq 10\text{ dB}$, perturbação perceptível porém marginal;
- $QAI > 10\text{ dB}$, desagradável.

6.2.1 Sala A, ponto de medição 1 (Figura 4)

A potência sonora da evaporadora do mini-split deste fabricante é de 62 dB(A). O RC obtido foi de 44 dB que é um nível aceitável (segundo ASHRAE 1998) somente para corredores e lobbies de escritórios. Além disso, o QAI está acima de 5 dB. Com QAI de 6,3 dB tem-se uma situação que a aceitação do conforto pelos usuários é questionável.

6.2.2 Sala A, ponto de medição 6 (Figura 5)

O RC obtido foi de 37 dB que é um nível aceitável para escritórios panorâmicos, entretanto o QAI está acima de 5 dB. Com QAI de 8,2 dB tem-se uma situação que a aceitação do conforto pelos usuários é questionável.

6.2.3 Sala B, ponto de medição 2 (Figura 6)

A potência sonora da evaporadora do *mini-split* deste outro fabricante é de 60 dB(A). Nem o RC obtido, que foi de 46 dB, nem o QAI que foi maior do que 5 dB, estão dentro dos níveis aceitáveis para escritórios. Com QAI de 6,1 tem-se uma situação que a aceitação do conforto pelos usuários é questionável, neste caso, também pela presença de ruído de baixa freqüência.

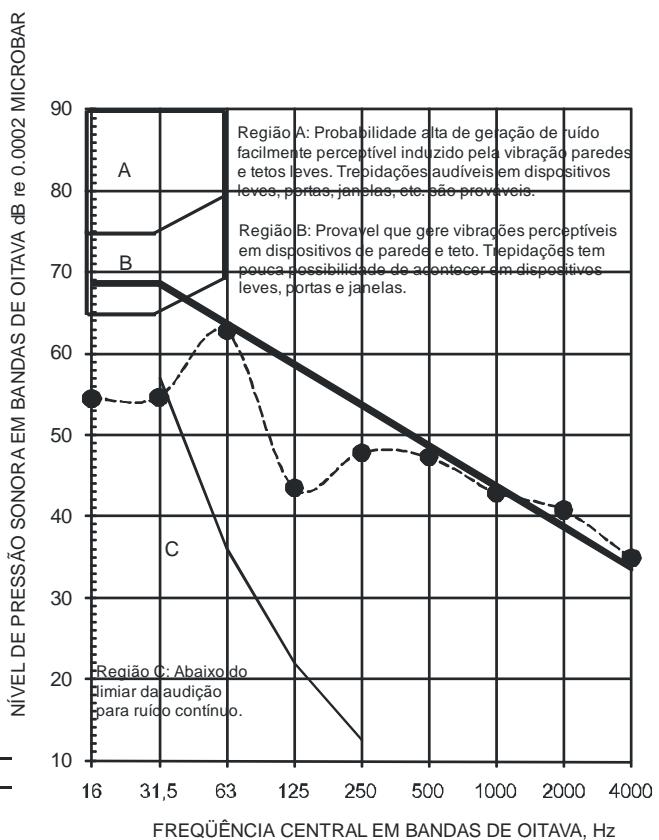
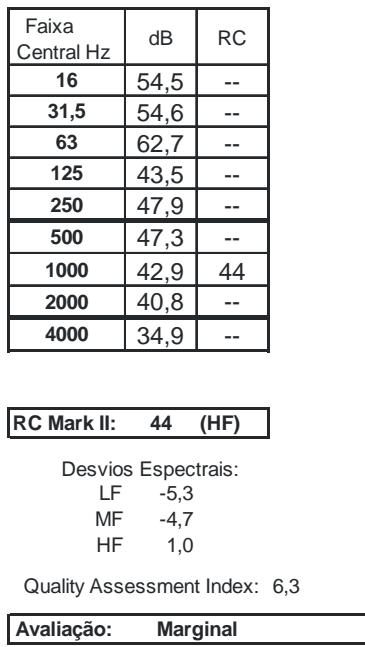


Figura 4 – Avaliação pelas curvas RC Mark II para o ponto de medição 1 da sala A.

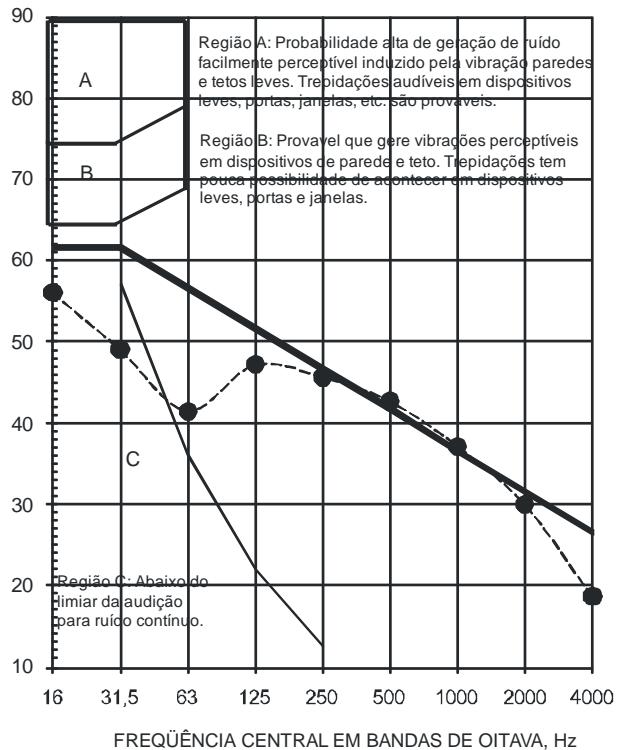
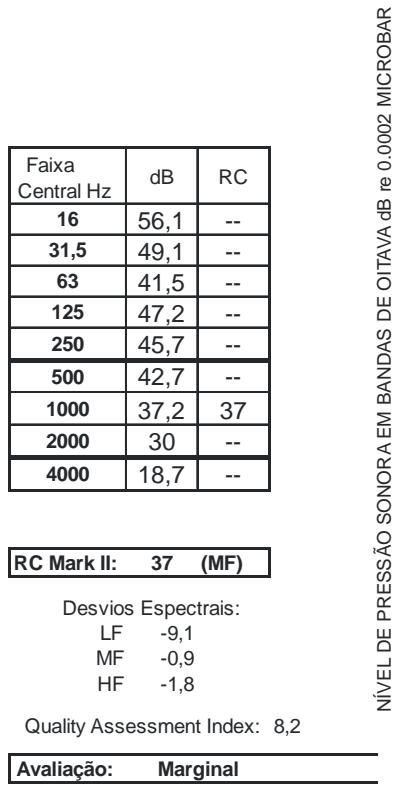


Figura 5 – Avaliação pelas curvas RC Mark II para o ponto de medição 6 da sala A.

Faixa Central Hz	dB	RC
16	45,9	--
31,5	45,5	--
63	72,4	--
125	38,6	--
250	44,9	--
500	50,9	--
1000	46,2	46
2000	41,5	--
4000	33,9	--

RC Mark II: 46 (LF)

Desvios Espectrais:
 LF 1,4
 MF -4,7
 HF -0,5

Quality Assessment Index: 6,1

Avaliação: Marginal

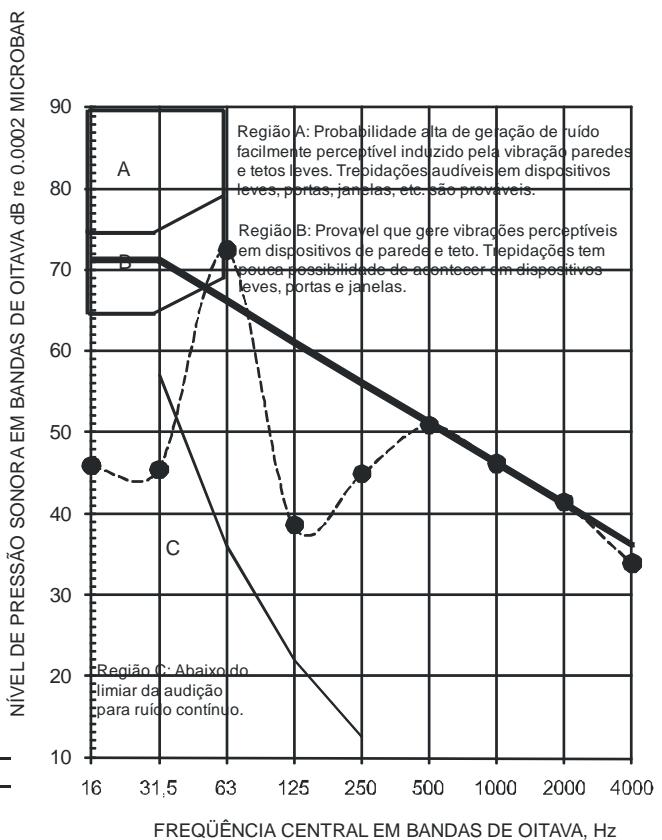


Figura 6 – Avaliação pelas curvas RC Mark II para o ponto de medição 2 da sala B.

Faixa Central Hz	dB	RC
16	51,2	--
31,5	48,7	--
63	57,4	--
125	41,3	--
250	43,6	--
500	38	--
1000	38,2	38
2000	37	--
4000	32	--

RC Mark II: 38 (HF)

Desvios Espectrais:
 LF -4,6
 MF -5,8
 HF 3,3

Quality Assessment Index: 9,1

Avaliação: Marginal

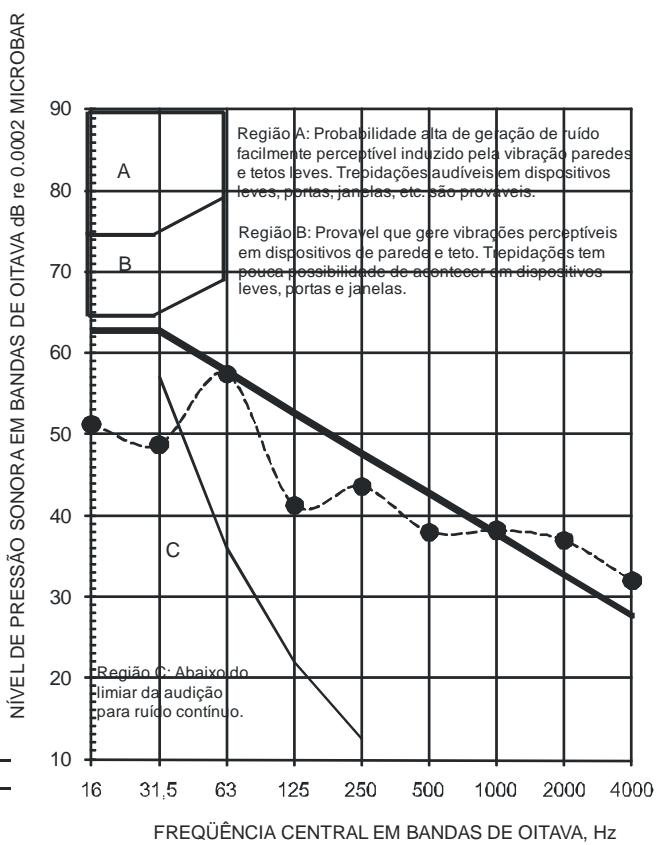


Figura 7 – Avaliação pelas curvas RC Mark II para o ponto de medição 6 da sala B.

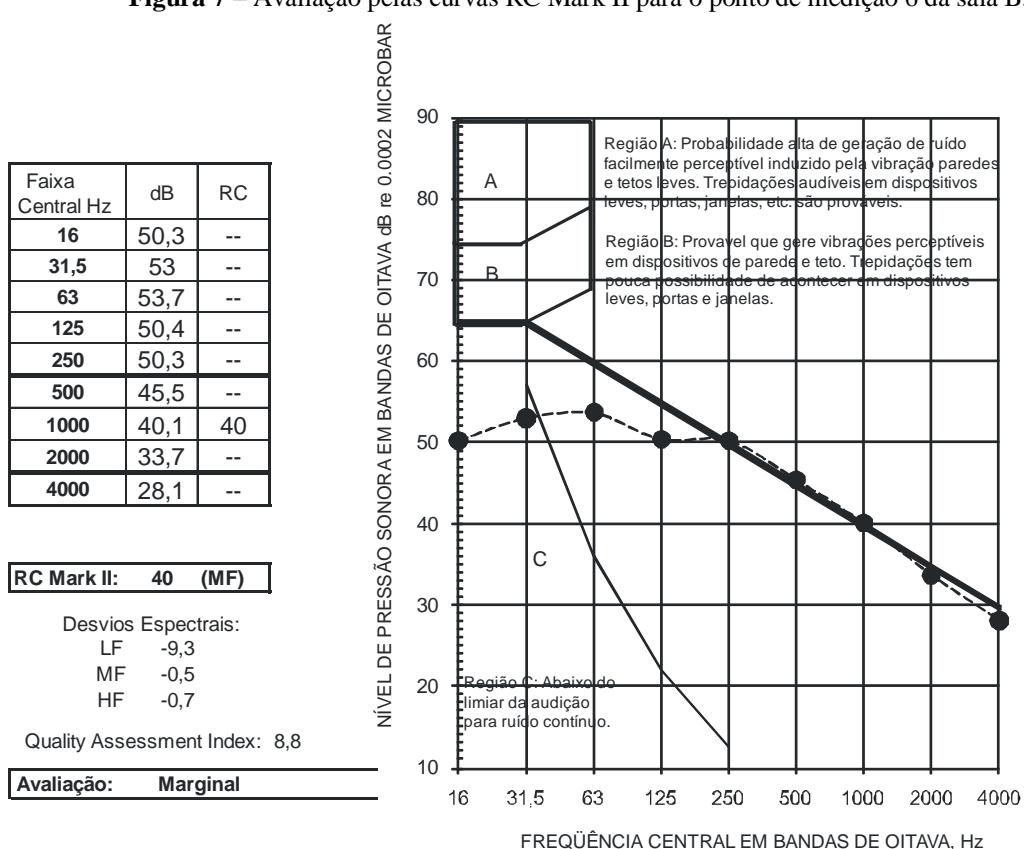


Figura 8 – Avaliação pelas curvas RC Mark II para o ponto de medição 1 da sala C.

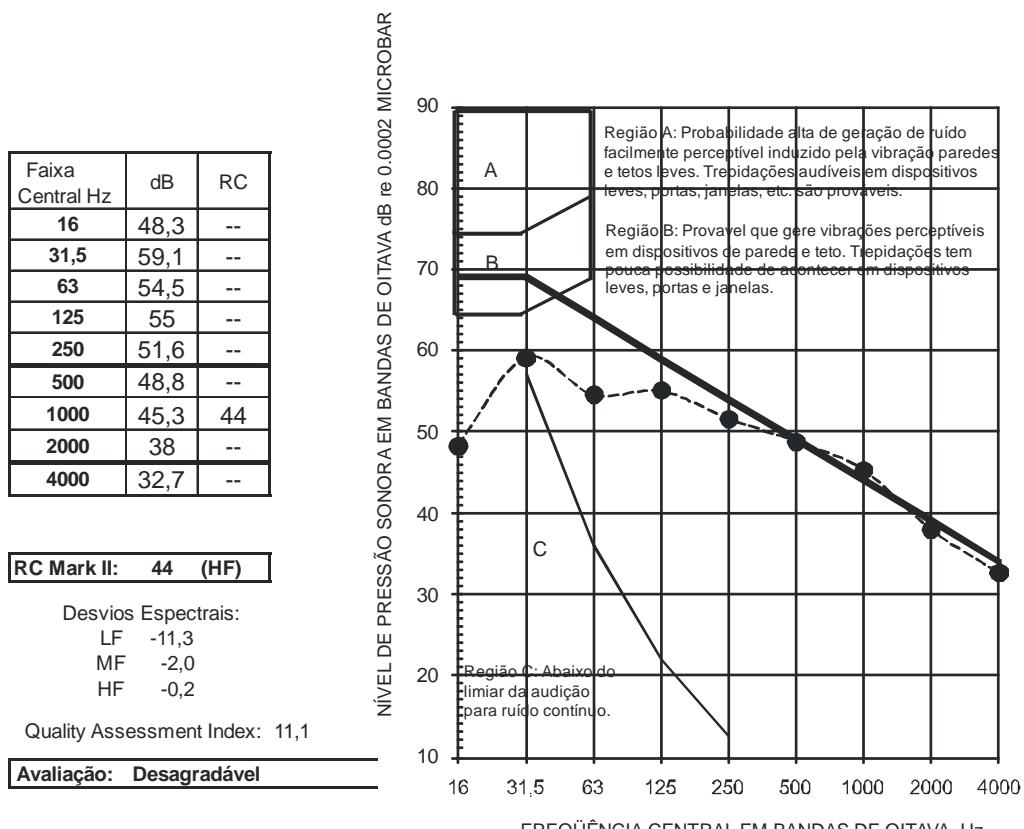


Figura 9 – Avaliação pelas curvas RC Mark II para o ponto de medição 2 da sala C.

6.2.4 Sala B, ponto de medição 6 (Figura 7)

O RC obtido foi de 38 dB que é um nível aceitável para escritórios panorâmicos, entretanto o QAI está acima de 5dB. Com QAI de 9,1 tem-se uma situação que a aceitação do conforto pelos usuários é questionável, porém, aqui devido a componentes de alta freqüência.

6.2.5 Sala C, ponto de medição 1 (Figura 8).

A potência sonora do *self-contained* com o compressor ligado é de aproximadamente 79 dB(A). O RC obtido foi de 40 dB que é um nível aceitável para escritórios panorâmicos. Entretanto o QAI está acima de 5 dB. Com QAI de 8,8 dB tem-se uma situação que a aceitação do conforto pelos usuários é fortemente questionável.

6.2.6 Sala C, ponto de medição 2 (Figura 9).

O RC obtido foi de 44 que é um nível aceitável somente para corredores e lobbies de escritórios, entretanto o QAI está acima de 5 dB. Com QAI de 11,1 tem-se uma situação em que o ambiente provavelmente está desagradável para o usuário.

7 CONCLUSÕES

Dentro de um mesmo recinto existiam áreas que atendiam minimamente ao conforto acústico dos usuários bem como outras áreas em que a sensação de desconforto predomina. Isso se deve tanto a níveis de potência sonora elevados dos equipamentos de climatização, que são função direta da grande carga térmica a ser retirada, quanto à diferença de absorção sonora ao longo do ambiente, decorrente de uma distribuição heterogênea de mobiliário. No caso dos sistemas mini-splits, a heterogeneidade de absorção sonora é mais intensa pois eles estão instalados sobre grandes áreas envidraçadas e, portanto de elevada reflexão sonora.

Em especial, o ponto 2 da sala servida pelo *self-contained* sofre ação direta do ruído que vaza da sala de máquinas pelas grelhas de retorno do ar. Aqui é necessário o uso de atenuadores sonoros nessas grelhas, bem como o aumento da absorção sonora do interior da citada sala de máquinas.

8 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**: Sound and Vibration Fundamentals, chapter 8, ASHRAE, Atlanta, USA, 2009.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook of Applications**, ASHRAE, Atlanta, USA, 1998.

AYR, U.; CIRILLO,E; MARTELLOTTA, F. An experimental study on noise indices in air conditioned offices. **Applied Acoustics** 62 (2001) 633-643.

CROCKER, M.J.; ARENAS,J; DYAMANNAVAR, R.E. **Identification of noise sources on a residential split-system air-conditioner using sound intensity measurements**. Applied Acoustics 65 (2004) 545-558.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 3746**: 1995. Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane.

STOECKER, W.F.; JONES, J.W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1985.