



TÉCNICO
LISBOA

Compatibilização entre Ventilação e Isolamento Sonoro

Amortecimento Sonoro em Aberturas de Ventilação

André Tomás Madruga

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador

Professor Doutor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Júri

Presidente: Professor Doutor Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Orientador: Professor Doutor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Vogal: Professor Doutor Daniel Aelenei

Novembro de 2017

Resumo

De forma a cumprir com as exigências humanas na habitação, surge a necessidade de garantir o conforto acústico e a pureza do ar interior. Essas exigências encontram-se atualmente regulamentadas no estado português, mas de forma pouco precisa

Uma das formas de introduzir ar limpo num compartimento é através da realização de aberturas nas paredes exteriores, as quais se consideram como tendo uma redução sonora nula na fase de projeto. Esta simplificação pode ser excessivamente conservativa, fazendo com que seja necessário aumentar o isolamento sonoro nas paredes para compensar essa baixa redução sonora.

O objetivo desta dissertação é estudar o fenómeno de redução sonora que ocorre nessas aberturas de forma a desenvolver um método previsionial simplificado mais preciso.

Para se atingir esse objetivo, foram analisados 1440 casos de estudo, com variações de área e volume, bem como classes de caixilharia e das formas de aberturas. Estes casos de estudo foram analisados em termos do seu desempenho ao nível do isolamento sonoro com base nos métodos previsionais da norma EN 12354-1 e, nos casos em que esta era insuficiente, no método de Sharp, os quais foram combinados com os modelos de Wilson e Soroka e de Gomperts para a análise particular das aberturas.

Por fim criou-se uma envolvente à diferença entre os resultados obtidos através do método detalhado nesta dissertação e do método tradicional, de forma a propor correções a aplicar ao método de cálculo tradicional utilizado atualmente na fase de projeto, e muito mais expedito.

Palavras-chave

Ventilação

Isolamento sonoro

Aberturas

Abstract

In order to comply with the human requirements in the habitation, the need arises to guarantee the acoustic comfort and the purity of the interior air. These requirements are currently regulated in the Portuguese state, but not in a very precise way.

One way of introducing clean air into a compartment is through the provision of openings in the outer walls, which are considered to have zero noise reduction at the design stage. This simplification can be excessively conservative, making it necessary to increase the sound insulation on the walls to compensate for this low noise reduction.

The objective of this dissertation is to study the sound reduction phenomenon that occurs in these openings in order to develop a more accurate simplified forecasting method.

In order to reach this goal, 1440 case studies were analyzed, with variations of area and volume, as well as classes of frames and shapes of openings. These case studies were analyzed in terms of their sound insulation performance based on the predictive methods of EN 12354-1 and, where this was insufficient, the Sharp method, which were combined with the Wilson and Soroka and Gomperts models for the particular analysis of openings.

Finally, it was created an envelope for the difference between the results obtained through the method detailed in this dissertation and the traditional method, in order to propose corrections to apply to the traditional calculation method currently used in the design phase, and much more expeditious.

Key-words

Ventilation

Sound proofing

Openings

Agradecimentos

Deixo os meus agradecimentos aos meus pais pela oportunidade que me concederam e aos meus amigos Albino Silva e Leo Soares pela paciência e apoio que me forneceram. Deixo também os meus agradecimentos ao meu orientador pelo acompanhamento ao longo desta dissertação.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação e objetivos	1
1.2	Estrutura	1
2	Exigências Funcionais e Regulamentação	3
2.1	Introdução.....	3
2.2	Exigências de habitabilidade	5
2.2.1	Exigências de espaço	5
2.2.2	Exigências de higiene	5
2.2.3	Exigências de estanquidade	9
2.2.4	Exigências de conforto higrotérmico	12
2.2.5	Exigências de conforto acústico.....	13
2.2.6	Exigências de conforto visual.....	15
2.2.7	Exigências de aspeto	17
2.3	Exigências de economia.....	17
2.4	Verificação da satisfação das exigências.....	17
2.4.1	Exigências de ventilação.....	18
2.4.2	Exigências de conforto acústico.....	21
3	Casos de estudo	31
3.1	Introdução.....	31
3.2	Definição dos casos de estudo.....	31
3.3	Cálculo dos caudais de ventilação.....	31
3.4	Aberturas de ventilação.....	32
3.5	Redução sonora das aberturas.....	33
3.6	Redução sonora dos elementos de fachada	38
3.7	Exemplo de aplicação do método	39
4	Análise de resultados dos casos de estudo	53
4.1	Introdução.....	53

4.2	Única abertura circular – Wilson e Soroka	54
4.3	Múltiplas aberturas circulares – Wilson e Soroka	59
4.4	Única abertura quadrada - Wilson e Soroka.....	64
4.5	Múltiplas aberturas retangulares - Wilson e Soroka.....	69
4.6	Efeito do número de aberturas	74
4.7	Correções ao método simplificado	78
5	Conclusões	81

Lista de abreviaturas e símbolos

Latim maiúsculo

$A_{abertura}$	(m^2)	Área da abertura
A_{janela}	(m^2)	Área da janela
C	(-)	Constante
C_d	(-)	Coefficiente de descarga
D_{nT}	(dB)	Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos
$D_{nT,w}$	(dB)	Valor único de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos
$D_{2m,nT}$	(dB)	Isolamento sonoro a sons de condução aérea nas paredes exteriores
$D_{2m,nT,w}$	(dB)	Valor único de isolamento sonoro a sons de condução aérea nas paredes exteriores
E	($W \cdot h \cdot h^{-1}$)	Fluxo de calor
E'	(Pa)	Módulo de elasticidade
E_c	(J)	Energia cinética
E_p	(J)	Energia potencial
K	(rad)	Produto do número de onda pelo raio da abertura
L_a	(-)	Razão entre a profundidade e o raio da abertura
L_l	(-)	Razão entre a profundidade e a largura da abertura
L_p	(dB)	Nível de pressão sonora
L_1	(dB)	Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor
$L_{1,2m}$	(dB)	Nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada
L_2	(dB)	Nível médio de pressão sonora no compartimento recetor
P	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Produção de poluentes no interior do compartimento
Q	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal
$Q_{abertura}$	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal que passa na abertura
$Q_{dimensionamento}$	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal de dimensionamento para o compartimento em questão
$Q_{c,in}$	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal de entrada com a respetiva concentração de poluentes
Q_n	(KW)	Potência nominal do equipamento
$Q_{c,out}$	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal de saída com a respetiva concentração de poluentes
$Q_{permeabilidade}$	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal permeado pela janela
Q_{tipo}	($m^3 \cdot h^{-1}$)	Caudal-tipo
Q_{100}	($m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$)	Caudal de referência a 100Pa
R	(dB)	Redução sonora
RPH	(h^{-1})	Renovação horária do ar no compartimento
R_w	(dB)	Valor único de redução sonora
S	(m^2)	Área
T	(s)	Tempo de reverberação do compartimento recetor

TM_w	(dB)	Acréscimo de intensidade sonora devido à transmissão marginal
T_0	(s)	Tempo de reverberação de referência
V	(m ³)	Volume do compartimento

Latim minúsculo

a	(m)	Raio da abertura
b	(m)	Mínima distância entre as linhas que ligam os painéis
c	(m·s ⁻¹)	Velocidade do som
c_{in}	(-)	Concentração de poluentes à entrada
c_{out}	(-)	Concentração de poluentes à saída
c_L	(m·s ⁻¹)	Velocidade de propagação das ondas longitudinais
c_p	(J·Kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	Capacidade térmica do meio
d	(m)	Espessura da caixa de ar
e	(-)	Fator de correção da abertura
e'	(m)	Mínima distância entre os pontos que ligam os painéis
f	(Hz)	Frequência
f_c	(Hz)	Frequência crítica
$f_{c,eff}$	(Hz)	Frequência crítica efetiva
f_l	(Hz)	Frequência limitante
f_0	(Hz)	Frequência de ressonância da caixa de ar
g	(m·s ⁻²)	Aceleração da gravidade
h	(m)	Energia do escoamento
h_a	(m)	Profundidade da abertura
h_i	(m)	Espessura do pano i da parede
h_p	(m)	Espessura da parede
k	(rad·m ⁻¹)	Número de onda
l_1	(m)	Maior dimensão da parede
l_2	(m)	Menor dimensão da parede
m	(Kg)	Massa
m'	(-)	Coefficiente corretivo devido ao campo sonoro
m_s	(kg·m ⁻²)	Massa superficial
n	(-)	Coefficiente corretivo devido à localização da abertura
p	(Pa)	Pressão
p_{ref}	(Pa)	Pressão sonora de referência
v	(m·s ⁻¹)	Velocidade
x	(m)	Posição

Grego maiúsculo

Δp	(Pa)	Diferença de pressão
------------	------	----------------------

ΔR_w (dB) Redução sonora introduzida pela caixa de ar em paredes duplas

Grego minúsculo

α (-) Fator de correção da abertura
 η (-) Fator de perdas
 θ (°C) Temperatura
 λ (m) Comprimento de onda
 λ' ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$) Condutibilidade térmica do meio
 ν (-) Coeficiente de Poisson
 ρ ($\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$) Densidade
 $\sigma, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma'$ (-) Fator de radiação para ondas livres
 σ_f (-) Fator de radiação para transmissão forçada
 τ (dB) Coeficiente de transmissão sonora
 τ_c (dB) Coeficiente de transmissão sonora em aberturas circulares
 τ_s (dB) Coeficiente de transmissão sonora em fendas retangulares
 ω ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) Velocidade angular

1 Introdução

1.1 Motivação e objetivos

De forma a cumprir com os requisitos funcionais dos edifícios, principalmente para a satisfação das exigências de higiene do ar interior, estanquidade e conforto higrotérmico, surge a necessidade de realizar aberturas nas fachadas dos edifícios, as quais afetam negativamente a capacidade de o edifício satisfazer as exigências de conforto acústico, que garantem que o edifício tem um suficiente isolamento a sons externos ou internos. Tendo em conta esta incompatibilidade de soluções construtivas, surge a necessidade de avaliar o comportamento acústico dessas aberturas com o objetivo de minimizar os custos e assim satisfazer simultaneamente as exigências de economia.

Pretende-se estudar o efeito de redução sonora existente nas aberturas de ventilação efetuando a associação entre a dimensão e forma da abertura e a frequência da onda sonora incidente. Para isso serão analisados um conjunto de 1440 casos de estudo, correspondentes a situações correntes em edifícios de habitação e de prestação de serviços, efetuando uma análise aos requisitos de espaço, ventilação e posteriormente de conforto acústico. Nesta análise serão estudadas várias soluções construtivas de paredes e de aberturas, as quais serão analisadas através do modelo de Sharp (sistemas duplos), norma EN 12354-1 (sistemas simples), Wilson e Soroka e Gomperts (aberturas). Por fim, serão propostas correções a aplicar ao método de cálculo simplificado, usualmente aplicado em projeto e mais expedito.

1.2 Estrutura

No capítulo 2 vão-se introduzir alguns conceitos teóricos acerca das exigências humanas nos edifícios, principalmente as exigências funcionais, juntamente com as respetivas especificações de comportamento em serviço e legislação em vigor, com principal destaque para as exigências de ventilação e de conforto acústico.

No capítulo 3 será explicado e exemplificado o procedimento de cálculo detalhado, justificando-se as decisões tomadas.

No capítulo 4 serão apresentados e analisados os resultados obtidos, comparando o método de cálculo detalhado com o método simplificado, utilizado atualmente.

Por fim, no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões retiradas desta dissertação.

2 Exigências Funcionais e Regulamentação

2.1 Introdução

Edificar é resolver o problema posto pela satisfação das exigências dos utentes no desempenho das funções para as quais o edifício é concebido. Esta solução deve ser efetuada numa base científica, especificando corretamente as qualidades a apresentar pelo edifício, devendo estas serem validadas por processos científicos.

O utente do edifício é o ser humano, animal, mercadoria ou equipamento para o qual, ou atendendo à necessidade de cuja intervenção, o edifício é concebido. Desta forma, é necessário definir as exigências de acordo com cada tipo de utente e com o tipo de atividade que esse utente irá desempenhar no edifício.

Tendo em conta o âmbito desta dissertação, focam-se aqui apenas as necessidades do ser humano na habitação, as quais têm sido enumeradas em várias listas por vários autores. Na Tabela 1 apresentam-se as exigências humanas em edifícios propostos por D'Havé.

Tabela 1: Exigências humanas em edifícios [1].

Fisiológicas	De segurança	De estabilidade De segurança ao fogo De segurança contra as agressões
	Sensoriais	Auditivas Olfativas Tácteis Visuais Gustativas
	Relativas às trocas do corpo humano com o ambiente	Higrométricas Respiratórias Relativas à alimentação e à eliminação de matérias usadas
	Relativas aos movimentos e manipulações	Relativas aos movimentos impostos ao corpo humano Relativas à circulação Relativas à manobra de equipamento
Psicológicas	De sensação de proteção De sensação de intimidade De sensação de apropriação dos espaços	
Sociológicas	De proteção contra intrusões, roubos e agressões	
	De adaptação às atividades	Relativas a cada atividade Relativas às relações entre atividades De adaptabilidade
	De aspeto	Aspeto do conjunto Aspeto dos componentes Visão do mundo exterior
	De personalização	Afirmação da personalidade do grupo Afirmação da personalidade de cada indivíduo
Económicas	De limitação das despesas de investimento	
	De limitação das despesas de funcionamento	Limitação do consumo de energia Limitação dos encargos de manutenção
	De durabilidade	

Destas exigências podem-se extrapolar as exigências funcionais, consideradas com requisitos que as exigências humanas colocam à utilização do edifício ou uma parte do mesmo. Existem também várias listas de exigências funcionais aplicáveis nos edifícios, destacando-se na presente dissertação, as exigências funcionais propostas por R. Gomes (Tabela 2).

Tabela 2: Exigências funcionais das habitações [2].

De segurança	De segurança estrutural	Sob cargas de serviço Sob solicitações de ocorrências excecional Sob solicitações acidentais
	De segurança em face de incêndio	
	De segurança na ocupação e no uso	Nos acessos e circulação na habitação Em equipamentos da habitação Proteção contra quedas de andares elevados
De saúde	De saúde por equilíbrio higrotérmico	
	De saúde por condições de higiene	Relativas a abastecimento de água Relativas a higiene pessoal Relativas a evacuação de águas e esgotos Relativas a pureza do ar ambiente Relativas a limpeza e desinfeção da habitação
De conforto	De conforto acústico De conforto visual De conforto por disponibilidade e relações de espaço	
De satisfação		
De economia		

Estas exigências podem ser agrupadas em três grandes grupos, que incluem as exigências de segurança (que garantem a proteção da vida); habitabilidade (que garantem a realização de diversas atividades sem prejuízo para a saúde e com um dado nível de comodidade e satisfação); e de economia (que condicionam as outras, especialmente na quantificação da conservação dos níveis de qualidade formulados). Destes três grandes grupos, apenas se abordarão de forma mais detalhada as exigências de habitabilidade e economia, as quais podem ser organizadas por níveis, de acordo com a Figura 1.

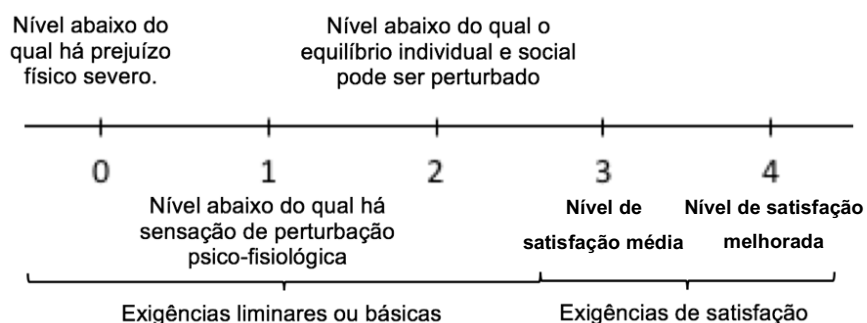


Figura 1: Níveis de formulação de exigências de habitabilidade e economia, adaptado de [3].

As exigências básicas são aquelas que, em caso de incumprimento, colocam em causa a existência do utente e o ambiente que o rodeia. As exigências de satisfação não colocam em causa a

sobrevivência do utente, mas visam melhorar a sua estadia no edifício, podendo ser estabelecidos diferentes níveis de satisfação [4].

2.2 Exigências de habitabilidade

As exigências de habitabilidade, consideradas na presente dissertação, no contexto do clima e de exposição ao ruído e à poluição do ar em que o edifício se insere, levam à definição de especificações de comportamento em serviço em função de indicadores de desempenho. Estas especificações devem descrever a exigência a satisfazer, o modo de expressão da exigência e a forma de verificação ou avaliação em serviço (ou em fase de projeto).

2.2.1 Exigências de espaço

As exigências de espaço estão relacionadas com a volumetria, relações entre dimensões e inter-relação entre os espaços de modo a permitir a realização das diversas funções inerentes ao modo de vida dos utentes. Estas exigências estão parcialmente definidas no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU [5]). Nas Tabelas 3 e 4 apresenta-se um resumo dos valores mínimos de área bruta e de área útil (não inclui a espessura das paredes nem qualquer quota-parte de zonas comuns), recomendados pelo RGEU.

Tabela 3: Áreas brutas mínimas de acordo com o RGEU.

Tipologia do fogo	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T>6
Área bruta (m ²)	35	52	72	91	105	122	134	1,6 A _h *

*A_h: área habitável (área útil dos compartimentos principais e cozinhas)

Tabela 4: Áreas mínimas de compartimentos de acordo com o RGEU.

Número de compartimentos	2	3	4	5	6	7	8	Mais de 8
Tipologia do fogo	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T>6
Tipo de compartimento	Áreas (m ²)							
Quarto casal	-	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Quarto duplo	-	-	9	9	9	9	9	9
Quarto duplo	-	-	-	9	9	9	9	9
Quarto duplo	-	-	-	-	-	9	9	9
Quarto simples	-	-	-	-	6,5	6,5	6,5	6,5
Quarto simples	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5
Sala	10	10	12	12	12	16	16	16
Cozinha	6	6	6	6	6	6	6	6
Suplemento de área obrigatório	6	4	6	8	8	8	10	Nº de quartos + 4

2.2.2 Exigências de higiene

As exigências de higiene relacionam-se com a capacidade do edifício assegurar condições de higiene no decurso das funções para as quais foi projetado. Essas condições traduzem-se por satisfação de higiene pessoal (abastecimento de água potável, evacuação de águas residuais e pluviais e de outros detritos), pureza do ar ambiente e possibilidade de desinfeção e limpeza de cada

local que o compõe. No âmbito desta dissertação, a pureza do ar ambiente apresenta um papel fundamental, uma vez que a remoção de poluentes exige a uma troca de ar interior poluído (ou viciado) por ar exterior limpo (ou novo), em geral, através de aberturas.

De facto, o ar no interior dos edifícios deve ser mantido em condições satisfatórias para a saúde dos utilizadores, não contendo proporções excessivas de gases tóxicos, poeiras, aerossóis nocivos, etc., devendo existir a possibilidade de serem rapidamente evacuados. Na Tabela 5 apresentam-se os valores máximos admissíveis da concentração de alguns poluentes correntes em edifícios.

Tabela 5: Concentrações máximas admissíveis de poluentes [4].

	Monóxido de carbono (mg·m⁻³)	Dióxido de carbono (%)	Dióxido de azoto (µg·m⁻³)	Formaldeído (µg·m⁻³)	Radão (nCi·m⁻³)
Valor de ponta	40	0,12	470	120	-
Valor médio em período longo	-	0,06	-	-	1 - 3

Dependendo da taxa de produção do gás poluente a remover, o que, ilustrativamente, no caso do dióxido de carbono, depende do combustível utilizado, um aparelho de queima (Tabela 6) ou do metabolismo humano associado a cada tipo de atividade física (Tabela 7), poderão ser exigidos caudais consideráveis de renovação do ar para satisfazer as exigências da Tabela 5.

Porém, devido à existência de exigências de estanquidade, conforto termo higrométrico e de economia (na ótica da poupança com custos de energia), os caudais de renovação de ar deverão ser os mínimos que garantam condições não prejudiciais à saúde.

Tabela 6: Produção de poluentes de combustão.

Combustível	Dióxido de carbono (l·s⁻¹·kW⁻¹)
Gás natural	0,027
GPL	0,033
Querosene	0,034
Coque	0,048
Antracite	0,048

Tabela 7: Produção de poluentes devido à atividade humana.

Atividade	Dióxido de carbono (g·h⁻¹)
Repouso	0,004
Trabalho leve	0,0064 a 0,0128
Trabalho moderado	0,0128 a 0,0192
Trabalho pesado	0,0192 a 0,026
Trabalho muito pesado	0,026 a 0,32

De forma a contabilizar o caudal necessário para a remoção dos poluentes, parte-se do princípio que o caudal de poluente que sai do compartimento $Q_{c,out}$ é o resultado do caudal de entrada, $Q_{c,in}$ acrescido da produção de poluentes nesse compartimento.

$$Q_{c,in} + P = Q_{c,out} ,$$

onde:

$Q_{c,in}$: caudal de entrada com a respetiva concentração de poluentes ($m^3 \cdot h^{-1}$);
 P : produção de poluentes no interior do compartimento ($m^3 \cdot h^{-1}$);
 $Q_{c,out}$: caudal de saída com a respetiva concentração de poluentes ($m^3 \cdot h^{-1}$).

Resolvendo a equação (1) em ordem ao caudal verifica-se que o caudal em regime permanente corresponde à produção de poluentes dividida pela diferença entre as concentrações à saída e à entrada.

$$Q = \frac{P}{c_{out} - c_{in}} = RPH \cdot V ,$$

$$\Leftrightarrow RPH = \frac{P}{V(c_i - c_e)} ,$$

onde:

RPH : renovação horária do ar no compartimento (h^{-1});
 P : produção de poluentes no interior do compartimento ($m^3 \cdot h^{-1}$);
 c_{out} : concentração de poluentes à saída;
 c_{in} : concentração de poluentes à entrada;
 V : volume do compartimento (m^3).

Sabendo o caudal necessário, resta calcular a área de abertura necessária à sua passagem. Assume-se que a renovação do ar é garantida essencialmente por ação do vento, com conservação de energia (4), pelo que a energia potencial iguala, em cada momento, a energia cinética, resultando na equação (5).

$$E_p = E_c \Leftrightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2 ,$$

$$\Leftrightarrow v^2 = 2gh \Leftrightarrow v = \sqrt{2gh} ,$$

onde:

E_p : energia potencial (J);
 E_c : energia cinética (J);
 m : massa (kg);
 g : aceleração da gravidade ($\approx 9,8m \cdot s^{-2}$);
 h : energia do escoamento (m);
 v : velocidade do escoamento ($m \cdot s^{-1}$).

Como a cota piezométrica h representa a energia do escoamento, resulta, da aplicação do Teorema de Bernoulli (6),

$$h = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\rho g},$$

pelo que

(6)

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\rho g}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

onde:

(7)

p : pressão (Pa);

ρ : densidade do fluido ($\approx 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ para o ar em torno dos 15 a 20°C).

Da aplicação da equação de continuidade,

$$Q = S \cdot v,$$

resulta então

(8)

$$Q = S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

onde:

(9)

Q : caudal de ar em renovação ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$);

S : área da abertura de passagem de ar (m^2).

Como o escoamento através de pequenas aberturas sofre efeitos de contração, que dependem da geometria da abertura, também o caudal será afetado por essa contração, o que pode ser tido em conta através de um coeficiente de descarga C_d a introduzir na eq. (9).

$$Q = C_d S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

(10)

Em termos de conforto térmico, a ventilação desempenha um papel importante na estação quente através do varrimento das cargas térmicas no período noturno, permitindo ainda que a existência dum maior gradiente de temperatura provoque um aumento da velocidade do ar em cerca de 2 a 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, gerando uma sensação de arrefecimento na pele na ordem dos 3 a 4°C.

Em relação à concentração do vapor de água, a ventilação tem a função de manter a humidade do ambiente interior em níveis inferiores ao ponto de condensação, principalmente nos compartimentos de serviço, de forma a evitar a formação de condensações nas superfícies interiores do compartimento.

2.2.3 Exigências de estanquidade

As exigências de estanquidade relacionam-se com a capacidade do edifício bloquear a entrada de ar, gases, água, poeiras e outros materiais sólidos.

A presença de humidade nos edifícios afeta gravemente a sua funcionalidade, reduzindo a durabilidade dos materiais e as condições de habitabilidade. A humidade pode ter várias origens, podendo ser agrupada em humidade de obra, ascensorial, por fenómenos de higroscopicidade, infiltração, condensação, e devida a causas fortuitas.

A humidade de obra deve-se à utilização de água no fabrico dos materiais e é normalmente eliminada nos primeiros seis a doze meses após a conclusão da obra. Esta água é acrescida da água das chuvas durante a construção.

A humidade ascensorial deve-se à absorção de água por fenómenos de capilaridade em paredes e pavimentos térreos com deficiente isolamento.

A humidade higroscópica deve-se ao facto de vários materiais utilizados na construção conterem sais com propriedades higroscópicas. Para humidades relativas da ordem dos 65 a 70% os sais dissolvem-se, voltando a cristalizar, mas com grande aumento de volume, provocando eflorescências ou criptoflorescências, consoante se localizem no exterior ou no interior dos elementos construtivos, respetivamente.

A humidade de infiltração deve-se à penetração da água da chuva através de fissuras e juntas de construção. Este tipo de humidade é caracterizado por manchas que, no tempo seco, secam e deixam auréolas concêntricas.

A humidade de condensação deve-se à condensação da humidade existente no ar em superfícies mais frias. Esta condensação está associada a ambientes húmidos e frios ou fracamente ventilados. Reunidas estas condições, a humidade do ar pode atingir o limite máximo permitido para o estado de vapor, definido por uma humidade relativa (relação entre a massa de vapor de água num dado volume de ar húmido e a massa de vapor de água num dado volume de ar saturado) de 100%. A temperatura para a qual uma determinada pressão de vapor atinge o ponto de saturação é designada como ponto de orvalho. Como nos edifícios pode existir um grande gradiente térmico entre o interior e o exterior, é possível que o ponto de orvalho se situe na superfície interior ou mesmo no interior das paredes exteriores. Em resultado disso, podem desenvolver-se, fungos ou bolores que podem ser prejudiciais para a saúde humana. Tendo em conta que a pressão de vapor varia ao longo dos elementos constituintes das fachadas e coberturas, em determinados casos podem ser colocadas barreiras pára-vapor para controlar essa pressão, principalmente quando se tratam de pontes térmicas. No entanto, a atual regulamentação térmica procura prevenir a ocorrência deste tipo de humidade, tendo em conta a elevada frequência com que ocorre em edifícios.

A título de exemplo, apresentam-se os valores típicos de produção de vapor de água numa habitação nas Tabelas 8 a 10 [4].

Tabela 8: Produção de vapor de água [4].

Atividade	Produção de vapor de água (g·dia ⁻¹)
Cozinhar	2000 a 3000
Lavagem de louça	400
Banho (por pessoa)	200
Lavagem de roupa	500
Secagem de roupa no interior	1500

Tabela 9: Produção de humidade na combustão [4].

Combustível	Vapor de água (g·h ⁻¹ ·KW ⁻¹)
Gás natural	150
GPL	130
Querosene	100
Coque	30
Antracite	10

Tabela 10: Produção de humidade devido à atividade humana [4].

Atividade	Vapor de água (g·h ⁻¹)
Repouso	40
Trabalho leve	50
Trabalho moderado	50
Trabalho pesado	50
Trabalho muito pesado	50

A satisfação das exigências de remoção de vapor de água baseia-se na utilização de cartas psicrométricas (Figura 2) que relacionam a temperatura do ar seco, temperatura do ar húmido, humidade relativa, entre outras.

A remoção de humidades pode ser efetuada de duas formas: remoção do vapor produzido no interior e controlo de humidades de condensação.

A remoção do vapor de água produzido no interior pode ser efetuada através do equilíbrio dos caudais de entrada e de saída de vapor de água, sendo em geral conhecidos os valores de humidade relativa dos ambientes interior e exterior.

$$p_w = H_R p_s = \rho_w R_w T = \rho_w R_w (273,15 + \theta) , \quad (11)$$

Assim, tem-se

$$Q_{w,in} + P_w = Q_{w,out} \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow Q_{\rho w,in} + P_w = Q_{\rho w,out} \quad (13)$$

$$\Leftrightarrow Q = \frac{P_w}{\rho_{w,in} - \rho_{w,out}} \quad (14)$$

$$\Leftrightarrow RPH = \frac{P_w}{V(\rho_{w,in} - \rho_{w,out})} \quad (15)$$

O controlo de humidades de condensação pode ser efetuado de duas formas. Através da redução dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos de fachada e cobertura de modo a aumentar a temperatura da superfície interior desses elementos, aumentando assim a sua capacidade de conter vapor de água no estado gasoso. A outra visa baixar a humidade relativa interior do compartimento de modo a reduzir a concentração de vapor de água, aproximando assim o ponto de orvalho da temperatura superficial. Tal pode ser conseguido à custa da renovação de ar calculada com base na fórmula atrás apresentada.

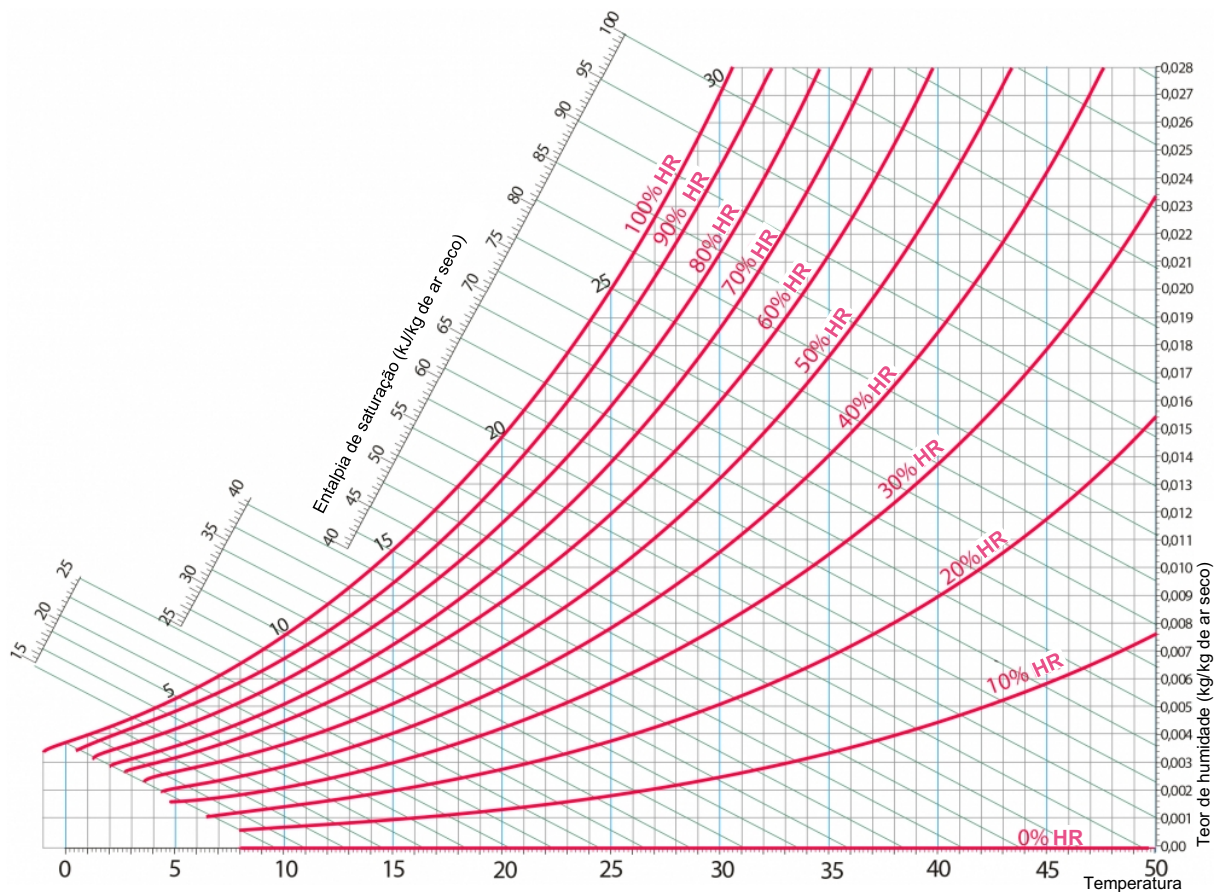


Figura 2: Carta psicrométrica [6].

De forma a facilitar a consulta do gráfico, foi criado o ábaco da Figura 3 em que, para além de se relacionar a humidade relativa com a temperatura, também é efetuada a relação com a quantidade de vapor produzida no interior do compartimento.

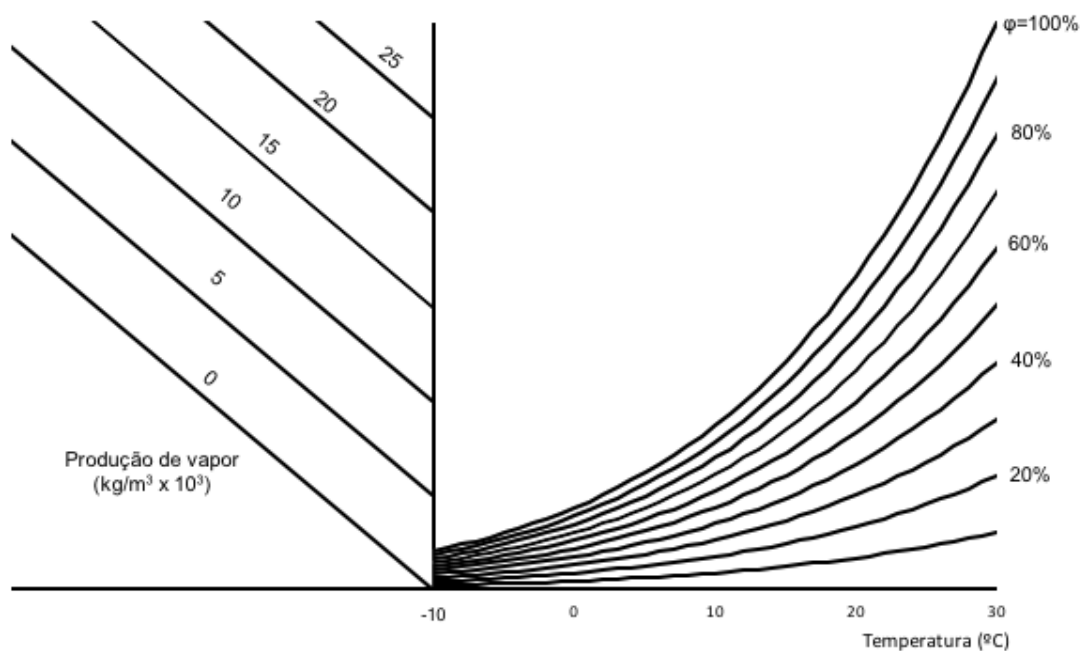


Figura 3: Ábaco que relaciona a carta psicrométrica com a produção de vapor [7].

A humidade devida a causas fortuitas deve-se, como o próprio nome indica, a causas acidentais, como, a título de exemplo, o rebentamento de canos, e regra geral são de pouca duração e com pouco impacto a médio e longo prazo, sendo eliminada dentro de dias a semanas [8].

2.2.4 Exigências de conforto higrotérmico

As exigências de conforto higrotérmico garantem que não existem trocas de calor exageradas entre o interior do edifício e o exterior e entre compartimentos, garantindo simultaneamente o conforto no verão e no inverno. Posto isto, existem três formas de transmissão de calor: condução, convecção e radiação.

Na transmissão através de condução, as partículas com mais energia (mais quentes) chocam com as partículas com menos energia e transferem a energia na colisão. Este método exige contacto físico entre os dois sistemas.

Na transmissão através de convecção, não está em causa o choque entre partículas, mas sim o transporte macroscópico de massas de matéria entre dois sistemas com temperaturas diferentes. No caso de edifícios, são definidas a convecção ar-sólido onde a transferência de calor ocorre entre o ambiente e as superfícies das paredes exteriores e a convecção ar-ar onde a transferência de calor ocorre através de aberturas, condutas e juntas, por contacto entre ar exterior e ar interior a temperaturas diferentes.

A troca de calor pode ser dada por

$$E = \rho_{ar} c_p \frac{RPH}{3600} \cdot V \cdot \Delta\theta \approx 0,34RPH \cdot V \cdot \Delta\theta, \quad (16)$$

onde:

E : fluxo de calor ($W \cdot h \cdot h^{-1}$);

c_p : calor específico do ar a pressão ambiente ($\approx 1000 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$);

$\Delta\theta$: variação de temperaturas entre os ambientes interior e exterior ($^\circ\text{C}$).

Por fim, a transmissão de calor por radiação deve-se ao facto de um corpo emitir radiação eletromagnética devido à sua temperatura. Esta radiação encontra-se maioritariamente na região dos infravermelhos para as situações do nosso dia a dia, mas também pode alcançar os ultravioletas, como no caso das lâmpadas incandescentes. Quando essa radiação atinge um corpo, parte é refletida e parte é absorvida, influenciando a temperatura do corpo. Ao contrário dos outros meios de transmissão, a radiação eletromagnética transmite-se no vácuo, pelo que não necessita de um meio de transmissão.

Para além do acréscimo de custo energético, um mau isolamento térmico, em particular em zonas de ponte térmica, pode levar ao aparecimento de condensações [9], caso referido em 2.2.3.

Para regulamentar esta necessidade, atualmente está em vigor o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) [10], o qual impõe restrições de resistência térmica, fluxo de calor, renovação de ar, entre outras. É estipulado um valor mínimo de 0,6 renovações por hora na estação de arrefecimento, sendo que, no caso de existir um projeto de ventilação de acordo com a norma NP1037-1 ou NP1037-2 o valor a utilizar será o obtido através dessa norma.

Tendo em conta que a norma NP1037-1 é mais condicionante que o REH, será esse o procedimento a adotar na presente dissertação.

2.2.5 Exigências de conforto acústico

As exigências de conforto acústico visam garantir que os elementos da envolvente do edifício ou de separação dos compartimentos conferem isolamento sonoro suficiente, de modo a que o nível sonoro interior não exceda os limites admissíveis para a realização das funções para as quais o edifício foi projetado.

O som resulta de vibrações provocadas por variações de pressão e transmite-se no meio de propagação sólido ou aéreo através de ondas mecânicas em que a amplitude corresponde à intensidade e a frequência ao tom. Desta forma, obtêm-se campos de pressão nos compartimentos, os quais podem ter várias distribuições espaciais, sendo de destacar o campo difuso, o qual apresenta a mesma intensidade sonora em todos os pontos do espaço interior, ou, no exterior, o campo livre, com intensidade sonora reduzindo à medida que a distância à fonte sonora aumenta.

Uma vez que os valores de pressão sonora variam entre $20 \mu\text{Pa}$ (limite de audibilidade) e 200 Pa (limiar de dor), com uma variação entre estes dois limites de 10^7 , há necessidade de recorrer a uma escala logarítmica como a escala decibel (dB). Nesta escala, os níveis de pressão sonora são dados por

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_{ref}^2},$$

onde:

L_p : nível de pressão sonora (dB);

p : pressão sonora (Pa);

p_{ref} : pressão sonora de referência (= $2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

De acordo com a World Health Organization [11], o ruído excessivo danifica gravemente a saúde humana e interfere com a atividade diária das pessoas, podendo causar perturbações no sono, perturbações cardiovasculares e psicológicas, desempenho profissional reduzido e alterações de estado de humor e de comportamento social.

De forma a garantir um nível adequado de conforto acústico, são geralmente tidos como referência os valores referidos na Tabela 11.

Tabela 11: Limites do nível sonoro do ruído ambiente.

Atividade	Nível sonoro (dB)
Sono	25 a 30
Repouso	30 a 35
Trabalho intelectual	35 a 40
Trabalho doméstico	40 a 45

A título de exemplo, na Tabela 12 apresentam-se alguns valores de pressão sonora normalmente encontrados no dia a dia, juntamente com alguns limiares auditivos [12].

Tabela 12: Níveis de pressão sonora quotidianos.

Situação	Nível de pressão sonora - L(p) (dB)
Avião militar a descolar a 30m	140
Limiar da dor (curta exposição pode causar danos)	110
Martelo pneumático na posição do manobrador	110
Camiões pesados a 6m	90
Rua com tráfego pesado	85
Risco de danos auditivos se exposto 40h/semana	80
Carro elétrico a 10m	80
Escritório ruidoso	65
Rua com tráfego leve	50
Residência sossegada (dia)	50
Escritório normal	45
Residência sossegada (noite)	40
Dificuldade de concentração	30
Quarto (noite)	25
Limiar da audição	0

O ser humano tem a capacidade de ouvir sons com frequências situadas entre os 20Hz e os 20 000Hz. Tais ondas viajam no ar com comprimentos de onda dados por

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (18)$$

onde:

λ : comprimento de onda (m);
 c : velocidade do som ($\approx 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no ar);
 f : frequência (Hz).

O ser humano não apresenta a mesma capacidade auditiva em todas as frequências. Na Figura 4 apresenta-se a variação do limiar de audibilidade [13] e do limiar de dor com a frequência para um jovem saudável. Na mesma Figura apresentam-se curvas isofônicas que indicam os níveis sonoros necessários, em cada frequência, para obter uma sensação de intensidade sonora idêntica à registada para uma frequência de referência de 1000Hz

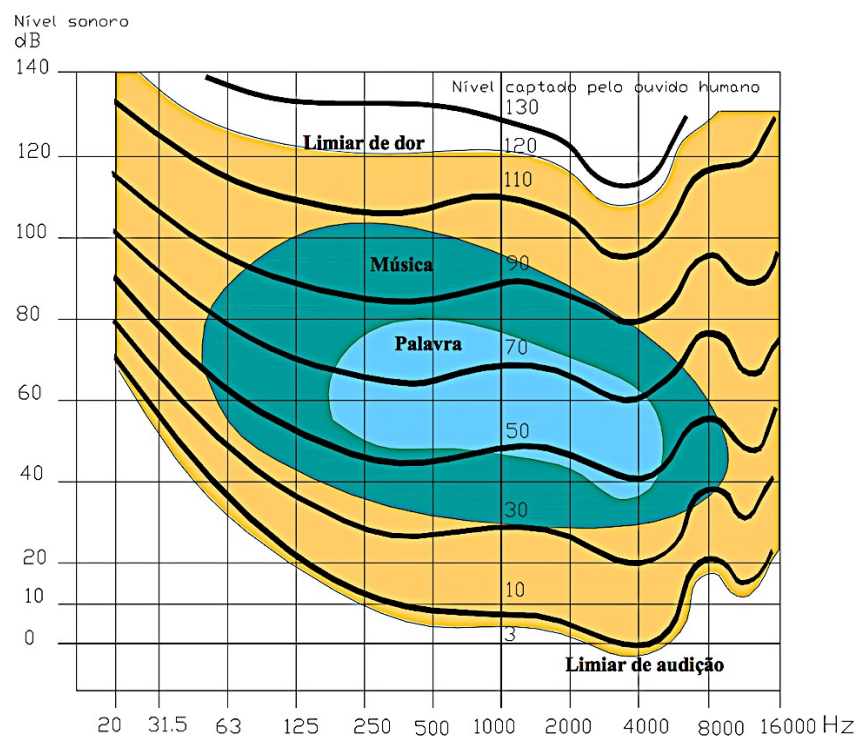


Figura 4: Limiar de audibilidade [13].

2.2.6 Exigências de conforto visual

As exigências de conforto visual garantem que o edifício deve dispor de níveis de iluminação que permitam o exercício das diversas atividades sem fadiga nem desconforto. Esta iluminação deve ser assegurada, sempre que possível, por meios naturais, recorrendo-se a meios artificiais no caso dos meios naturais serem insuficientes.

Em termos fisiológicos, o conforto visual é obtido reunindo um conjunto de condições que permitam que o ser humano desenvolva as suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão num determinado ambiente. Essas condições são a sensibilidade ao contraste, acuidade visual, e possibilidade de encadeamento.

A sensibilidade ao contraste mede a capacidade de distinguir a luminância (intensidade luminosa numa determinada área) entre duas superfícies contíguas.

A acuidade visual é a capacidade do olho distinguir pormenores. Considera-se uma boa acuidade visual quando se conseguem distinguir objetos num ângulo de 1' (1/60°).

A possibilidade de encadeamento ocorre quando existe um contraste elevado entre a área da tarefa e a área vizinha, provocados geralmente por reflexos, sombras e focos de luz, e que causam dificuldades de concentração em ambientes de trabalho.

Em termos psicológicos, a cor desempenha o papel fundamental. Na Tabela 13 estão resumidos os efeitos psicológicos provocados por cada cor.

Como as exigências de conforto visual, em regra, não podem atuar sobre os fatores anteriormente mencionados, procuram influenciá-los indiretamente através da luminância de fundo, fixando níveis globais de iluminação e recomendando valores para as refletividades (Tabela 14 e Figura 5).

Para além destes fatores, há ainda que considerar os níveis máximos de incomodidade, estabilidade de luz e contrastes luminosos, necessidades de obscurecimento, e participação da iluminação natural. No que toca aos três primeiros, a sua quantificação é difícil de calcular, mas a participação da iluminação natural pode ser contabilizada através do fator de luz de dia que é medido através da razão entre a iluminância medida no interior e a iluminância medida num plano horizontal e sem obstruções no exterior [14].

Tabela 13: Efeitos psicológicos da cor.

Cor	Efeito de distância	Efeito de temperatura	Efeito psicológico
Azul	Afastamento	Frio	Calmanete
Verde	Afastamento	Frio a neutro	Muito calmante
Vermelho	Aproximação	Quente	Muito estimulante e cansativo
Laranja	Muita aproximação	Muito quente	Excitante
Amarelo	Aproximação	Muito quente	Excitante
Castanho	Muita aproximação e claustrofobia	Neutro	Excitante
Violeta	Muita aproximação	Frio	Agressivo, cansativo e deprimente

Tabela 14: Níveis de iluminação de fundo.

Tipos de locais e atividades	Níveis de iluminação (lux)
Acessos e circulações	30 – 50
Espaços técnicos	60 – 100
Iluminação geral e ambiente	15 – 200
Trabalho em oficinas	350 – 400
Leitura intermitente	300 – 500
Leitura prolongada (estudo)	500 – 700
Desenho gráfico e trabalho de precisão	700 – 1000

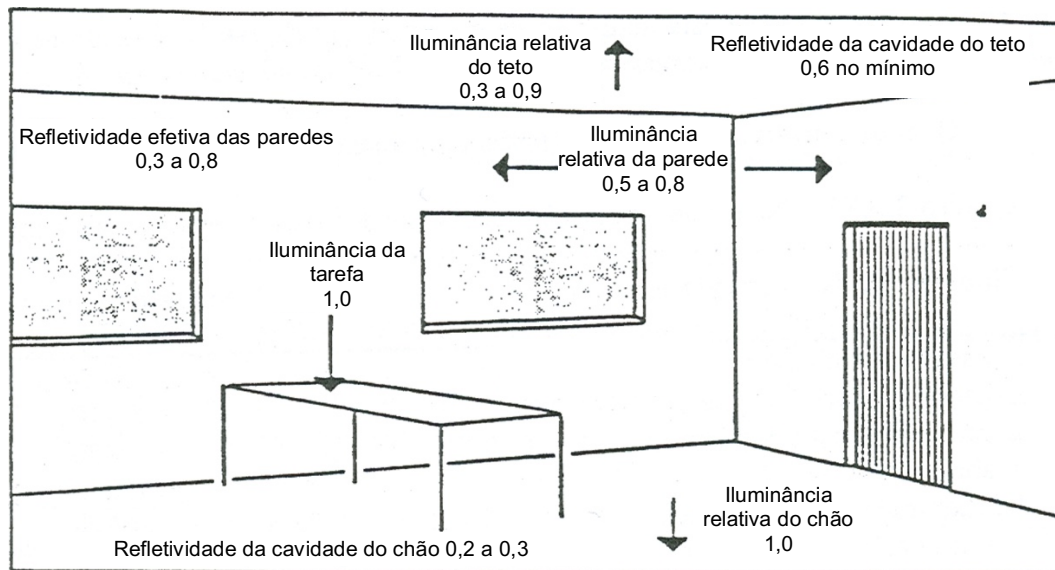


Figura 5: Iluminâncias e refletividades relativas num compartimento [14].

2.2.7 Exigências de aspeto

As exigências de aspeto relacionam-se com a durabilidade dos vários componentes do edifício (cor, planeza, rugosidade, etc.) e com a capacidade de visão para o exterior nos compartimentos de permanência prolongada.

2.3 Exigências de economia

As exigências de economia podem ser divididas em exigências de limitação do custo global e exigências de durabilidade.

As exigências de limitação do custo global procuram minimizar o custo global da construção, que inclui os custos inicial, de utilização e de manutenção, ponderando várias soluções de forma a encontrar uma solução ótima.

As exigências de durabilidade asseguram que todas as exigências formuladas anteriormente se cumpram durante o período de vida do edifício para a utilização para o qual foi projetado, assumindo manutenções periódicas. Desta forma exige-se que os materiais mantenham as suas características de qualidade durante o período de vida do edifício, à exceção de materiais que possam sofrer desgaste intenso e que sejam de fácil substituição, os quais podem ter um prazo de vida útil de 10 anos. Em relação à facilidade de manutenção, esses trabalhos devem poder ser realizados de forma simples e económica, sem perturbação dos utentes.

2.4 Verificação da satisfação das exigências

Tendo em conta o âmbito desta dissertação, apenas serão tratados os procedimentos de verificação relativos às exigências de conforto acústico, e às exigências de higiene relacionadas com a pureza do ar.

2.4.1 Exigências de ventilação

De forma a controlar as concentrações de poluentes e gases nocivos e, de certo modo, também a ocorrência de condensações, a NP 1037-1 [15] define uma metodologia de dimensionamento de aberturas de ventilação que visa garantir que a ventilação das habitações ocorre de forma permanente, independentemente de as janelas se encontrarem abertas ou fechadas. A metodologia normativa aplica-se à estação fria, assumindo-se que, no período de verão, a ventilação se efetua por aberturas das janelas. Apesar da norma NP 1037-1 se aplicar à evacuação de gases resultantes da combustão, o que condiciona os caudais mínimos a considerar, este documento normativo pode ser utilizado para o dimensionamento da generalidade dos sistemas de ventilação natural em edifícios de habitação. No entanto, a sua aplicação em habitações onde não existam equipamentos de combustão poderá resultar em caudais de ventilação elevados.

A disposição dos compartimentos e aberturas deve ser tal que tendo em conta o vento predominante, a admissão de ar seja efetuada pelos compartimentos principais e a evacuação pelos compartimentos de serviço através de condutas ligadas a chaminés.

O esquema de ventilação (Figura 6) considera que, em geral, a entrada de ar é efetuada pelas paredes exteriores ou por condutas que canalizam o ar no caso de caves subterrâneas. A circulação entre compartimentos interiores (Figura 6) é efetuada pelas folgas nas portas ou, em caso de necessidade, por aberturas específicas (Figura 7). A extração do ar é efetuada pela cobertura do edifício através de condutas que garantem a extração através da existência do gradiente térmico entre o ar quente vindo do interior do edifício e o ar frio exterior.

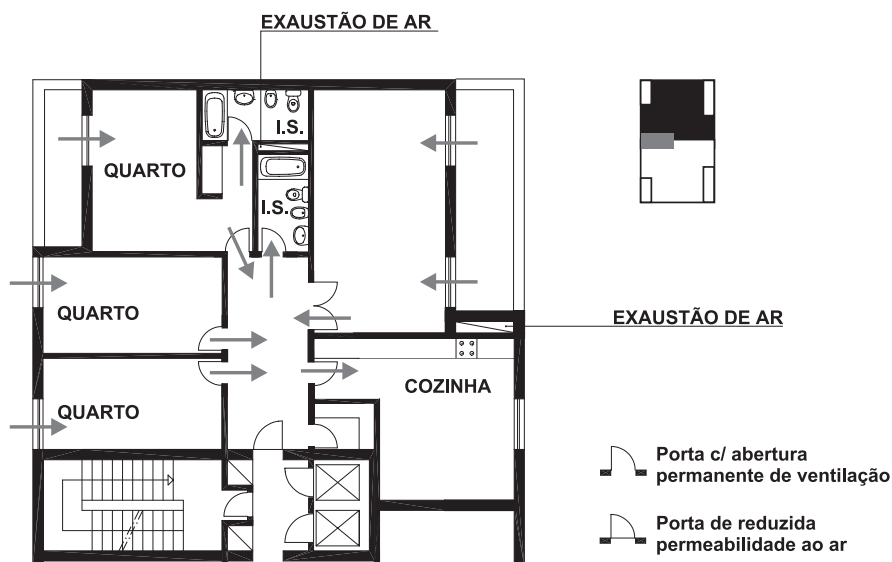


Figura 6: Esquema de ventilação (planta) [15].

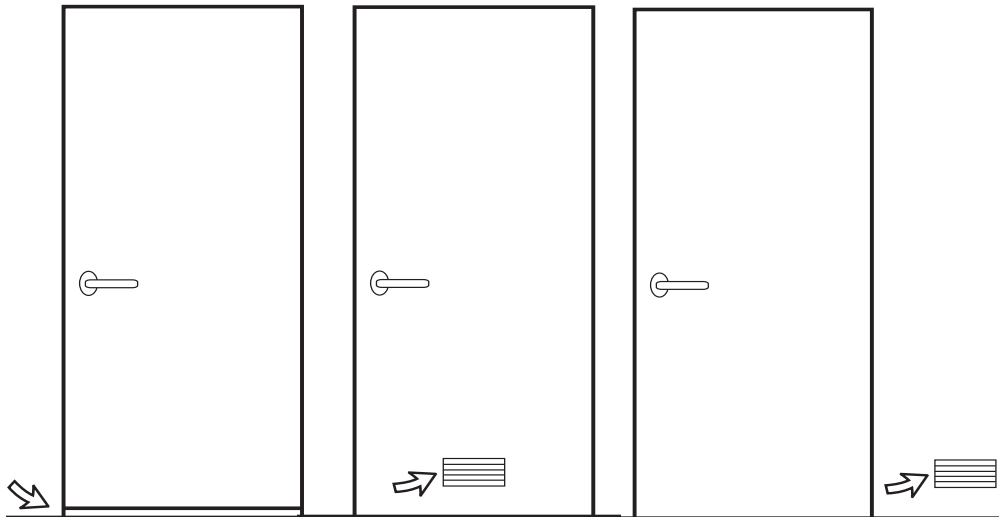


Figura 7: Esquema de circulação interior (folga na porta; grelha na porta; grelha na parede) [15].

Para dimensionar as aberturas são definidos caudais-tipo (Tabela 15) de acordo com a utilização do compartimento. Estes caudais servem apenas para efeitos de cálculo, uma vez que não é possível a sua garantia através de meios puramente naturais.

Tabela 15: Caudais-tipo de ventilação.

Compartimentos		Caudais-tipo (rph)	Caudais mínimos (m ³ ·h ⁻¹)	
Principais		1	(-)	
Serviço	Cozinha	4	60	
	Instalações sanitárias		Com banheira / duche	45
			Sem banheira / duche	30

O caudal-tipo (em m³/h) dos compartimentos com equipamentos a gás, exceto caldeiras, é dado por

$$Q_{tipo} = 4,3P_n, \quad (19)$$

onde Q_n é a potência nominal dos equipamentos em serviço (kW).

Nos compartimentos com caldeiras,

$$Q_{tipo} = 5,0P_n. \quad (20)$$

Uma vez conhecidos os caudais de ventilação necessários para cada compartimento, equilibram-se os caudais de entrada com os caudais de saída, obtendo-se assim os caudais de dimensionamento. Pode assumir-se que parte do caudal de dimensionamento é admitido no edifício devido à permeabilidade das janelas.

Para o cálculo da permeabilidade do ar pelas janelas, a versão da NP 1037-1 de 2002 [15] remete para a EN 12207:2016 [16], na qual são estabelecidas cinco classes de permeabilidade ao ar tendo em conta o caudal que passa pela janela à pressão de 100 Pa (Figura 8), sendo a classe 0 correspondente às janelas com caudal de permeabilidade superior à classe A1. Esse caudal (em $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) é dado por

$$Q_{\text{permeabilidade}} = Q_{100} \left(\frac{\Delta p}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot A_{\text{janela}}, \quad (21)$$

onde:

$Q_{\text{permeabilidade}}$: caudal permeado pela janela ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$);

Q_{100} : caudal de referência a 100 Pa ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$);

p : pressão nos dois lados da janela (Pa);

A_{janela} : área da janela (m^2).

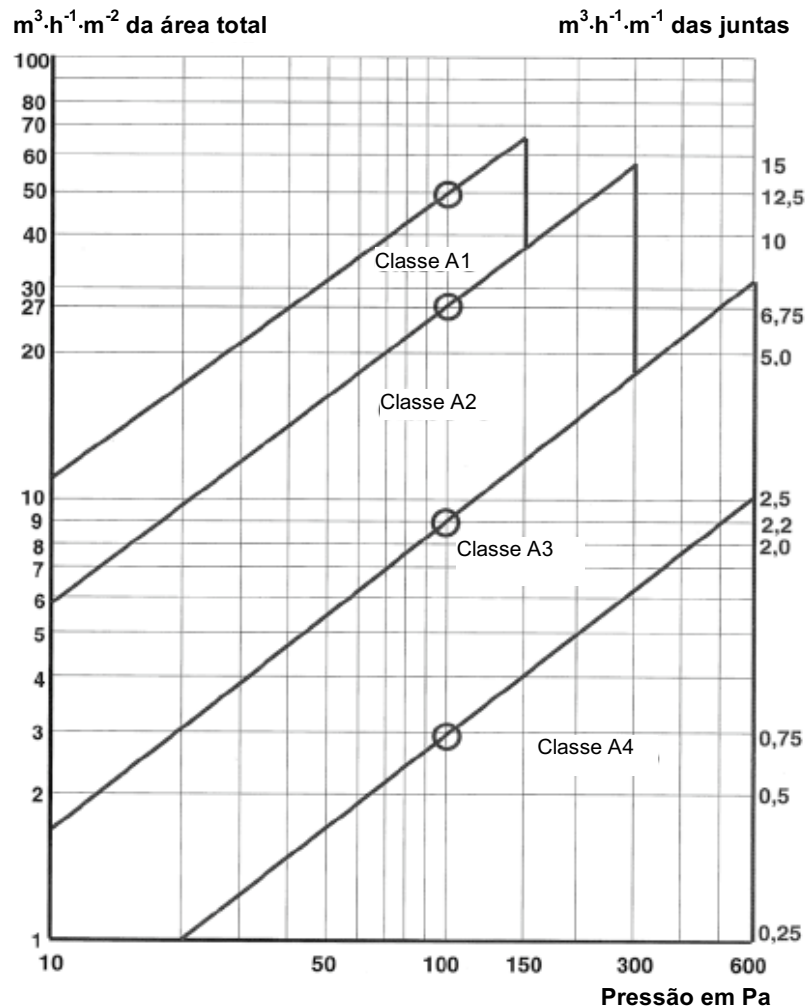


Figura 8: Classes de permeabilidade ao ar, de acordo com a EN 12207:2016 [16].

A norma NP 1037-1 [15] define a classe de permeabilidade a exigir às janelas em função da classe de exposição ao vento do edifício (Tabela 16), a qual depende da localização geográfica, topografia do solo na proximidade e altura acima do solo (Tabela 17).

Tabela 16: Classes de exposição ao vento.

Altura acima do solo (m)	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
≤ 10 m	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 1	Exp 2	Exp 3
> 10 m e ≤ 18 m	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 2	Exp 3	Exp 4
> 18 m e ≤ 28 m	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 2	Exp 3	Exp 4
> 28 m e ≤ 60 m	Exp 3	Exp 4	Exp 4	Exp 3	Exp 4	Exp 4

Tabela 17: Classes de permeabilidade ao ar das janelas.

Altura acima do solo (m)	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
≤ 10 m	A1	A2	A2	A1	A2	A2
> 10 m e ≤ 18 m	A1	A2	A2	A1	A2	A2
> 18 m e ≤ 28 m	A1	A2	A2	A2	A2	A2
> 28 m e ≤ 60 m	A2	A2	A2	A2	A2	A2
> 60 m e ≤ 80 m	A2	A2	A2	A2	A2	A3

O caudal de ventilação através da abertura a dimensionar, descontado do caudal devido à permeabilidade do vão, permite então determinar a área de abertura por aplicação da eq. (10), onde o coeficiente de descarga C_d toma valores entre 0,4 e 0,6, dependendo das arestas da abertura.

2.4.2 Exigências de conforto acústico

De forma a garantir o controlo da poluição sonora e a prevenção do ruído, o Estado Português aprovou o Regulamento Geral do Ruído (RGR) [5] [17] [18]. Com base nesse regulamento, cabe aos municípios a criação de um mapa de ruído com o apoio do Instituto do Ambiente, dividindo o território em zonas mistas e em zonas sensíveis.

Define-se a diferença padronizada de níveis sonoros de uma fachada, $D_{2m,nT}$ (dB), como

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (22)$$

onde:

$L_{1,2m}$: nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada (dB);

L_2 : nível de pressão sonora média no compartimento recetor (dB);

T : tempo de reverberação do compartimento recetor (s);

T_0 : tempo de reverberação de referência ($\approx 0,5$ s em compartimentos de habitações).

O isolamento sonoro a sons aéreos, em dB, entre compartimentos é dado por

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (23)$$

onde L_1 é o nível de pressão sonora média no compartimento emissor (dB).

O valor único do isolamento sonoro $D_{2m,nT,w}$ ou $D_{nT,w}$ mínimo é definido no RRAE (Regulamento do Requisitos Acústicos dos Edifícios [19]) conforme resumido na Tabela 18.

O valor único da redução sonora de um elemento de construção pesado pode ser estimado, simplifadamente, por

$$R_w = 37,5 \log_{10} m - 42, \quad (24)$$

onde m ($\geq 150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) é a massa por unidade de área do elemento de construção [20].

Para elementos mais leves, com 50 a $150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, pode ser aplicada a norma britânica [21], segundo a qual

$$R_w = 21,65 \log_{10} m - 2,3, \quad (25)$$

Este valor único também pode ser obtido por aplicação da norma EN 717-1, a qual define um método de ponderação do espectro de redução sonora. Este espectro pode ser estimado com base na EN 12354-1 através do seguinte conjunto de expressões.

$$R = -10 \log_{10} \left(\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{2\rho c}{2\pi f m_s} \right)^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2f \eta_{tot}}, \quad f \geq f_c \\ \left(\frac{2\rho c}{2\pi f m_s} \right)^2 \left(2\sigma_f + \frac{(l_1 + l_2)^2}{l_1^2 + l_2^2} \sqrt{\frac{f_c}{f}} \frac{\sigma^2}{\eta_{tot}} \right), \quad f < f_c \end{array} \right. \right), \quad (26)$$

onde:

R : redução sonora (dB);

ρ : massa volúmica da parede ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$);

c : velocidade do som ($\approx 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no ar);

f : frequência (Hz);

m_s : massa superficial da parede ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$);

f_c : frequência crítica da parede (Hz);

c_L : velocidade das ondas sonoras na parede eq. (28) ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);

h : espessura da parede (m);

σ : fator de radiação para ondas livres eq. (30) (-);

$$\eta_{tot} = 0,01 + \frac{485}{m_s \sqrt{f}}$$

σ_f : fator de radiação para transmissão forçada eq. (29) (-);

Tabela 18: Valores mínimos de isolamento a sons de condução aérea (RRAE).

Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras				
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	33	Zonas mistas		
	28	Zonas sensíveis		
$D_{nT,w}$ (dB)	50	Entre compartimentos do mesmo fogo		
		Entre compartimentos do fogo e garagens		
	48	Entre compartimentos do fogo e zonas comuns		
	40	Entre compartimentos do fogo ascensores		
	58	Entre compartimentos do fogo e zonas de comércio, indústria, serviços ou diversão		
Edifícios escolares e similares, e de investigação				
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	33	Zonas mistas		
	28	Zonas sensíveis		
$D_{nT,w}$ (dB)	Locais de receção ————— Locais de emissão	Salas de aula, de professores, administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes e berçário
	Salas de aula, de professores, administrativas	45	45	45
	Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	55	58	50
	Berçários	53	55	48
	Corredores de grande circulação	30	35	30
Edifícios hospitalares e similares				
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	33	Zonas mistas		
	28	Zonas sensíveis		
$D_{nT,w}$ (dB)	Locais de receção ————— Locais de emissão	Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de consulta ou exame	Enfermarias, salas de tratamento, administrativas e de convívio	
	Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de consulta ou exame	48	40	
	Enfermarias, salas de tratamento	55	45	
	Salas administrativas e de convívio	55	48	
	Circulações internas	35	30	
	Refeitórios e cozinhas	52	45	
	Oficinas	55	48	
Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em unidades industriais				
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	30	Escritórios		
	25	Restantes recintos		
Auditórios e salas				
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	(-)	Requer estudo específico		
$D_{nT,w}$ (dB)	65			
$D_{nT,w,oit}$ 63Hz (dB)	45			

l_1 : maior dimensão da parede (m);

l_2 : menor dimensão da parede (m);

A frequência crítica é dada por:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8c_L h} \quad (27)$$

onde:

h : espessura do pano de parede (m).

c_L : velocidade das ondas sonoras na parede ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), dada por

$$c_L = \sqrt{\frac{E'}{\rho(1 - \nu^2)}}, \quad (28)$$

onde:

E' : módulo de elasticidade (Pa);

ρ : massa volúmica da parede ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$);

ν : coeficiente de Poisson.

O fator de radiação para transmissão forçada é dado por

$$\sigma_f = \min \left\{ 0,5 \left[\ln(k\sqrt{l_1 l_2}) + 0,964 + \left(0,5 + \frac{l_2}{\pi l_1} \right) \ln \left(\frac{l_2}{l_1} \right) - \frac{5l_2}{2\pi l_1} + \frac{1}{4\pi l_1 l_2 k^2} \right] \right\}, \quad (29)$$

onde:

k : número de onda ($\text{rad}\cdot\text{m}^{-1}$);

l_1 : maior dimensão da parede (m);

l_2 : menor dimensão da parede (m);

O fator de radiação para vibração livre é dado por

$$\sigma = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{11} \leq \frac{f_c}{2}: \min \left\{ \begin{array}{l} f \geq f_c: \sigma_1 \\ f < f_c: \sigma_2' \end{array} \right. \\ f_{11} > \frac{f_c}{2}: \left\{ \begin{array}{l} f \geq f_c: \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 < \sigma_3: \sigma_1 \\ \sigma_1 \geq \sigma_3: \sigma_3' \end{array} \right. \\ f < f_c: \left\{ \begin{array}{l} \sigma_2 < \sigma_3: \sigma_2 \\ \sigma_2 \geq \sigma_3: \sigma_3 \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (30)$$

onde:

$$f_{11} = \frac{c^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right); \sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{f_c}{f}}}; \sigma_2 = 4l_1l_2 \left(\frac{f}{c} \right)^2; \sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c}},$$

$$\sigma' = \begin{cases} \frac{2(l_1 + l_2) c}{l_1 l_2 f_c} \frac{\left(1 - \frac{f}{f_c}\right) \ln \left(\frac{1 + \sqrt{\frac{f}{f_c}}}{1 - \sqrt{\frac{f}{f_c}}} \right) + 2\sqrt{\frac{f}{f_c}}}{4\pi^2 \left(1 - \frac{f}{f_c}\right)^{1,5}}, & f > \frac{f_c}{2} \\ \frac{2(l_1 + l_2) c}{l_1 l_2 f_c} \frac{\left(1 - \frac{f}{f_c}\right) \ln \left(\frac{1 + \sqrt{\frac{f}{f_c}}}{1 - \sqrt{\frac{f}{f_c}}} \right) + 2\sqrt{\frac{f}{f_c}}}{4\pi^2 \left(1 - \frac{f}{f_c}\right)^{1,5}} + \frac{8c^2 \left(1 - 2\frac{f}{f_c}\right)}{f_c^2 \pi^4 l_1 l_2 \sqrt{\frac{f}{f_c}} \sqrt{1 - \frac{f}{f_c}}}, & f \leq \frac{f_c}{2} \end{cases}, \quad (31)$$

Para valores de frequência acima da frequência crítica, esta deve ser substituída por uma frequência crítica efetiva $f_{c,eff}$ de modo a ter em conta outros tipos de onda relevantes para paredes espessas e/ou para altas frequências.

$$f_{c,eff} = \begin{cases} f_c \left(4,05 \frac{h_p f}{c_L} + \sqrt{1 + 4,05 \frac{h_p f}{c_L}} \right), & f < f_p \\ 2f_c \left(\frac{f}{f_p} \right)^3, & f \geq f_p \end{cases}, \quad (32)$$

onde:

$$f_p = \frac{c_L}{5,5h}$$

Em situação de projeto, o valor único do isolamento sonoro padronizado dos elementos de construção pesados, em dB, pode ser calculado, de forma simplificada, por

$$D_{nT,w} = R_w + \Delta R_w - TM_w + 10 \log \left(\frac{0,32V}{S} \right), \quad (33)$$

onde:

R_w : valor único de redução sonora do elemento de construção (dB);

ΔR_w : valor único do acréscimo de redução sonora (dB) introduzido por elementos adicionais em sistemas duplos (Tabela 19);

TM_w : valor único da perda de isolamento sonoro (dB) devido à transmissão marginal (Tabela 20);

V : volume do compartimento recetor (m^3);

S : área do elemento de construção (m^2).

O acréscimo de redução sonora conferido por elementos adicionais de sistemas duplos depende da frequência de ressonância do sistema duplo, f_0 (Hz), a qual é dada por

$$f_0 = C \sqrt{\frac{1}{d} \left(\sum \frac{1}{m_{s,i}} \right)}, \quad (34)$$

onde:

C : constante (= 60 no caso da caixa de ar não conter material poroso; = 53 no caso da caixa de ar estar total ou parcialmente preenchida com material poroso);

d : espessura da caixa de ar do sistema duplo (m);

$m_{s,i}$: massa superficial do pano i (Kg).

Tabela 19: Valores aproximados para o ΔR_w em função da frequência de ressonância eq. (34).

Frequência de ressonância (Hz)	ΔR_w (dB)
≤ 80	$35 - R_w / 2$ a) b)
100	$32 - R_w / 2$ a) b)
125	$30 - R_w / 2$ a) b)
160	$28 - R_w / 2$ a) b)
200	- 1
250	- 3
315	- 5
400	- 7
500	- 9
630 - 1600	- 10
> 1600	- 5

a) O valor de R_w é referente ao pano de maior massa.

b) O valor de ΔR_w não pode ser inferior a 0.

Tabela 20: Valores aproximados para a transmissão marginal.

$R_w + \Delta R_w$ (dB)	TM_w (dB)
$R_w + \Delta R_w < 35$	0
$35 \leq R_w + \Delta R_w < 45$	3
$45 \leq R_w + \Delta R_w < 55$	4
$55 \leq R_w + \Delta R_w$	5

A redução sonora de sistemas duplos pode ser obtida de forma mais detalhada pelo método de Sharp [22] [23], o qual é ilustrado pela Figura 9.

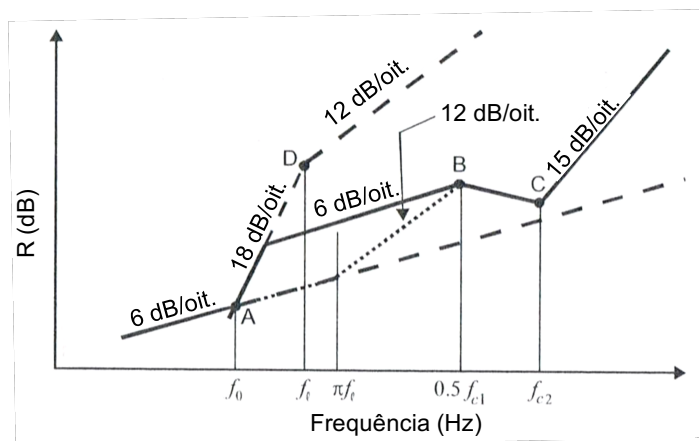


Figura 9: Esquema de aplicação do modelo de Sharp.

A frequência f_0 corresponde à ressonância do sistema duplo e é dada por

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,8\rho c^2(m_{s1} + m_{s2})}{dm_{s1}m_{s2}}}, \quad (35)$$

onde:

f_0 : frequência de ressonância da caixa de ar (Hz);

ρ : massa específica do ar ($= 1,205 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a 20°C);

c : velocidade do som ($\approx 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no ar);

m_{s1}, m_{s2} : massa superficial do pano de parede ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$);

d : espessura da caixa de ar (m)

A frequência f_l corresponde à ocorrência da primeira ressonância do espaço de ar entre panos, a qual condiciona o desempenho do sistema duplo para caixas de ar grandes. Esta frequência é dada por

$$f_l = \frac{c}{2\pi d}. \quad (36)$$

A frequência crítica dos panos 1 e 2 é dada, respetivamente, por

$$f_{c1} = 0,55 \frac{c^2}{c_{L1}h_1}, \quad (37)$$

e

$$f_{c2} = 0,55 \frac{c^2}{c_{L2} h_2}, \quad (38)$$

onde:

c_{L1} : velocidade das ondas longitudinais no pano 1 de parede ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);

h_1 : espessura do pano 1 de parede (m);

c_{L2} : velocidade das ondas sonoras no pano 2 de parede ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);

h_2 : espessura do pano 2 de parede (m).

A redução sonora no ponto A (Figura 9) é então dada por

$$R_A = 20 \log_{10}(m_{s1} + m_{s2}) + 20 \log_{10}(f_0) - 48, \quad (39)$$

onde:

m_{s1}, m_{s2} : massa superficial dos panos de parede 1 e 2 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

No ponto B tem-se, na ausência de material absorvente sonoro na caixa e ar,

$$R_{B1} = R_A + 20 \log_{10}\left(\frac{f_{c1}}{f_0}\right) - 6, \quad (40)$$

ou, no caso de existir material absorvente na caixa de ar, com ligações lineares entre painéis

$$R_{B2} = 20 \log_{10}(m_{s1}) + 10 \log_{10}(b) + 20 \log_{10}(f_{c1}) + 10 \log_{10}(f_{c2}) + 20 \log_{10}\left(1 + \frac{m_{s2} f_{c1}^{1/2}}{m_{s1} f_{c2}^{1/2}}\right) - 78, \quad (41)$$

onde b é a mínima distância entre as linhas que ligam os painéis (m);

No caso de existir material absorvente na caixa de ar, com os painéis ligados por elementos pontuais, tem-se

$$R_{B3} = 20 \log_{10}(m_{s1} e') + 20 \log_{10}(f_{c1}) + 20 \log_{10}(f_{c2}) + 20 \log_{10}\left(1 + \frac{m_{s2} f_{c1}}{m_{s1} f_{c2}}\right) - 105, \quad (42)$$

onde: e' é a mínima distância entre os pontos que ligam os painéis (m);

No ponto C, a redução sonora é dada por

$$R_C = \begin{cases} R_B + 6 + 10 \log_{10}(\eta_2) + 20 \log_{10}\left(\frac{f_{c2}}{f_{c1}}\right), & f_{c2} \neq f_{c1}, \\ R_B + 6 + 10 \log_{10}(\eta_2) + 5 \log_{10}(\eta_1), & f_{c2} = f_{c1} \end{cases} \quad (43)$$

onde $\eta_1 = 0,01 + \frac{485}{m_{s1}\sqrt{f_{c2}}}$ e $\eta_2 = 0,01 + \frac{485}{m_{s2}\sqrt{f_{c2}}}$ são os fatores de perdas (por amortecimento) dos painéis 1 e 2.

A redução sonora do ponto D corresponde ao valor obtido através da “reta” que passa pelo ponto A com um crescimento de 18 dB/oit para a frequência de f_l . De forma a completar o modelo, unem-se os pontos A, B e C através de “retas” com a variação indicada na Figura 9. Este modelo só é válido caso a interseção entre a “reta” que passa em A e D e a “reta” que passa em B ocorra abaixo do ponto D.

Finalmente, para avaliação da redução sonora de elementos heterogêneos, contendo, por exemplo, pequenas incrustações (alvéolos técnicos), janelas ou portas, pode aplicar-se a expressão seguinte, a qual tem em conta a contribuição de cada caminho de transmissão para o nível sonoro global no local recetor

$$R = -10 \log_{10} \left(\frac{\sum_i 10^{-\frac{R_i}{10}} \cdot S_i}{\sum_i S_i} \right), \quad (44)$$

onde:

R_i : redução sonora do elemento i (dB);

S_i : área do elemento i (m²).

3 Casos de estudo

3.1 Introdução

Com o objetivo de avaliar a influência das aberturas de ventilação na redução sonora de elementos de construção, define-se um conjunto extenso de casos de estudo, para os quais se dimensionam as aberturas de ventilação necessárias e se estimam as perdas de isolamento sonoro associadas.

3.2 Definição dos casos de estudo

Os casos de estudo foram definidos respeitando as exigências do RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas) [24], nomeadamente na definição das dimensões volumétricas dos compartimentos. Foram adotadas relações comprimento-largura entre 1 e 2, cumprindo com as dimensões mínimas estipuladas. Em relação ao pé-direito, foram adotados pés direitos de 2,4 (mínimo regulamentar), 2,7 e 3,0 metros, uma vez que estes são os valores mais comuns no nosso país.

Deste modo, tendo em conta as várias dimensões de compartimentos e as várias classes de permeabilidade, chegou-se a um total de 1440 casos de estudo, cujos parâmetros são apresentados, de forma geral, na Tabela 21 e de forma detalhada no Anexo A.

Tabela 21: Parâmetros considerados na definição dos casos de estudo.

	Relação comprimento-largura	Comprimento (m)	Largura (m)	Pé-direito (m)	Classe de permeabilidade dos vãos
Valor mínimo	1	2,1	2,1	2,4	1
Valor máximo	2	10,8	7	3	4
Incremento	0,1	n. a.	0,3 até 3 m; 0,5 nos restantes	0,3	1
Critério de paragem	Valor máximo	n. a.	Comprimento \geq 10 ou Largura \geq 7	Valor máximo	Valor máximo

3.3 Cálculo dos caudais de ventilação

O valor médio de *RPH* foi calculado de acordo com a norma NP 1037-1 [15], correspondendo à média aritmética dos valores de *RPH* obtidos para cada tipologia de edifícios, e correspondendo estes à média ponderada (às áreas dos compartimentos) dos valores da taxa de renovação horária de ar em cada compartimento. As médias ponderadas foram obtidas considerando as áreas mínimas dos compartimentos e das habitações estipuladas no RGEU, aplicando os valores de 1 renovação por hora aos compartimentos principais e de 4 renovações por hora aos

compartimentos de serviço. Em virtude da variabilidade do parâmetro RPH , optou-se pela utilização de valores médios de forma a reduzir a dimensão do estudo paramétrico.

De forma a validar estes valores, foi utilizada a folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) [25] para o cálculo das renovações horárias no âmbito do procedimento de certificação energética [26]. Assumiu-se que os edifícios apresentavam uma altura de 17 m e que se encontravam isolados, na zona A do território nacional (a mais de 5 km da costa marítima), a uma altitude de 90 m. Assumiu-se também que a área de envidraçados correspondia a 10% da área útil dos compartimentos, sendo as caixilharias de classe 1.

Na Tabela 22 encontra-se um resumo do cálculo dos valores médios de RPH , correspondendo os valores $RPH_{NP1037-1}$ às médias ponderadas acima descritas e os valores RPH_{LNEC} aos valores de validação.

Tabela 22: Valores médios da renovação horária do ar.

Tipologia	Quartos (m ²)	Sala (m ²)	Cozinha (m ²)	I. S. (m ²)	A _{útil} (m ²)	A _{principal} (m ²)	A _{serviço} (m ²)	$RPH_{NP1037-1}$ (h ⁻¹)	RPH_{LNEC} (h ⁻¹)
T0	0,0	10,0	12,0	3,5	29,8	14,3	15,5	2,56	1,66
T1	10,5	10,0	10,0	3,5	44,2	30,7	13,5	1,92	1,59
T2	19,5	12,0	12,0	3,5	61,2	45,7	15,5	1,76	1,54
T3	28,5	12,0	14,0	4,5	77,4	58,9	18,5	1,72	1,51
T4	35,0	12,0	14,0	4,5	89,3	70,8	18,5	1,62	1,49
T5	44,0	16,0	14,0	6,0	103,7	83,7	20,0	1,58	1,48
T6	53,0	16,0	16,0	6,0	113,9	91,9	22,0	1,58	1,47
Média:								1,82	1,53

O caudal de ventilação foi então calculado multiplicando o volume dos compartimentos pelo valor médio de RPH. Por ser mais conservativo, foi utilizado o valor obtido através da norma NP1037-1 (caudais maiores conduzem a área de abertura maior e, portanto, a menor isolamento acústico).

3.4 Aberturas de ventilação

No dimensionamento das aberturas de ventilação foram consideradas quatro classes de permeabilidade das caixilharias dos vãos, sendo atribuídos os valores médios do fator de permeabilidade de 8, 4, 1 e 0,5 m³·h⁻¹·m⁻² às classes 1, 2, 3 e 4 respetivamente, para uma diferença de pressão de 10 Pa.

Como se referiu anteriormente, as áreas dos vãos envidraçados foram calculadas assumindo 10% da área do compartimento com um valor mínimo de 1,08 m², de acordo com o RGEU [24].

O caudal de passagem devido à permeabilidade deste pelos vãos foi calculado multiplicando as áreas dos vãos pelos fatores de permeabilidade para a diferença de pressão considerada.

O caudal para dimensionamento das aberturas foi então estimado descontando o caudal de passagem devido à permeabilidade dos vãos.

A área das aberturas foi calculada através da expressão (10), considerando um coeficiente de contração de 0,5 e uma massa volúmica do ar de 1,205 Kg·m⁻³.

Para se obterem resultados mais realistas, foi considerada a possibilidade de se executar apenas uma abertura por compartimento, sendo esta quadrada, com as dimensões das arestas arredondadas ao centímetro ou circular, com o raio arredondado aos 5 mm, bem como a possibilidade de se executarem múltiplas aberturas por compartimento, as quais poderiam ser retangulares, com 1,5 x 5,0 cm², ou circulares, com um raio de 10 mm.

3.5 Redução sonora das aberturas

A redução sonora das aberturas pode ser estimada com base na equação de Wilson e Soroka [27], a qual é dada por

$$\tau = \frac{4\rho^2 c^2 W_0}{(\rho c)^2 \left[4W_0^2 (\cos kh_a - X_0 \sin kh_a)^2 + ((W_0^2 - X_0^2 + 1) \sin kh_a + 2X_0 \cos kh_a)^2 \right]}, \quad (45)$$

onde:

ρ : massa específica do ar (= 1,205 Kg·m⁻³ a 20°C);

c : velocidade do som (≈ 340 m·s⁻¹ no ar);

$$W_0(x) = \frac{x^2}{2 \cdot 4} - \frac{x^4}{2 \cdot 4^2 \cdot 6} + \frac{x^6}{2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \cdot 8} - \dots$$

$$X_0(x) = \frac{4}{\pi} \left(\frac{x}{3} - \frac{x^3}{3^2 \cdot 5} + \frac{x^5}{3^2 \cdot 5^2 \cdot 7} - \dots \right)$$

k : número de onda (rad·m⁻¹);

h_a : profundidade da abertura (m).

De acordo com os autores [27], esta expressão permite obter resultados aproximados com um erro inferior a 1 dB. No presente trabalho, foi possível estabelecer uma relação entre o número de parcelas das séries $W_0(x)$ e $X_0(x)$ e a robustez do resultado, concluindo que as séries devem incluir, pelo menos, 24 parcelas. Esta fórmula foi desenvolvida tendo por base a difração de uma onda plana numa abertura circular, numa parede plana de espessura finita. Assumiu-se a existência de dois pistões planos, sem massa, rígidos e infinitamente finos situados nos dois lados da abertura, com um deslocamento igual ao das partículas de ar. Os resultados experimentais, [27], demonstram que esta aproximação obtém resultados satisfatórios para relações entre a menor dimensão da abertura, a , e o comprimento de onda, λ , até $a / \lambda = 4$, a partir de onde o erro passa a ser mais elevado, inferior a 2 dB. A título de exemplo, para a abertura de maior dimensão ($a = 135$ mm) a fórmula apresenta resultados fiáveis até cerca de 10000 Hz. Como, para frequências elevadas, o valor da redução tende para zero, o valor do erro torna-se insignificante nessa zona do espetro. De acordo com Soroka [27], esta fórmula também é válida para aberturas retangulares desde que a relação comprimento/largura seja inferior a 8.

Gomperts [28] definiu particularizações da transmissão sonora de aberturas definidas pela eq. (46) e (47), respetivamente para aberturas circulares e retangulares.

(46)

$$\tau_c = \frac{m'K^2 \cos^2 Ke}{n^2 \left[\frac{\sin^2 K(L_a + 2e)}{\cos^2 Ke} + \frac{2K^4}{n^2} (1 + \cos K(L_a + 2e) \cos KL_a) \right]},$$

onde:

m' : = 8 incidência normal; = 16 campo difuso;

n : = 2 incidência normal; = 2 abertura no centro da parede num campo difuso; = 1 abertura na interseção de duas paredes num campo difuso; = 0,5 abertura no canto num campo difuso;

K : produto do número de onda pelo raio da abertura (rad);

$e = \alpha/a$

α : fator de correção da abertura [28];

a : raio da abertura (m);

L_a : razão entre a profundidade e o raio da abertura.

(47)

$$\tau_s = \frac{m'K^2 \cos^2 Ke}{2n^2 \left[\frac{\sin^2 K(L_l + 2e)}{\cos^2 Ke} + \frac{K^2}{2n^2} (1 + \cos K(L_l + 2e) \cos KL_l) \right]},$$

onde:

m' : = 4 incidência normal; = 8 campo difuso;

n : = 1 incidência normal e abertura no centro da parede num campo difuso; = 0,5 abertura na interseção de duas paredes num campo difuso;

K : produto do número de onda pela largura da abertura (rad);

e : fator de correção da abertura [28];

L_l : razão entre a profundidade e a largura da abertura.

Estas expressões foram obtidas relacionando o potencial da velocidade na abertura com o potencial da velocidade de ondas esféricas ou cilíndricas, consoante se trate duma abertura circular ou retangular, respetivamente. As fórmulas apresentam boa concordância com resultados experimentais para valores de K iguais à unidade.

As variáveis descritas nas equações anteriores encontram-se representadas nas Figuras 10 e 11 para facilitar a interpretação.

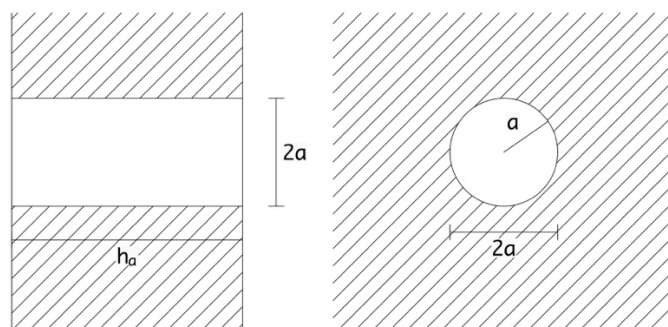


Figura 10: Abertura circular (corte e alçado).

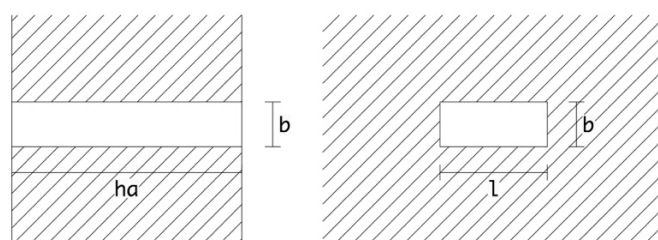


Figura 11: Abertura retangular (corte e alçado).

É de salientar que a equação (47) aproxima-se mais da solução exata quanto maior for a relação comprimento-largura, pelo que é expectável que existam erros consideráveis para aberturas quadradas ou próximas desta geometria.

Nas Figuras 12 a 15, apresentam-se os gráficos com a comparação entre as fórmulas de Wilson e Soroka [27] e de Gomperts [28] para aberturas circulares e retangulares ou circulares equivalentes (assumindo uma abertura circular com a mesma área de secção dum abertura retangular), respetivamente, assumindo uma abertura com uma profundidade de 30 cm (espessura de uma parede de fachada tradicional) e com uma área de 100 cm^2 a que corresponde um raio de 5,64 cm e uma aresta de 10 cm e para uma abertura retangular de $1,5 \times 5,0 \text{ cm}^2$. No canto superior esquerdo de cada gráfico encontra-se um esquema da secção a ser analisada.

Devido aos pressupostos subjacentes às equações de Gomperts, verifica-se que para aberturas quadradas, a equação (46) fornece melhores resultados que a equação (47), isto é, aproximam-se mais dos valores obtidos por Wilson e Soroka, como se pode observar nas Figuras 13 e 14. Desta forma, apenas serão utilizados os resultados da equação (46). Nas Figuras 12 e 14, a fórmula de Gomperts, eq. (46), apresenta erros significativos apenas a partir dos 1500 Hz (marca vermelha), o que se deve ao facto de, apesar da fórmula fornecer resultados mais exatos até $K = 1$, o erro ser ainda reduzido até $K = 1,25$, pelo que os resultados podem ser considerados como aceitáveis até esse limite. Em relação às aberturas retangulares, é possível verificar, através da Figura 15, que a equação (45) continua a fornecer melhores resultados do que a equação (47).

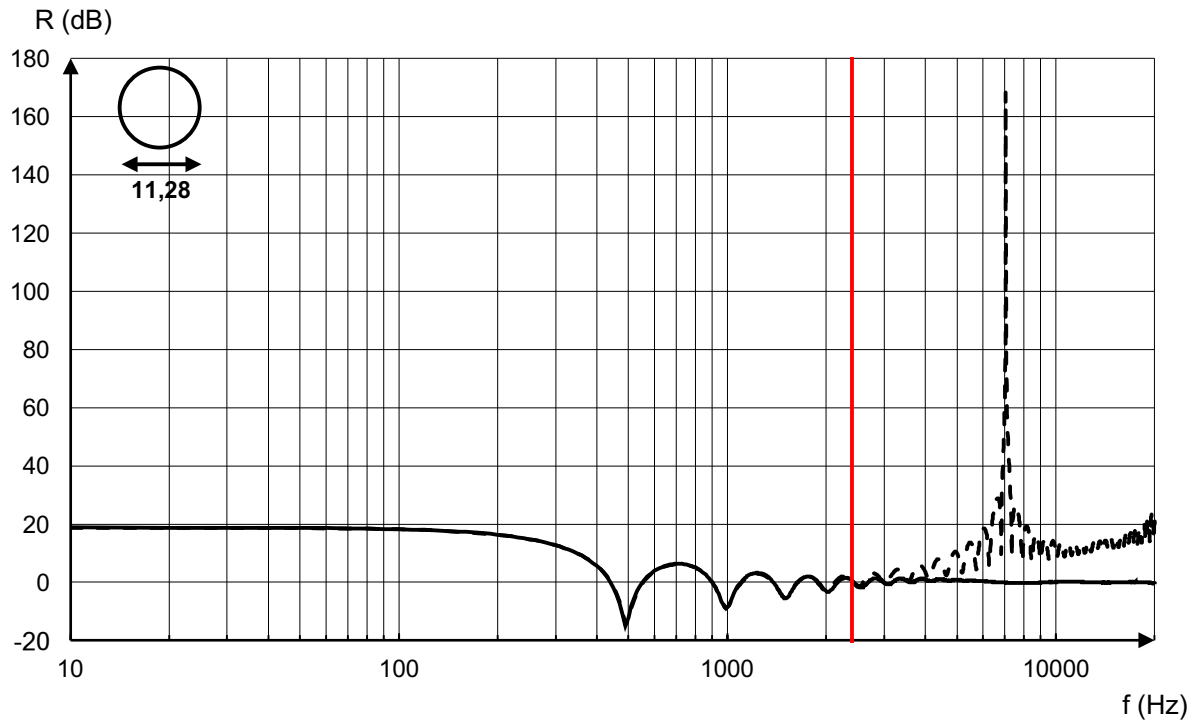


Figura 12: Comparação entre as equações (45), de Wilson e Soroka (—), e (46), de Gomperts (- - -), para aberturas circulares.

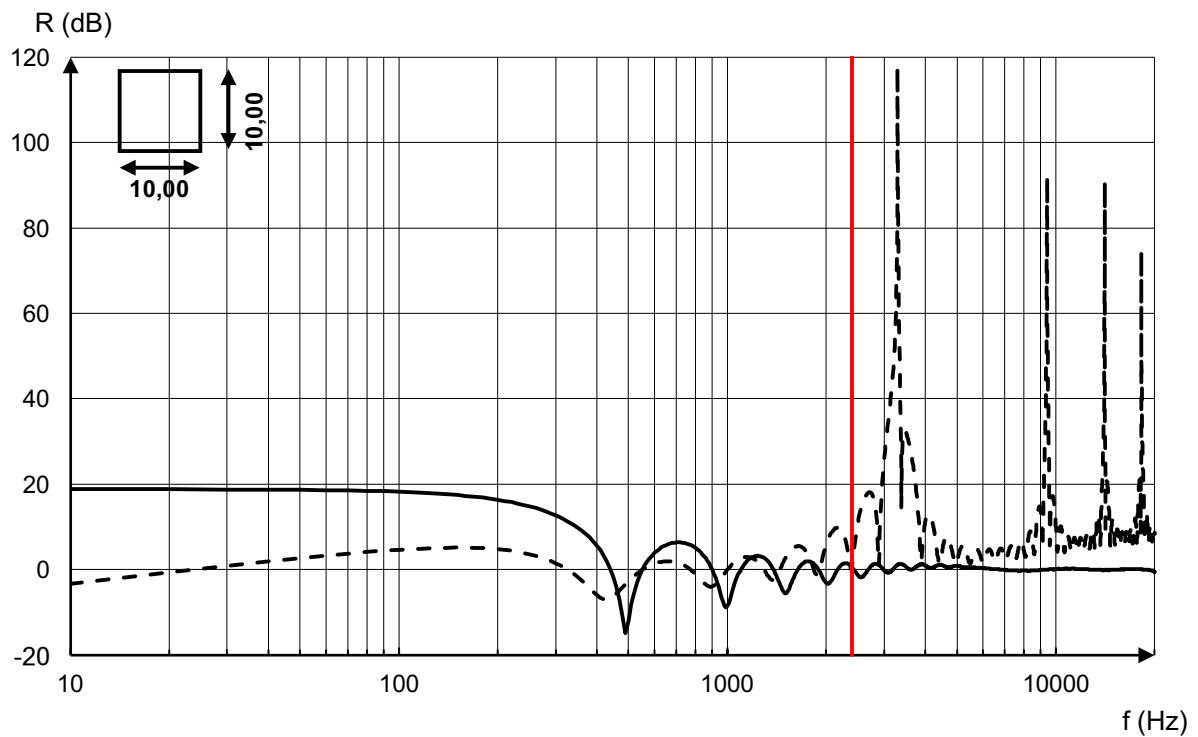


Figura 13: Comparação entre as equações (45), de Wilson e Soroka (—), e (47), de Gomperts (- - -), para aberturas quadradas.

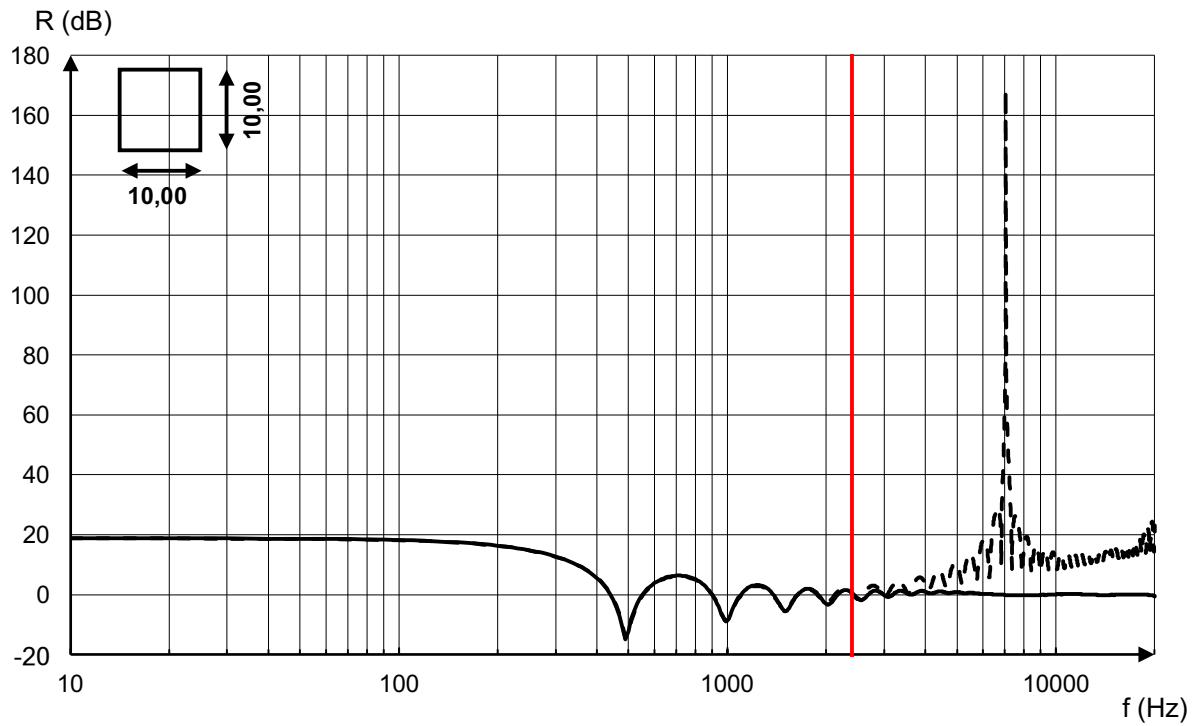


Figura 14: Comparação entre as equações (45), de Wilson e Soroka (—), e (46), de Gomperts (---), para aberturas quadradas.

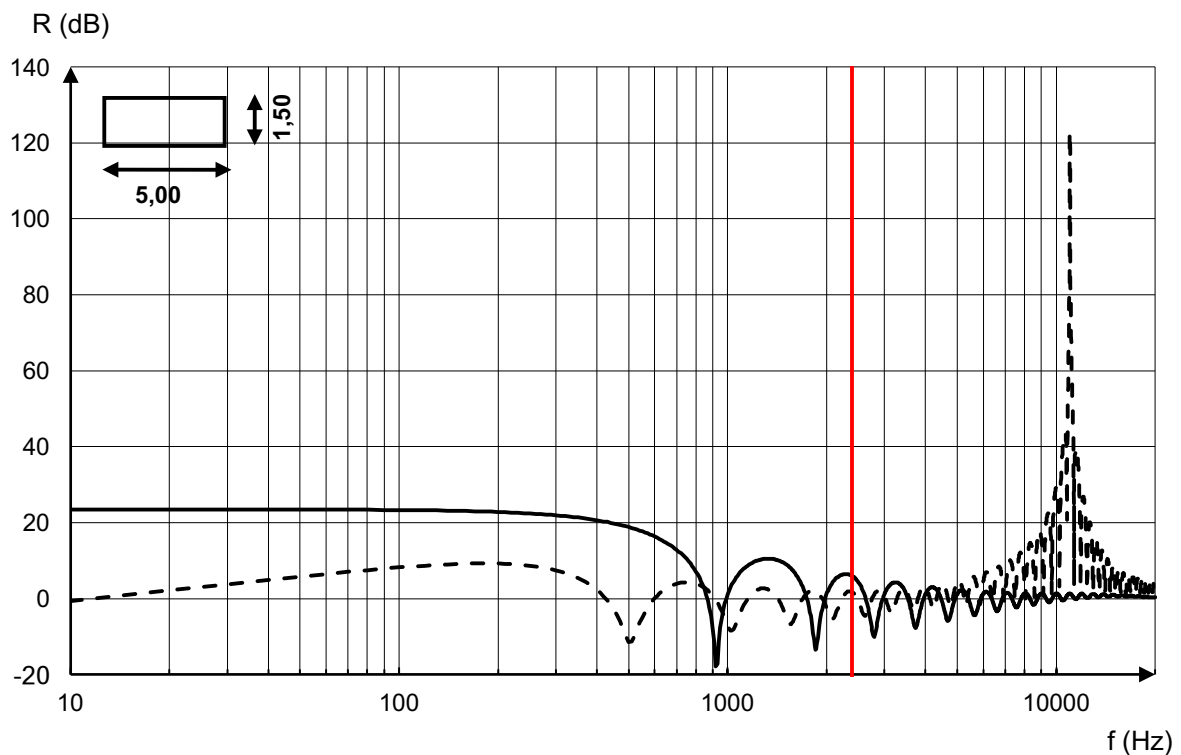


Figura 15: Comparação entre as equações (45), de Wilson e Soroka (—), e (47), de Gomperts (---), para aberturas retangulares.

3.6 Redução sonora dos elementos de fachada

O cálculo da redução sonora dos elementos de fachada foi efetuado para três soluções construtivas diferentes, ilustradas nas Figuras 16 a 18, considerando uma janela de elevado desempenho acústico de forma a evidenciar melhor o efeito das aberturas. Considerou-se uma janela com caixilharia de abrir equipada com vidro duplo 6-12-10+ mm, onde o pano exterior de 10mm de espessura corresponde a um vidro laminado. A redução sonora ponderada deste envidraçado é de 37 dB [29].

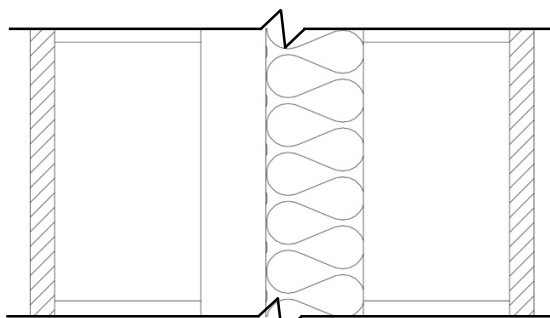


Figura 16: Parede dupla constituída por: Reboco (1,5 cm) | Tijolo (9 cm) | Caixa de ar (4 cm) | XPS (6 cm) | Tijolo (9 cm) | Reboco (1,5 cm).

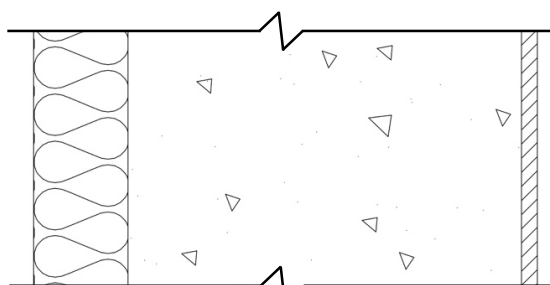


Figura 17: Parede de betão armado constituída por: XPS (ETICS) (6 cm) | Betão armado (25 cm) | Reboco (1 cm).

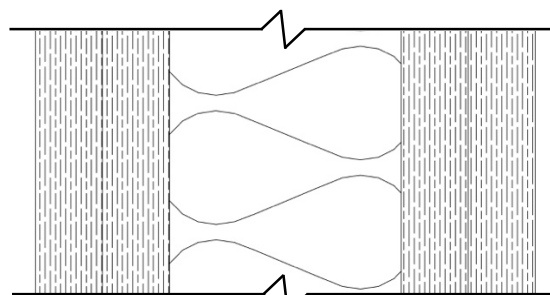


Figura 18: Parede de tabique constituída por: 2 x Gesso cartonado (1,3 cm) | Lã de vidro (4,5 cm) | 2 x Gesso cartonado (1,3 cm).

O cálculo da redução sonora das soluções que envolviam mais do que um painel (Figuras 16 e 18) foi efetuado de acordo com o modelo de Sharp [22] e [23], tendo a parede dupla um $R_{w, parede} = 54$ dB e a parede de tabique um $R_{w, parede} = 55$ dB.

O cálculo da redução sonora das soluções que envolviam apenas um painel (Figura 17) foi efetuado de acordo com a norma EN 12354-1 [20], a qual define o isolamento a sons aéreos através da equação (26), resultando num $R_{w, \text{parede}} = 56 \text{ dB}$.

Após a determinação da redução sonora por frequência de cada elemento construtivo (zona opaca, vão envidraçado e abertura de ventilação), aplicou-se a equação (44) de forma a se obter o valor da redução sonora do elemento heterogéneo. Para isso, considerou-se que a abertura se situava na parede de menores dimensões, uma vez que esta hipótese é a mais desfavorável em termos de isolamento sonoro. Em relação aos vãos envidraçados, considerou-se que a sua área era de 15% da área do compartimento com um mínimo de $1,08 \text{ m}^2$. Esta consideração é mais desfavorável, uma vez que redução sonora dos vãos é menor que redução sonora da zona opaca, logo quanto maior a área dos vãos, menor será a redução sonora e não coloca em causa a dimensão das aberturas de ventilação, uma vez que uma área maior de envidraçados resulta numa menor necessidade de área de aberturas.

3.7 Exemplo de aplicação do método

A título de exemplo, será analisado o primeiro caso de estudo, composto por um compartimento de $2,10 \times 2,10 \text{ m}^2$, com uma razão comprimento-largura de 1 e com um pé-direito de 2,4 m. O volume do compartimento é de $10,58 \text{ m}^3$, pelo que, para um valor médio de RPH ($1,82 \text{ h}^{-1}$), se obtém um caudal de ventilação de $19,26 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

A área de vãos envidraçados é de $1,08 \text{ m}^2$, o que corresponde ao mínimo regulamentar, pelo que, assumindo a primeira classe de permeabilidade com um fator de permeabilidade de $8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, se obtém um caudal de passagem devido à permeabilidade dos vãos de $8,64 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Desta forma, o caudal necessário para dimensionamento da abertura é de apenas $10,62 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, pelo que, considerando um coeficiente de descarga de 0,5, se obtém uma área de abertura de $0,00145 \text{ m}^2$ ($14,5 \text{ cm}^2$). Transformando essa área de abertura numa geometria quadrada ou circular, com os respetivos arredondamentos, obtém-se uma aresta de 4 cm, à qual corresponde uma área de 16 cm^2 e um raio de 2,5 cm, ao qual corresponde uma área de $19,6 \text{ cm}^2$ no caso de aberturas circulares. Considerando múltiplas aberturas de dimensão mais reduzida, obtêm-se, neste caso, 7 aberturas circulares com 1 cm de raio ou 3 aberturas retangulares de $1,5 \times 5,0 \text{ cm}^2$, às quais correspondem 22 cm^2 e $22,5 \text{ cm}^2$ de área, respetivamente.

Com todas as variáveis geométricas definidas, calcularam-se os espetros da redução sonora das aberturas, apresentados nas Figuras 19 a 23.

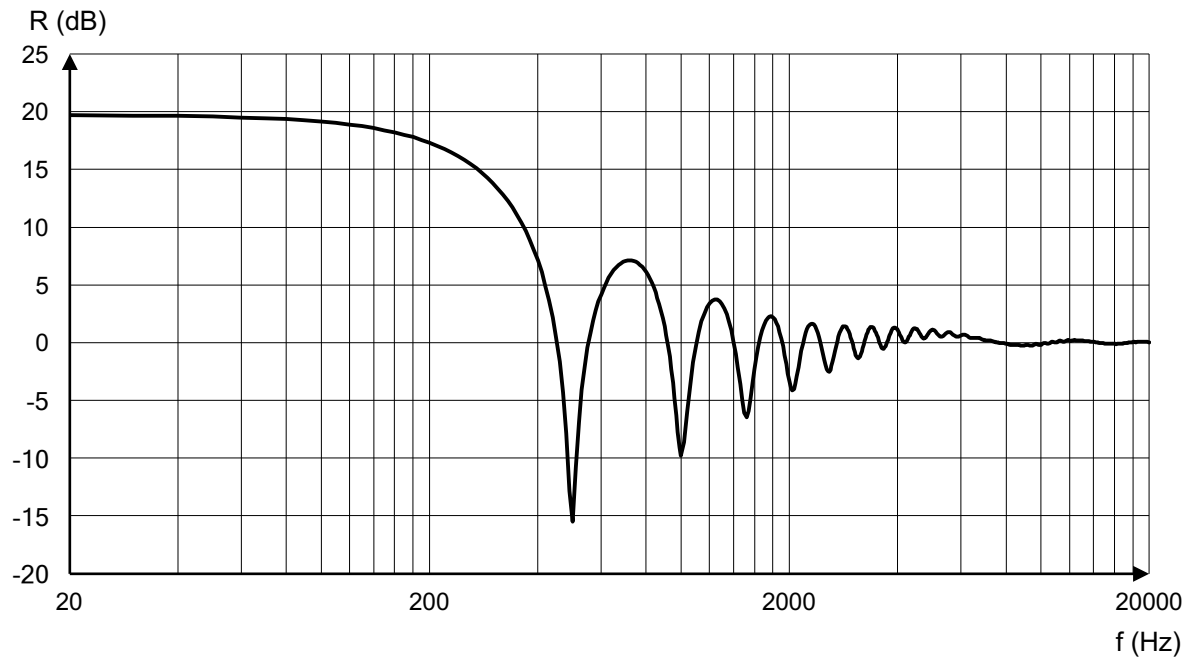


Figura 19: Redução sonora da abertura circular de acordo com Wilson e Soroka (raio de 2,5 cm).

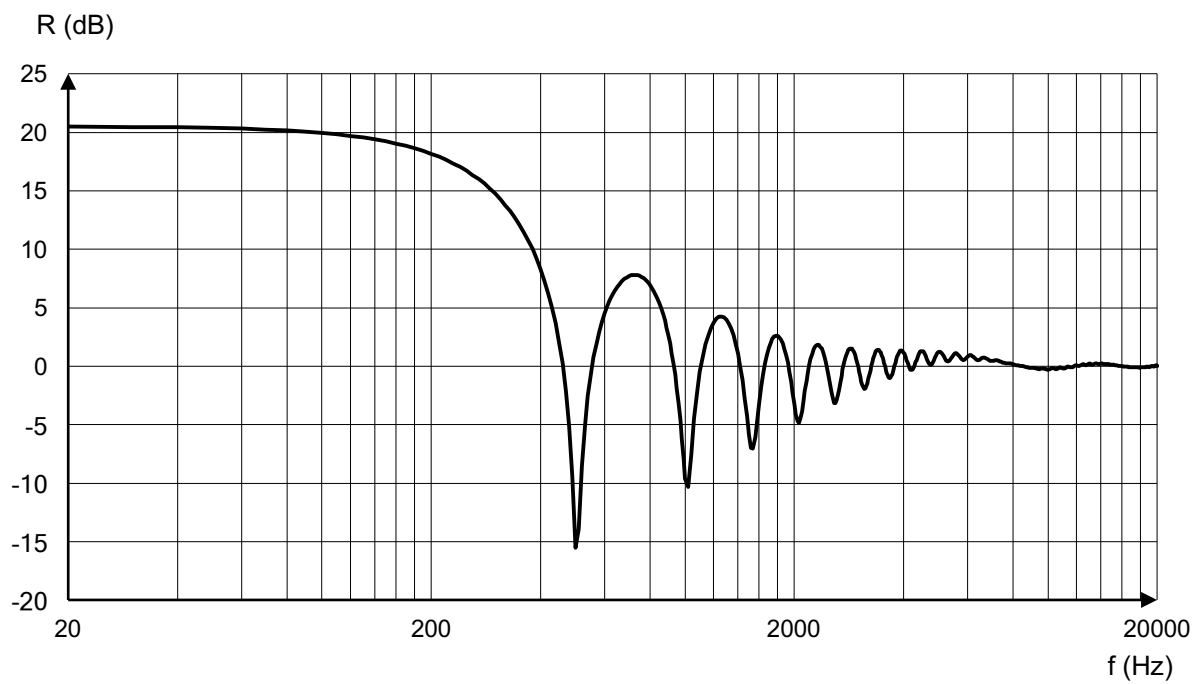


Figura 20: Redução sonora da abertura quadrada de acordo com Wilson e Soroka (aresta de 4 cm).

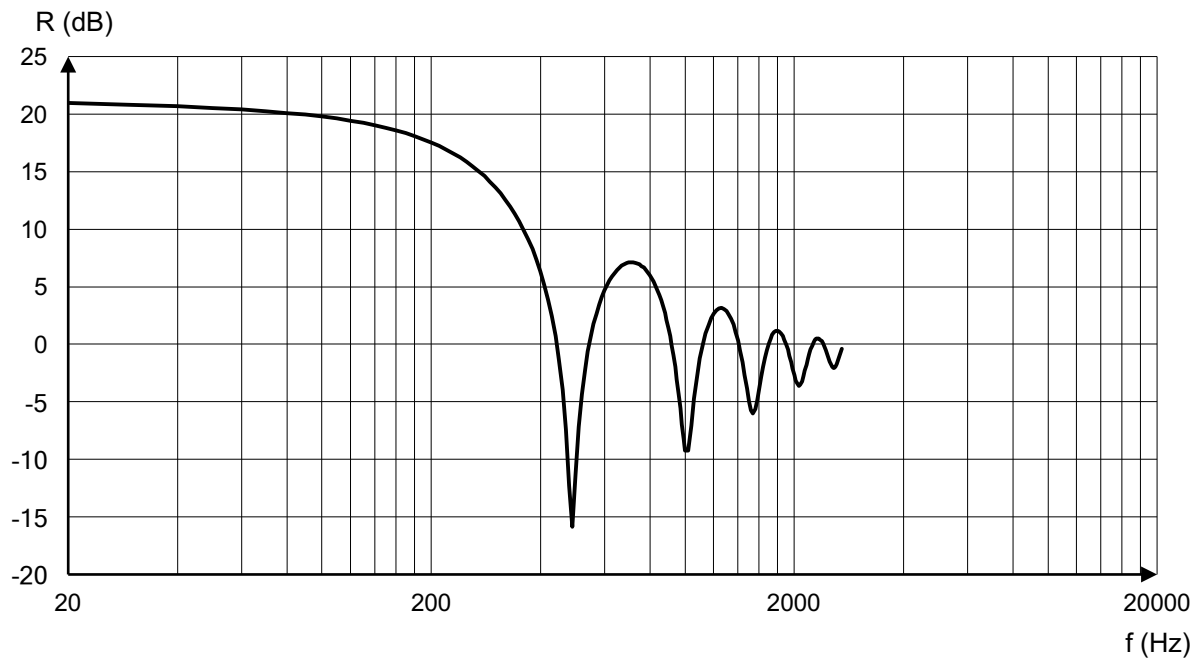


Figura 21: Redução sonora da abertura circular de acordo com Gomperts (raio de 2,5 cm).

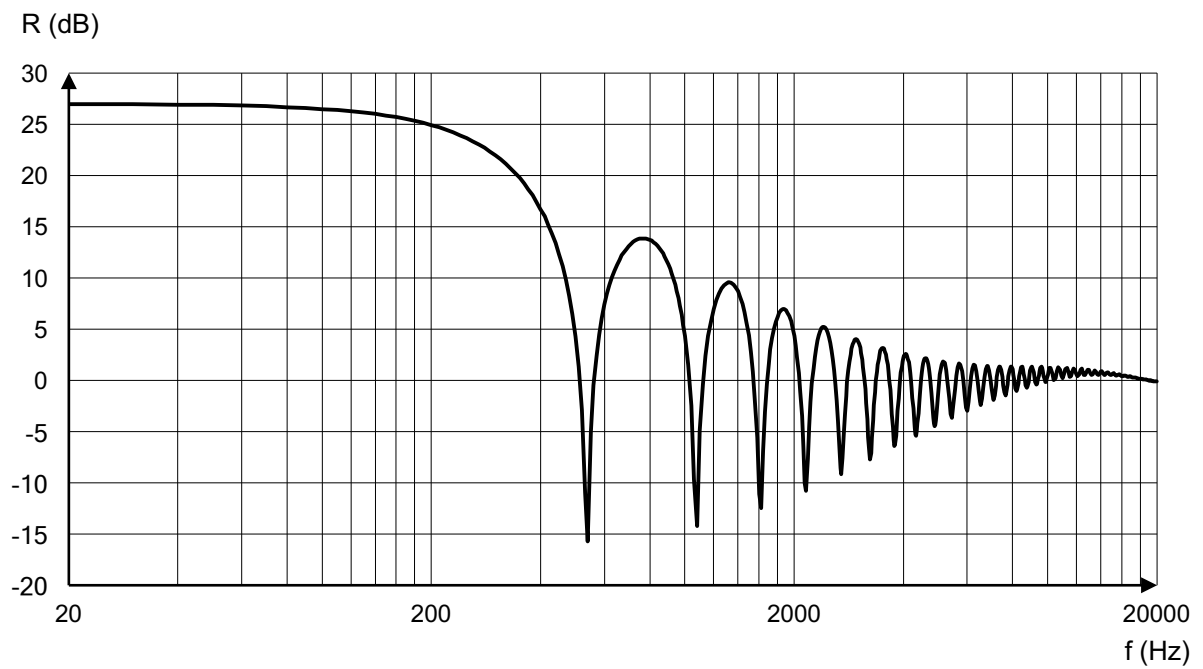


Figura 22: Redução sonora da abertura circular de acordo com Wilson e Soroka (raio de 1 cm).

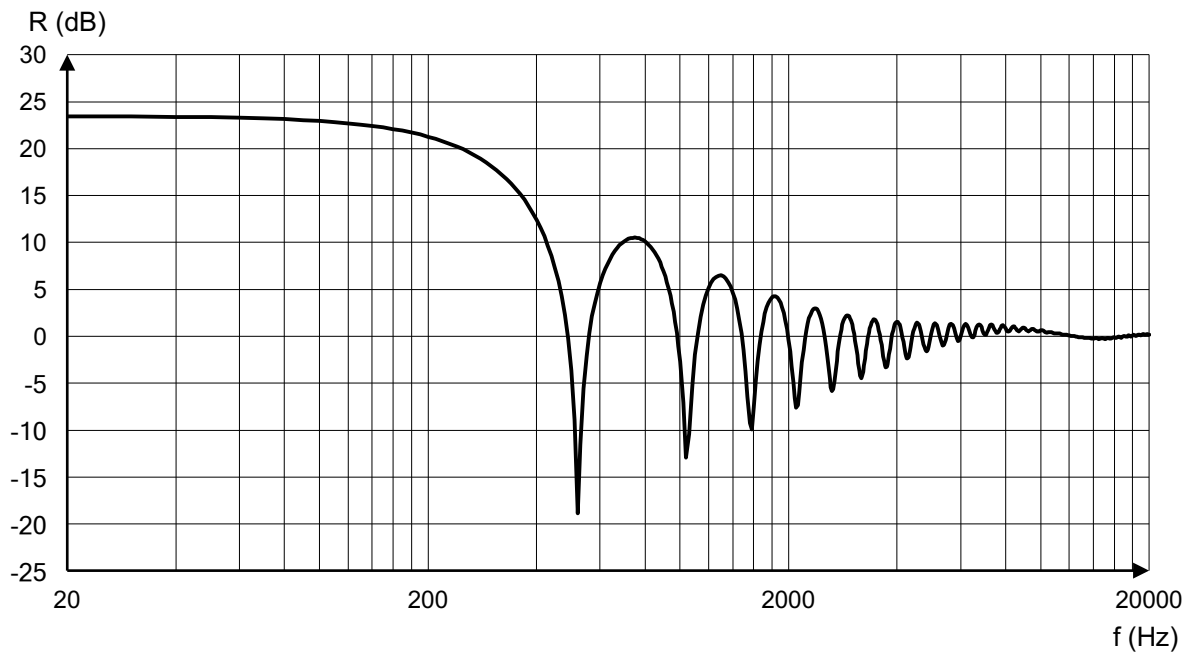


Figura 23: Redução sonora da abertura retangular de acordo com Wilson e Soroka ($1,5 \times 5,0 \text{ cm}^2$).

Como se pode ver pela Figura 21, foram desprezados os valores da redução sonora obtidos através da fórmula de Gomperts para valores de K superiores a 1,25.

Na Figura 24 apresenta-se a sobreposição das Figuras 19 a 23, destacando-se a vermelho a redução sonora da abertura circular com raio de de 1,0 cm e a azul a redução sonora da abertura circular com raio de 2,5 cm, de acordo com o método proposto por Wilson e Soroka.

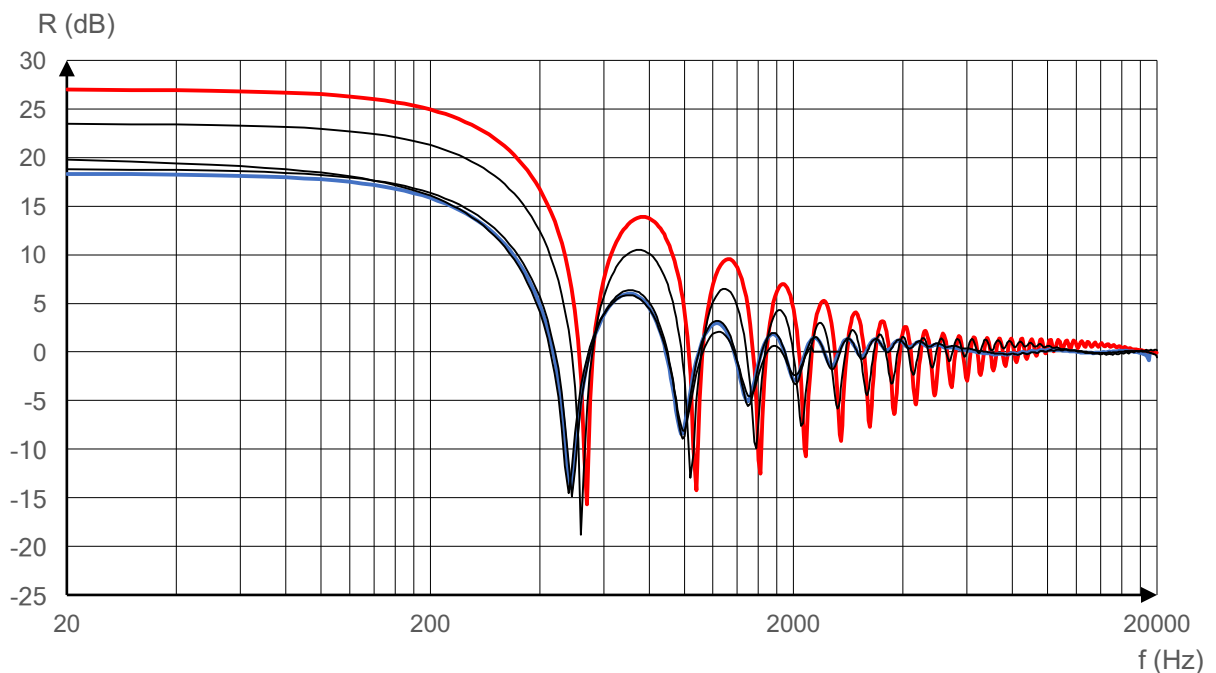


Figura 24: Sobreposição das Figuras 19 a 23.

Os valores únicos das reduções sonoras (R_w) das paredes de fachada com e sem a introdução de vãos envidraçados (mas sem aberturas de ventilação) são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Valores da redução sonora normalizada R_w nas paredes de fachada.

Solução construtiva	Sem instalação de envidraçado	Com instalação de envidraçado
Parede dupla	54	44
Parede de betão armado	56	44
Parede de tabique	55	44

De modo a analisar o impacto das aberturas de ventilação nas paredes, apresentam-se nas Figuras 25 a 39 os espectros das reduções sonoras das várias soluções construtivas de fachada após a introdução das aberturas. Apresenta-se, em cada figura, a comparação dos valores ponderados de redução sonora, R_w , obtidos com e sem inclusão das aberturas. A tracejado apresentam-se os espectros de redução sonora obtidos para cada fachada, sem inclusão de aberturas de ventilação com inclusão de envidraçados.

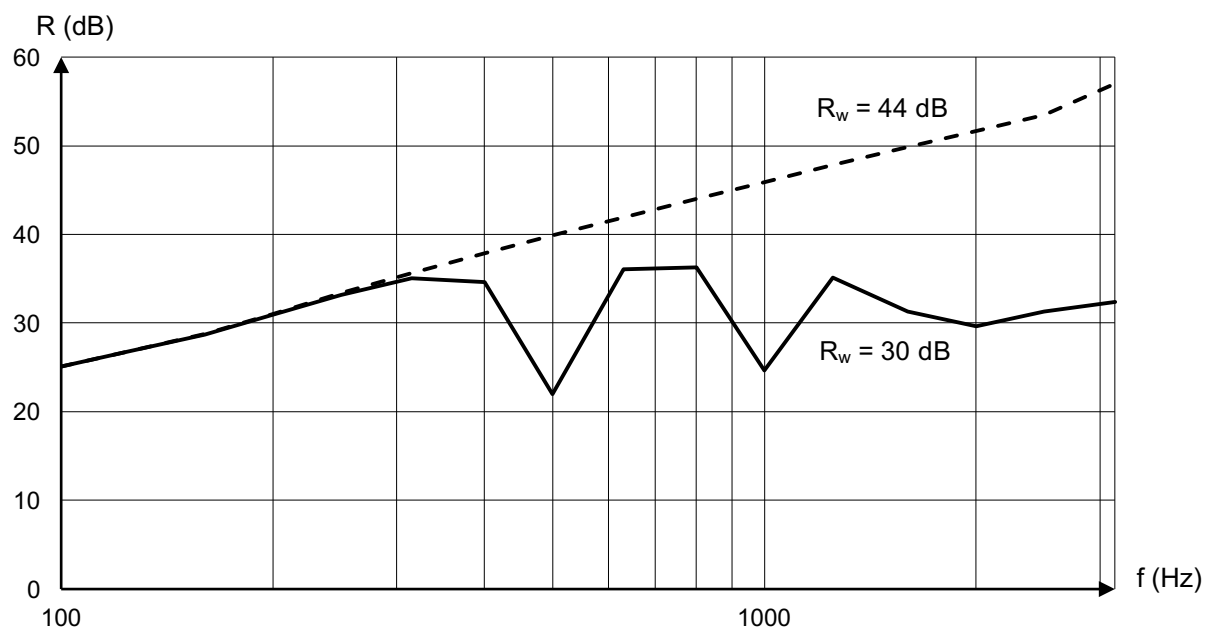


Figura 25: Redução sonora da parede dupla da Figura 16 com uma abertura circular com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão da abertura (- - -).

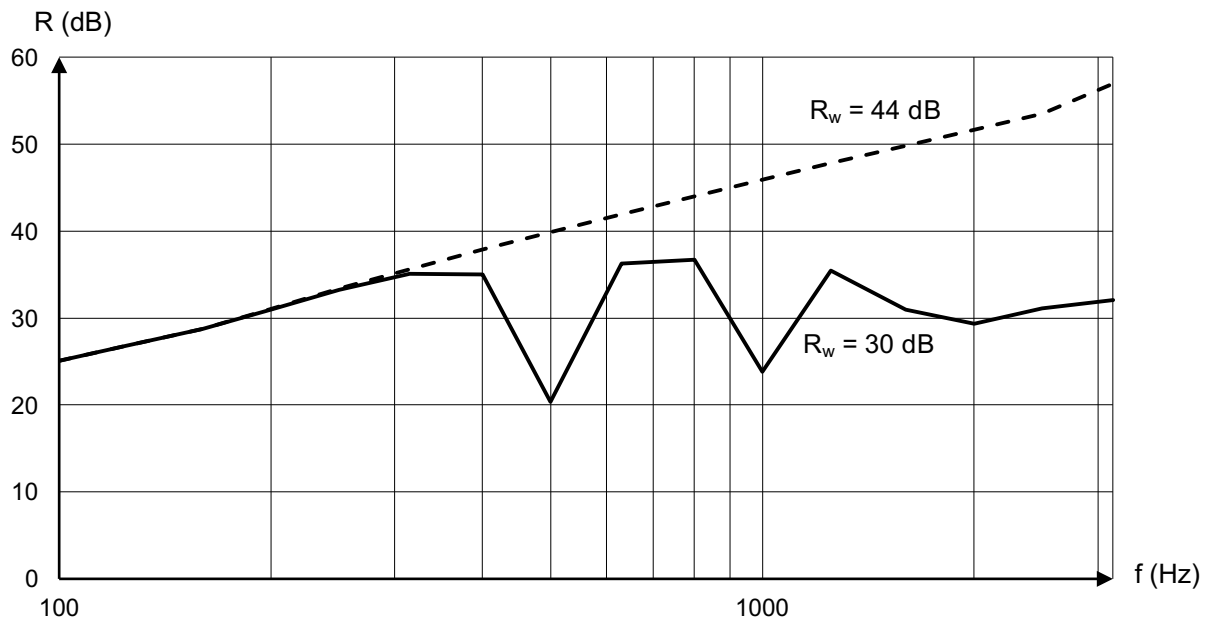


Figura 26: Redução sonora da parede dupla da Figura 16 com abertura quadrada com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

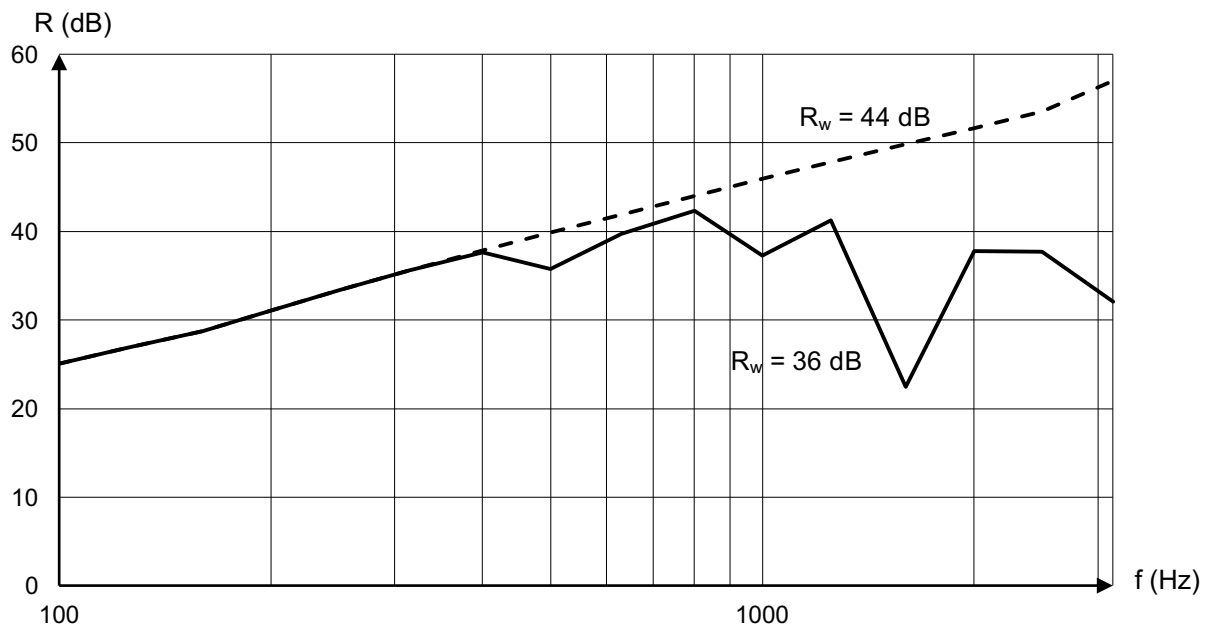


Figura 27: Redução sonora da parede dupla da Figura 16 com múltiplas aberturas circulares com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

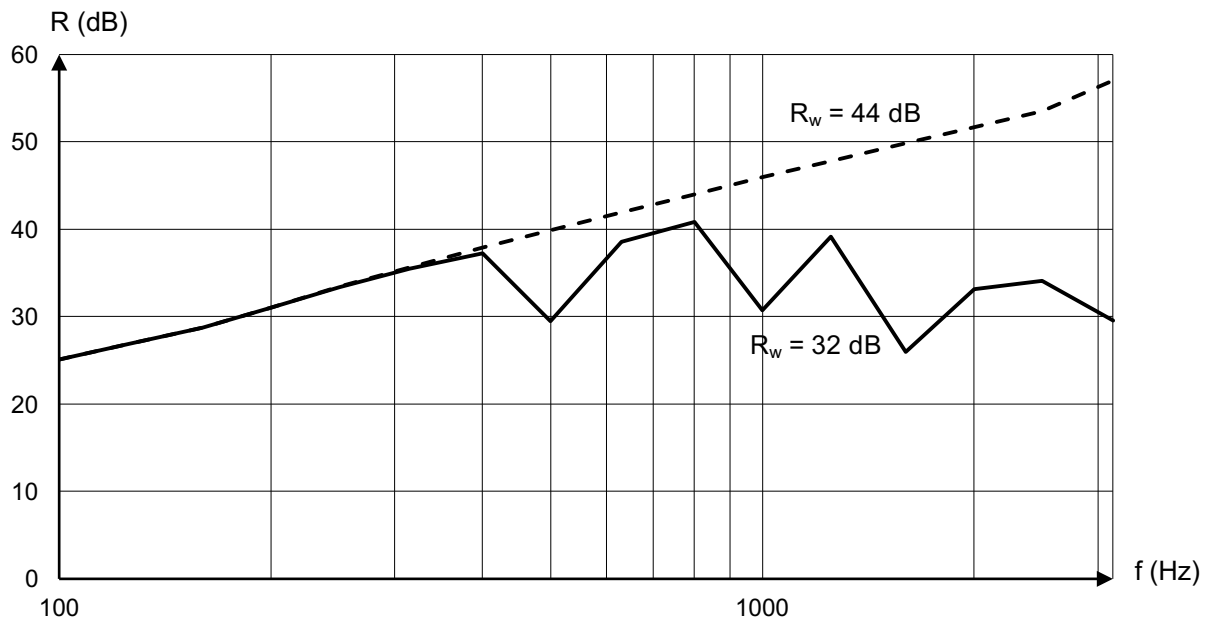


Figura 28: Redução sonora da parede dupla da Figura 16 com múltiplas aberturas retangulares com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

Como se pode observar nas Figuras 25 e 26, uma única abertura circular ou quadrada tem o mesmo desempenho acústico independentemente da sua geometria. Quando comparadas com as Figuras 27 e 28, observa-se que múltiplas aberturas de menores dimensões têm um melhor desempenho acústico.

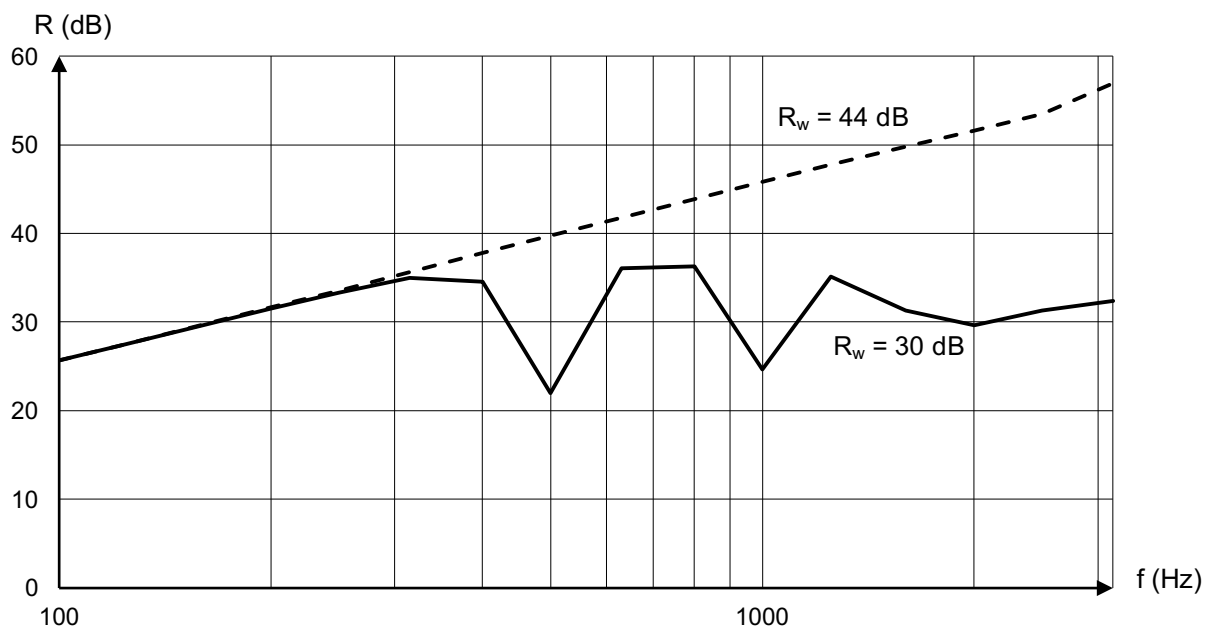


Figura 29: Redução sonora da parede de betão armado da Figura 17 com abertura circular com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

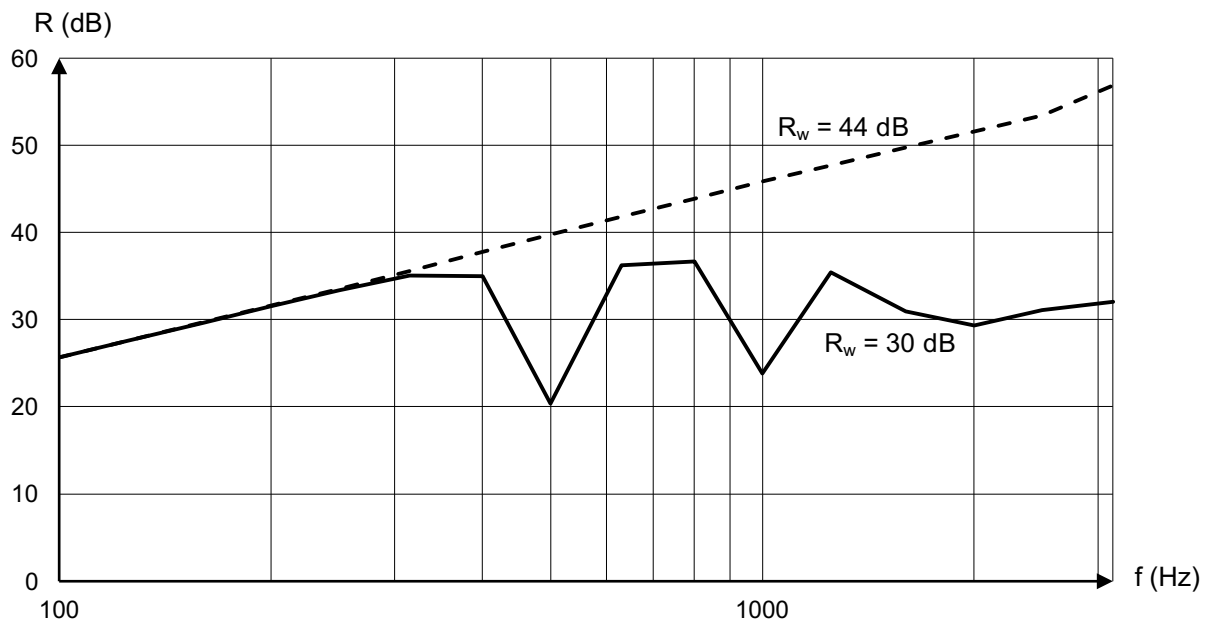


Figura 30: Redução sonora da parede de betão armado da Figura 17 com abertura quadrada com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

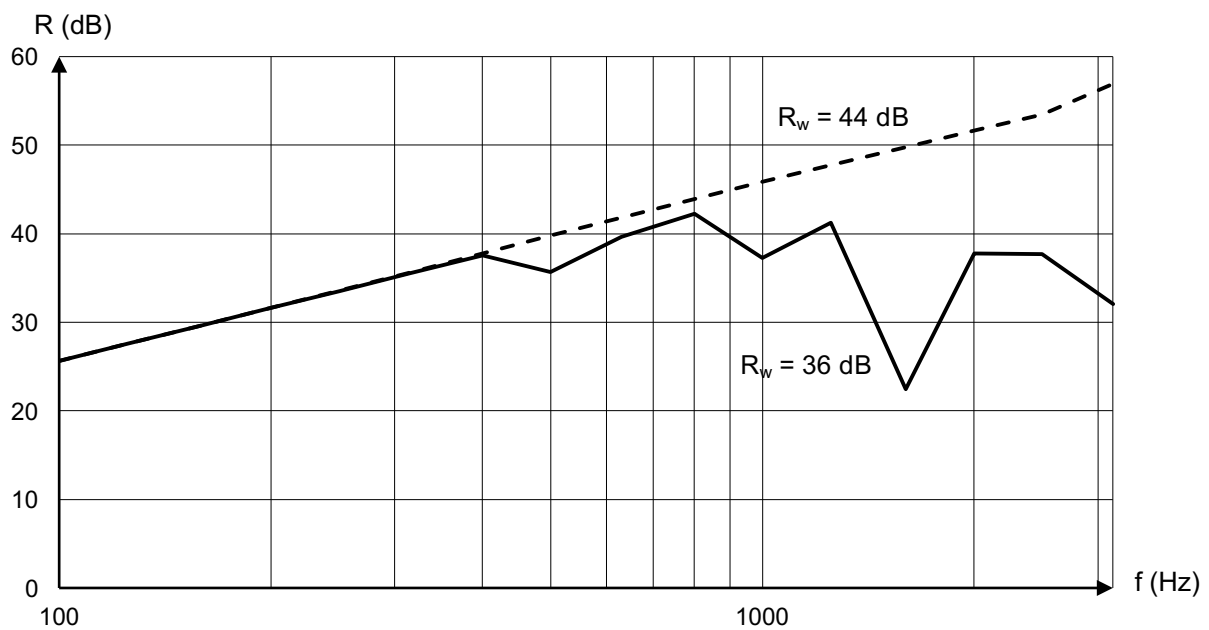


Figura 31: Redução sonora da parede de betão armado da Figura 17 com múltiplas aberturas circulares com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

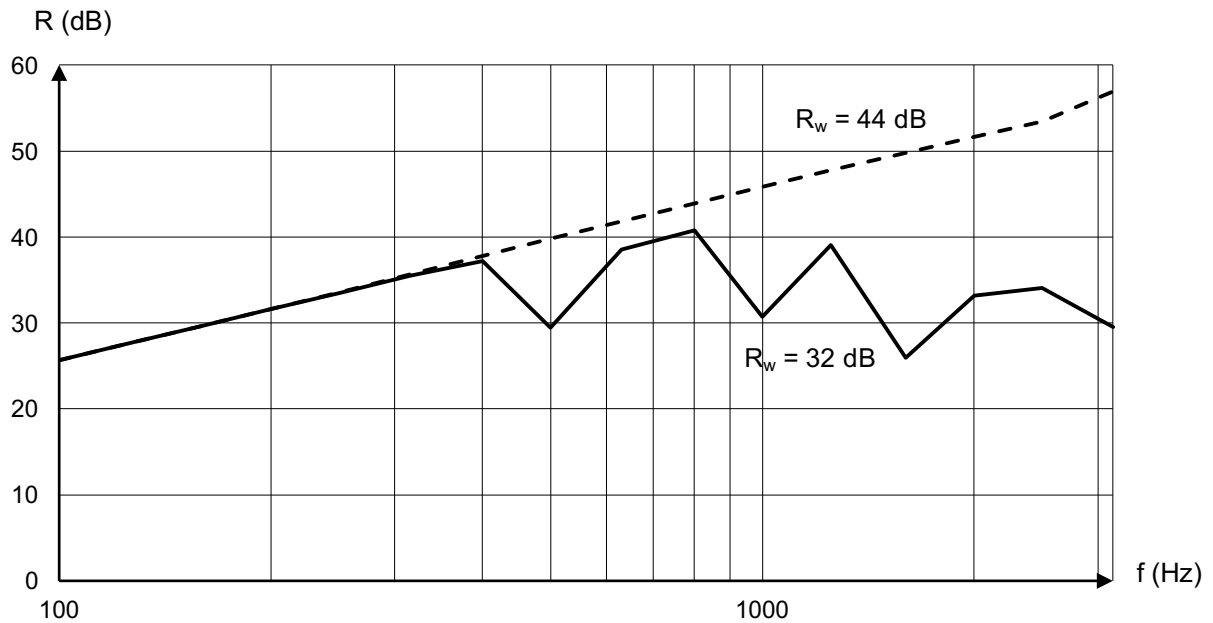


Figura 32: Redução sonora da parede de betão armado da Figura 17 com múltiplas aberturas retangulares com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

Analisando as Figuras 29 a 32, chegam-se às mesmas conclusões que as obtidas a partir das Figuras 25 a 28, ou seja, uma única abertura circular ou quadrada tem o mesmo desempenho acústico independentemente da sua geometria e a aplicação de múltiplas aberturas de menores dimensões resulta num melhor desempenho acústico.

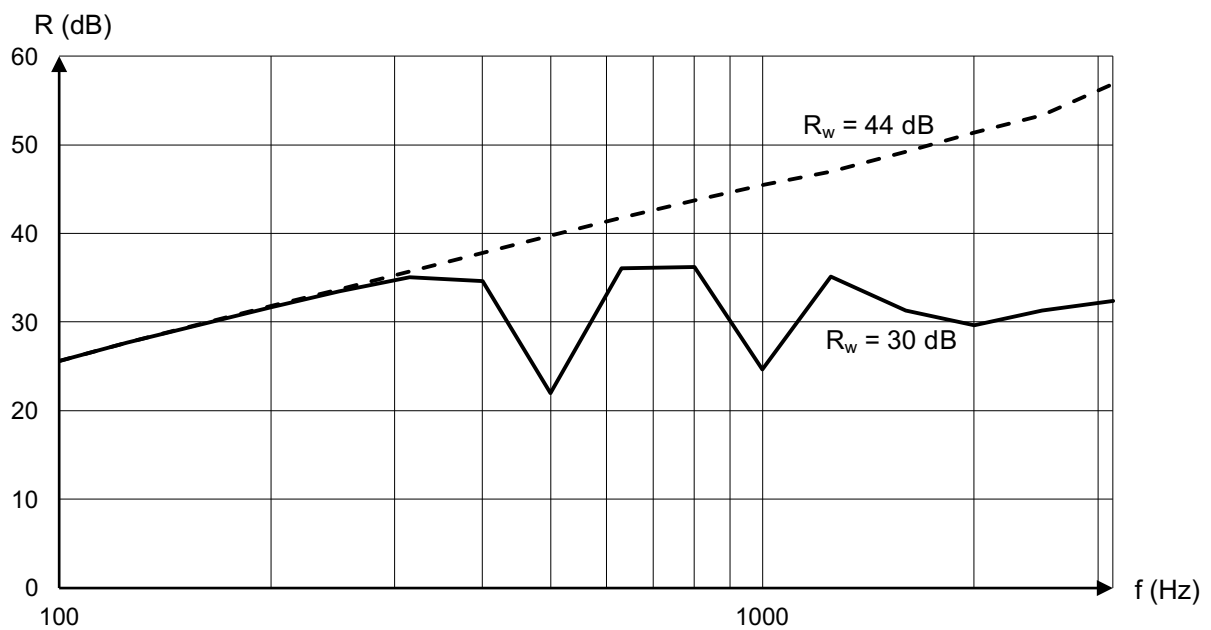


Figura 33: Redução sonora da parede de tabique da Figura 18 com abertura circular com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

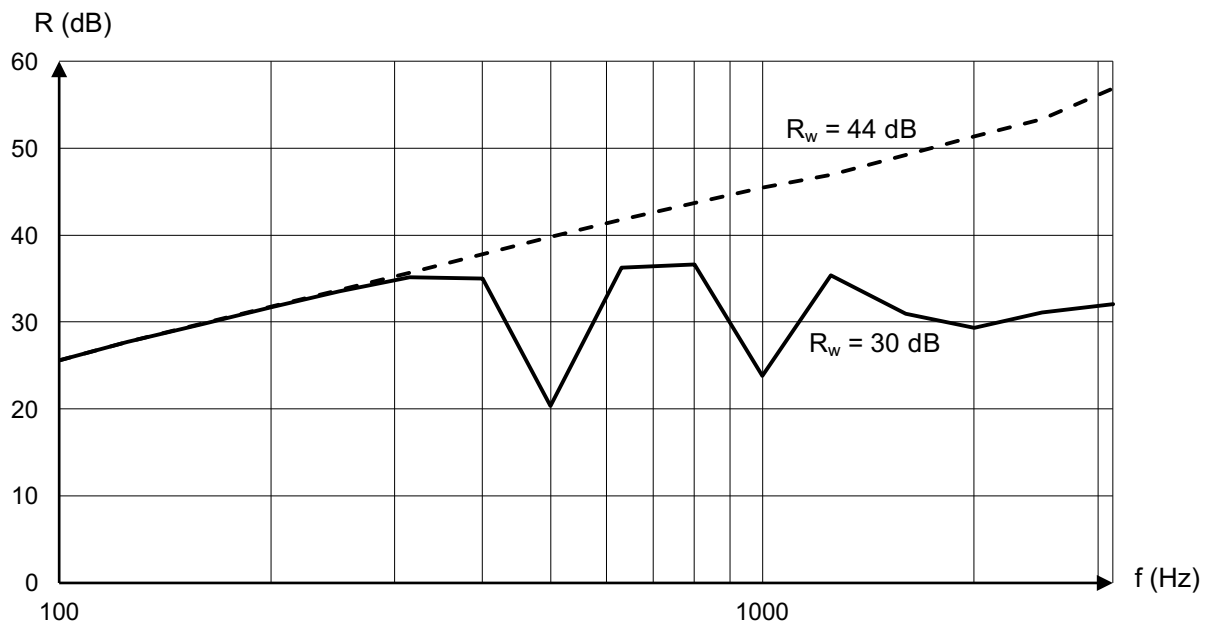


Figura 34: Redução sonora da parede de tabique da Figura 18 com abertura quadrada com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

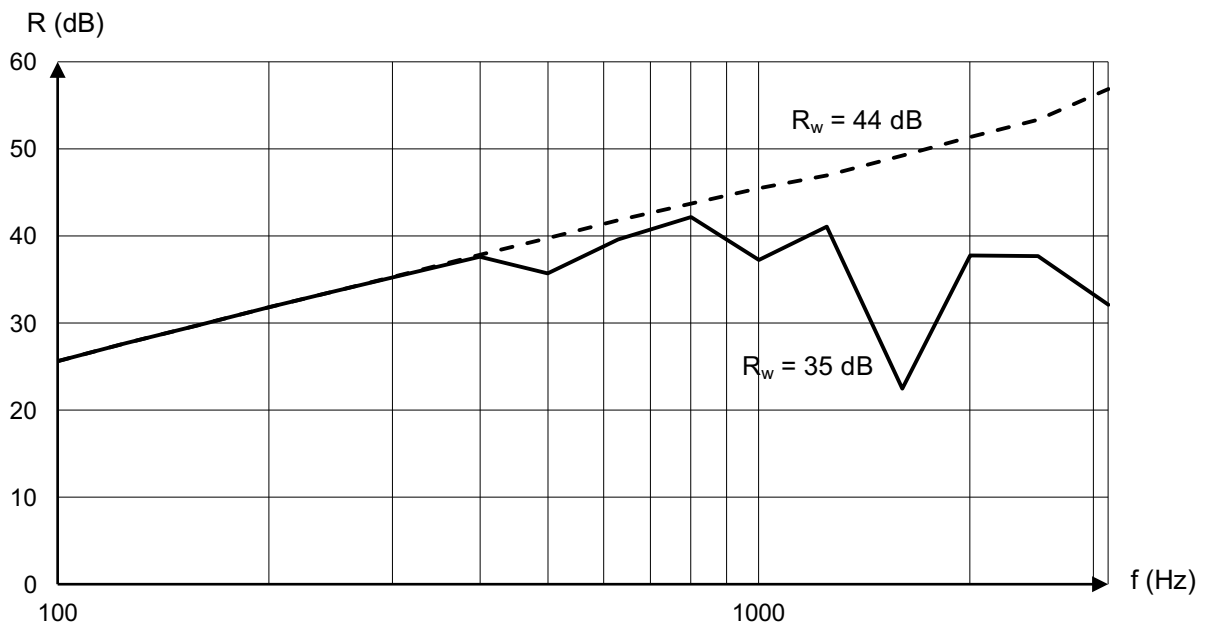


Figura 35: Redução sonora da parede de tabique da Figura 18 com múltiplas aberturas circulares com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

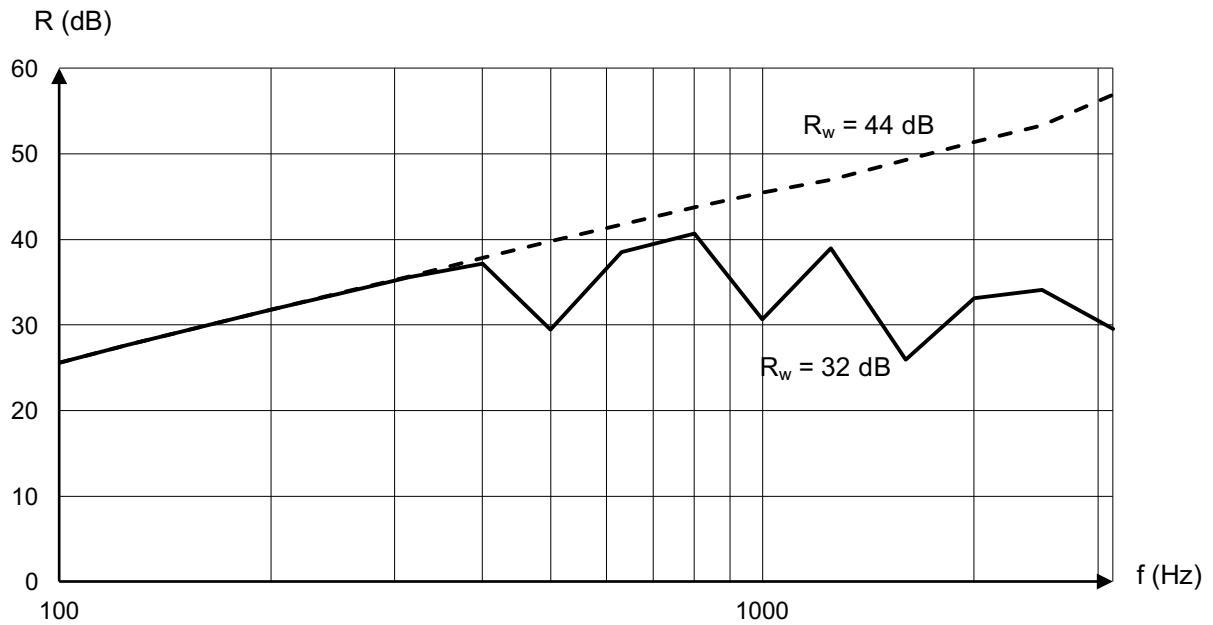


Figura 36: Redução sonora da parede de tabique da Figura 18 com múltiplas aberturas retangulares com desempenho estimado de acordo com Wilson e Soroka (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

Analisando as Figuras 33 a 36, obtêm-se as mesmas conclusões obtidas anteriormente, ou seja, uma única abertura circular ou quadrada tem o mesmo desempenho acústico independentemente da sua geometria e a aplicação de múltiplas aberturas de menores dimensões resulta num melhor desempenho acústico.

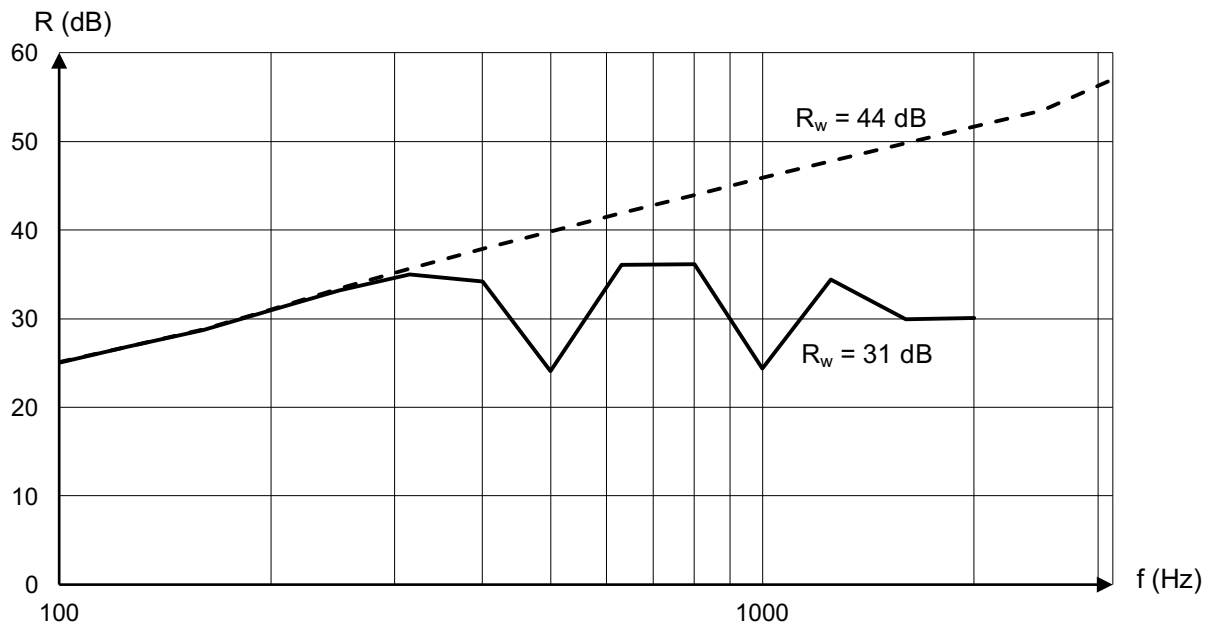


Figura 37: Redução sonora da parede dupla da Figura 16 com abertura circular com desempenho estimado de acordo com Gomperts (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

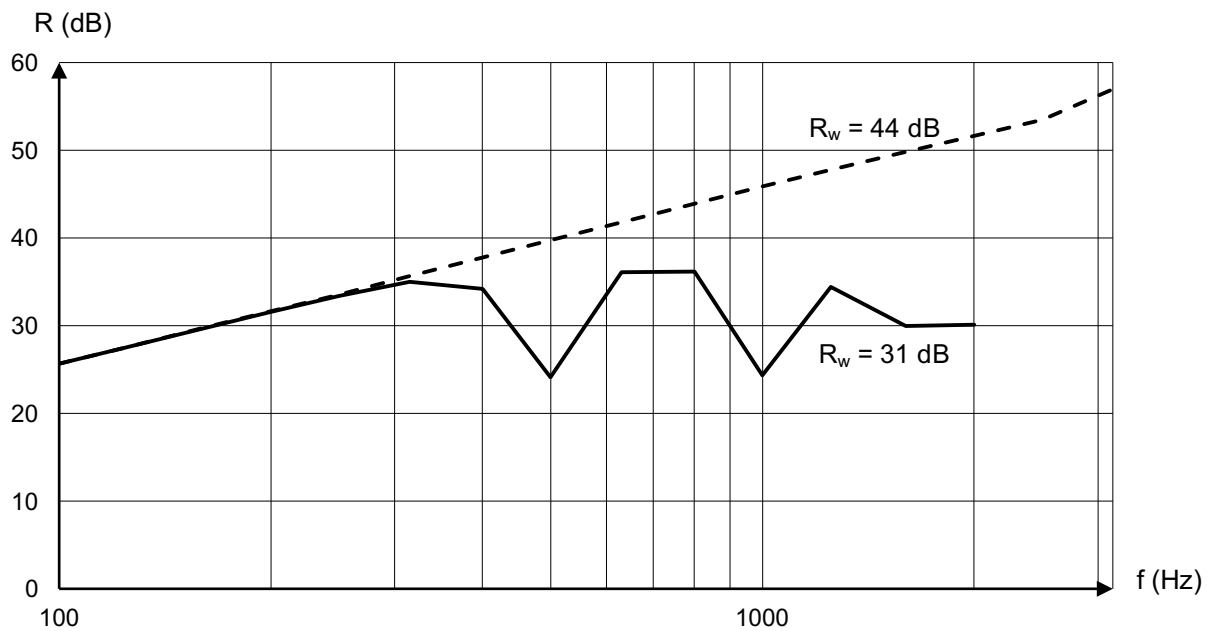


Figura 38: Redução sonora da parede de betão armado da Figura 17 com abertura circular com desempenho estimado de acordo com Gomperts (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

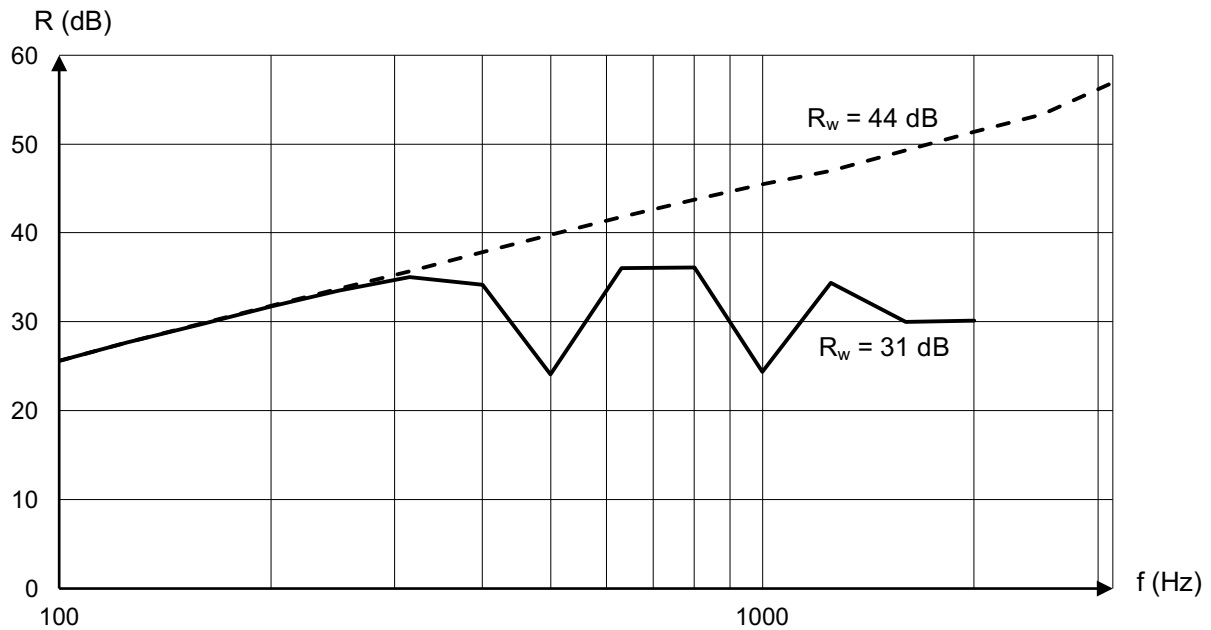


Figura 39: Redução sonora da parede de tabique da Figura 18 com abertura circular com desempenho estimado de acordo com Gomperts (—) e redução sonora da parede sem inclusão de abertura (- - -).

Analisando as Figuras 25 e 37, 29 e 38, e 33 e 39, observa-se que, com o método proposto por Wilson e Soroka, se obtêm valores de redução sonora inferiores ao método proposto por Gomperts. Esta discrepância entre os dois métodos deve-se ao facto de se terem truncado os valores que se encontravam fora do seu limite de validade no método proposto por Gomperts, resultando numa diferença de 1 dB.

Os valores da redução sonora ponderada de acordo com a norma ISO 717-1 [30] para as várias soluções construtivas e métodos de cálculo são resumidas na Tabela 24.

Tabela 24: Valores da redução sonora normalizada de acordo com a norma ISO 717-1.

Solução construtiva	Sem envidraçado	Com env. sem aberturas de ventilação	Abertura circular		Múltiplas aberturas circulares	Abertura quadrada	Múltiplas aberturas retang.
			Wilson e Soroka	Gomperts	Wilson e Soroka	Wilson e Soroka	Wilson e Soroka
Parede dupla	54	44	30	31	36	30	32
Parede de betão armado	56	44	30	31	36	30	32
Parede de tabique	55	44	30	31	35	30	32

Os procedimentos ilustrados neste capítulo para um caso de estudo foram repetidos para a totalidade dos 1440 casos de estudo definidos no Anexo A. No capítulo seguinte faz-se a análise dos resultados globais.

4 Análise de resultados dos casos de estudo

4.1 Introdução

Neste capítulo, o procedimento de análise do efeito das aberturas no isolamento sonoro de uma parede é repetido para a totalidade dos 1440 casos de estudo, apresentando-se aqui os resultados globais.

Na Figura 40 pode-se observar que a área de abertura de ventilação necessária em cada caso de estudo - eq. (10) - varia linearmente com o volume do compartimento, sendo o declive das retas mais elevado para as classes de permeabilidade mais altas.

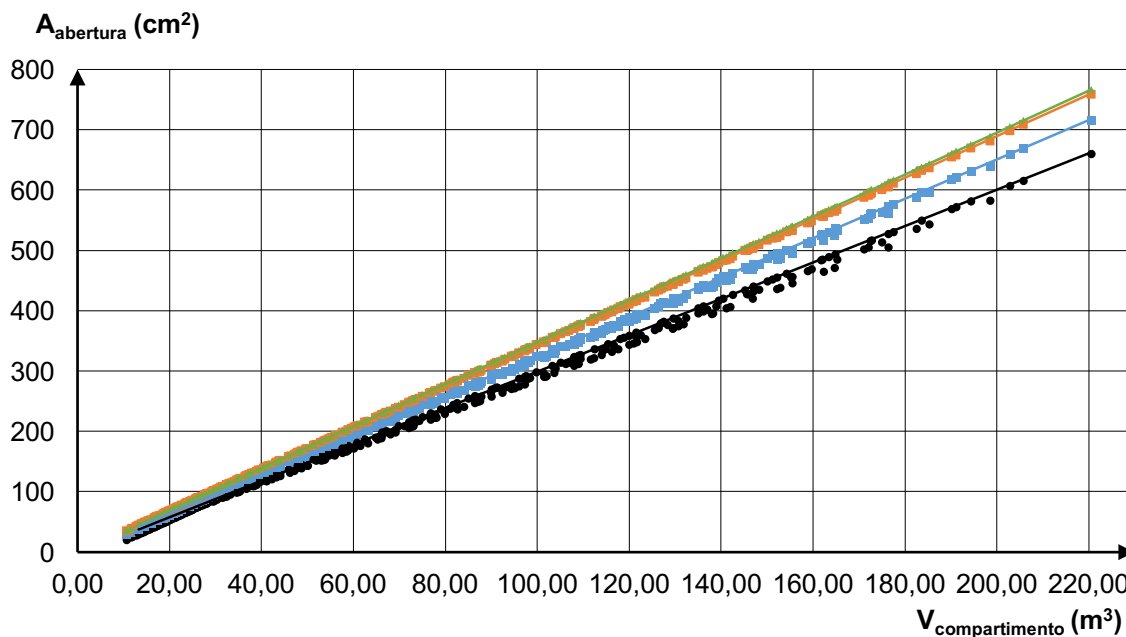


Figura 40: Área das aberturas em função do volume dos compartimentos, de acordo com a classe de permeabilidade.

(●: classe 1; ●: classe 2; ●: classe 3; ●: classe 4).

Na Tabela 25 apresentam-se as aproximações obtidas por regressão linear para as funções lineares $A = aV + b$ da área de abertura de ventilação dependendo do volume. Os coeficientes de correlação obtidos são elevados, pelo que a utilização destas expressões em projeto é razoável.

Tabela 25: Aproximações obtidas por regressão linear para a área de abertura de ventilação em função do volume.

Classe de permeabilidade	a	b	Coefficiente de correlação
4	3,4782	-0,1816	1
3	3,4474	-0,3632	1
2	3,2629	-1,4529	0,99997
1	3,0169	-2,9059	0,99986

Nas secções seguintes é efetuada, para cada tipo de parede, a análise dos resultados, arredondados à unidade, dos casos de estudo para cada tipo de abertura: uma única abertura circular; múltiplas aberturas circulares; uma única abertura quadrada; e várias aberturas retangulares.

4.2 Única abertura circular – Wilson e Soroka

Nas Figuras 41 a 43 apresentam-se os resultados obtidos para o valor ponderado da redução sonora das paredes com envidraçados instalados e uma abertura circular, cuja contribuição foi estimada de acordo com Wilson e Soroka.

Nas Figuras 44 a 46 apresenta-se a redução sonora em função da área da abertura de ventilação e nas Figuras 47 a 49 apresenta-se a redução sonora em função da relação entre a área da abertura e a área da parede.

Como se pode observar, para a mesma área de abertura podem obter-se, em cada parede, diferentes valores de redução sonora. Isso deve-se ao facto de se ter em conta a variação do pé direito e a relação entre as dimensões do compartimento, o que faz com que a mesma área da parede de menor área (parede em estudo) possa surgir para diferentes larguras da parede e que para paredes com a mesma área, possam ser consideradas áreas de envidraçados diferentes.

Observa-se a diminuição do isolamento sonoro com o aumento da área das aberturas. Observa-se também que o aumento da classe de permeabilidade conduz a isolamentos sonoros mais baixos, o que se deve ao facto de as áreas de aberturas terem de ser maiores nestes casos. As curvas de tendência obtidas são praticamente idênticas para os diferentes tipos de parede, o que se deve ao facto de o isolamento sonoro ser condicionado pelo envidraçado e pelas aberturas e não pela parede.

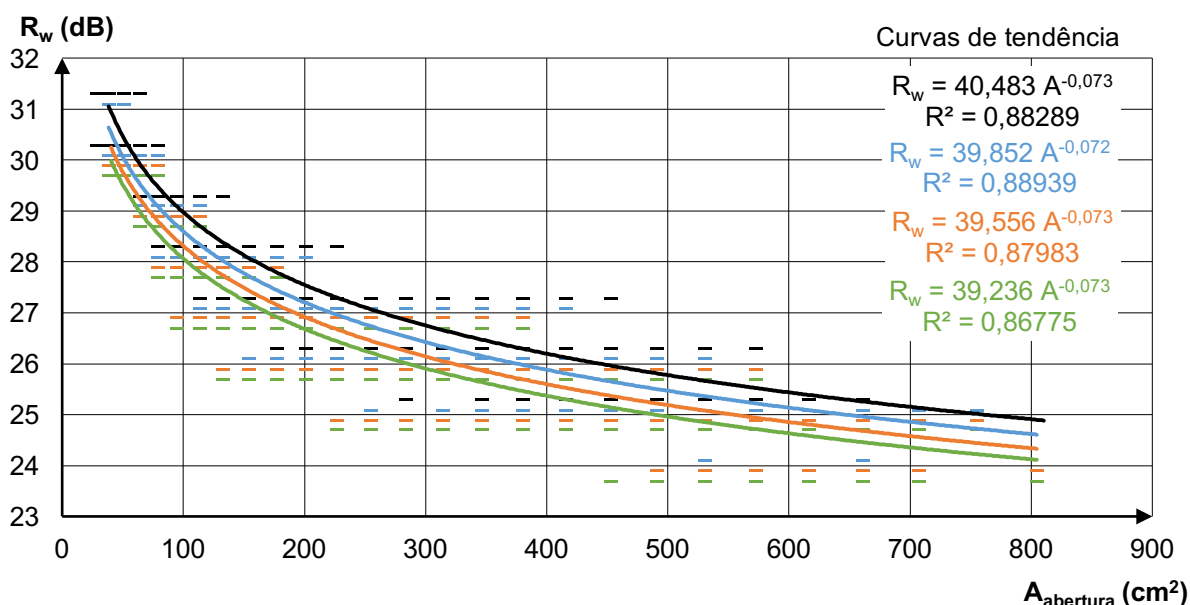


Figura 41: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

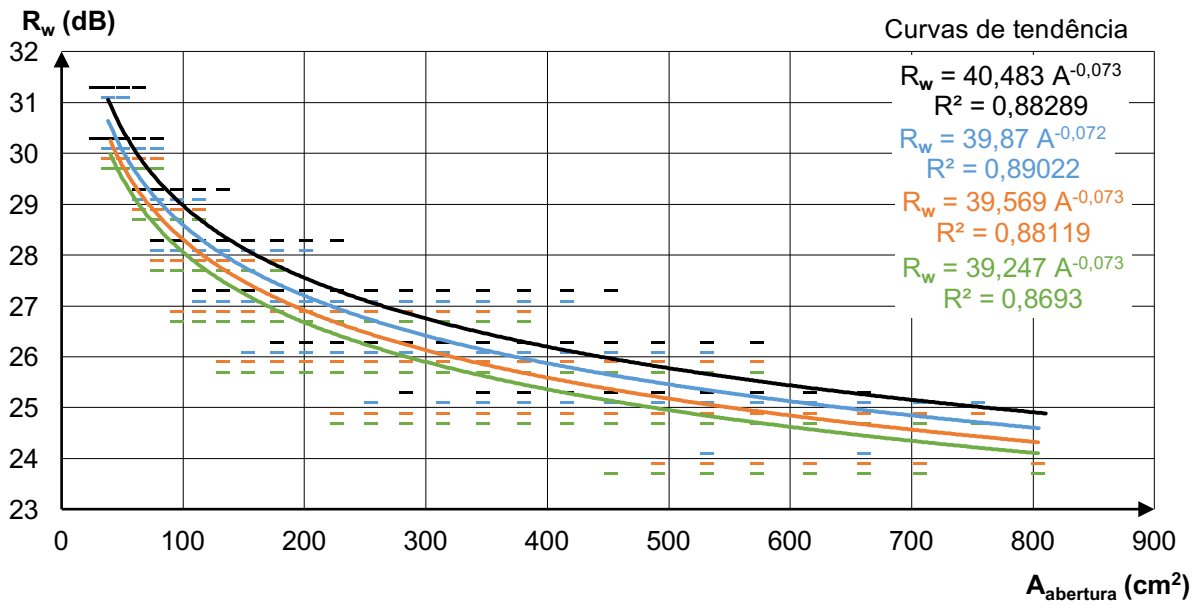


Figura 42: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

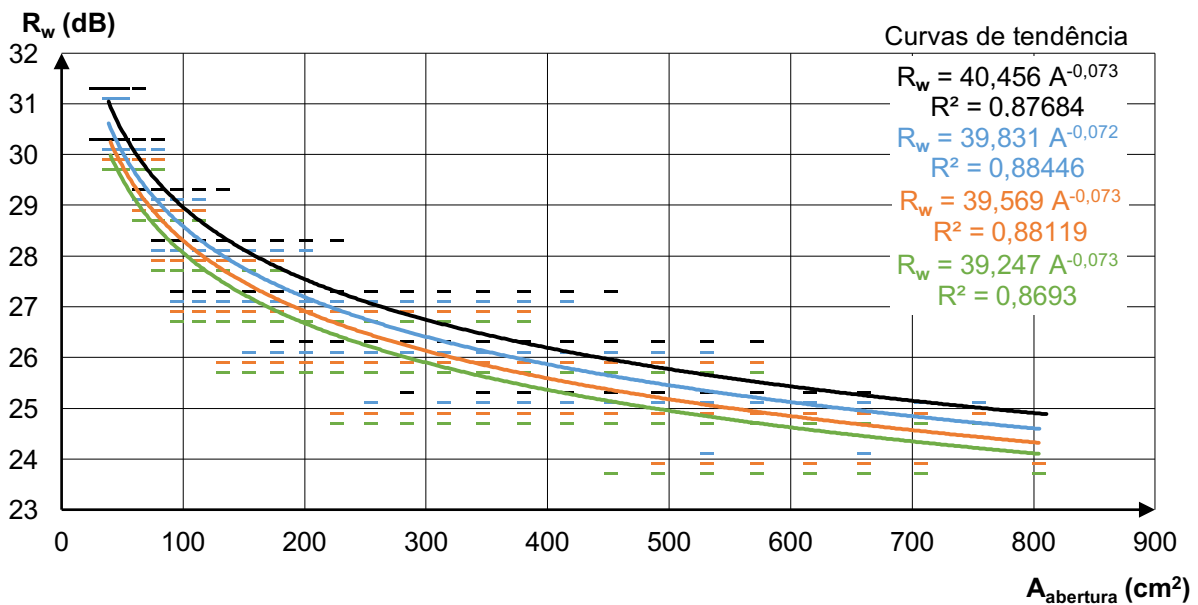


Figura 43: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

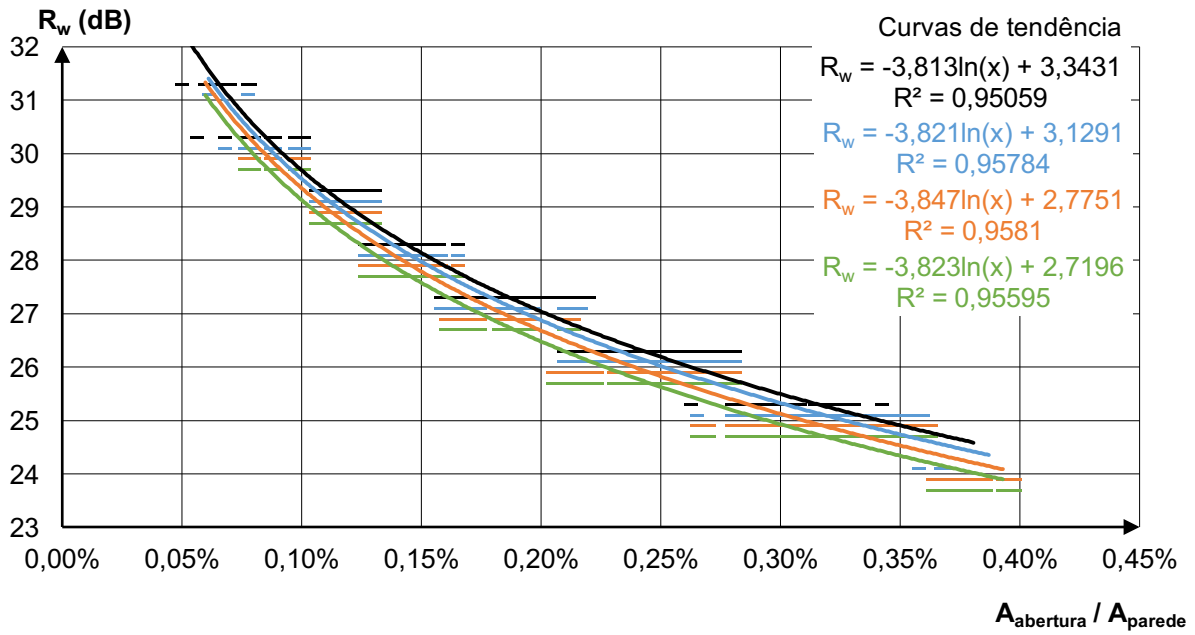


Figura 44: Redução sonora da parede dupla $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

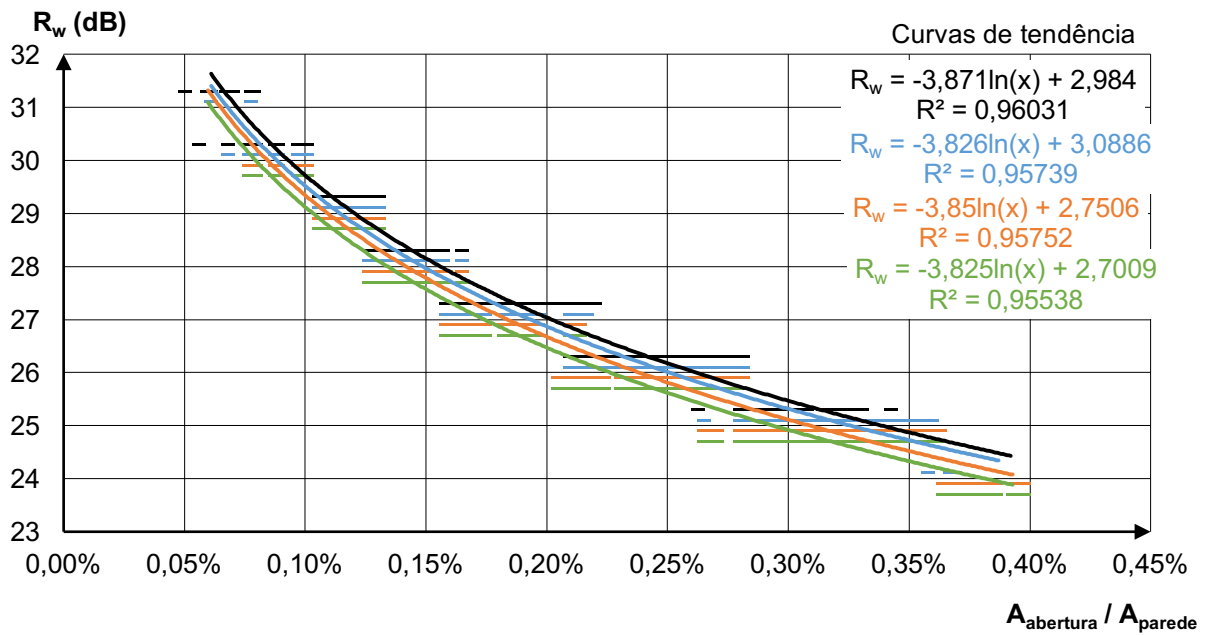


Figura 45: Redução sonora da parede de concreto armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

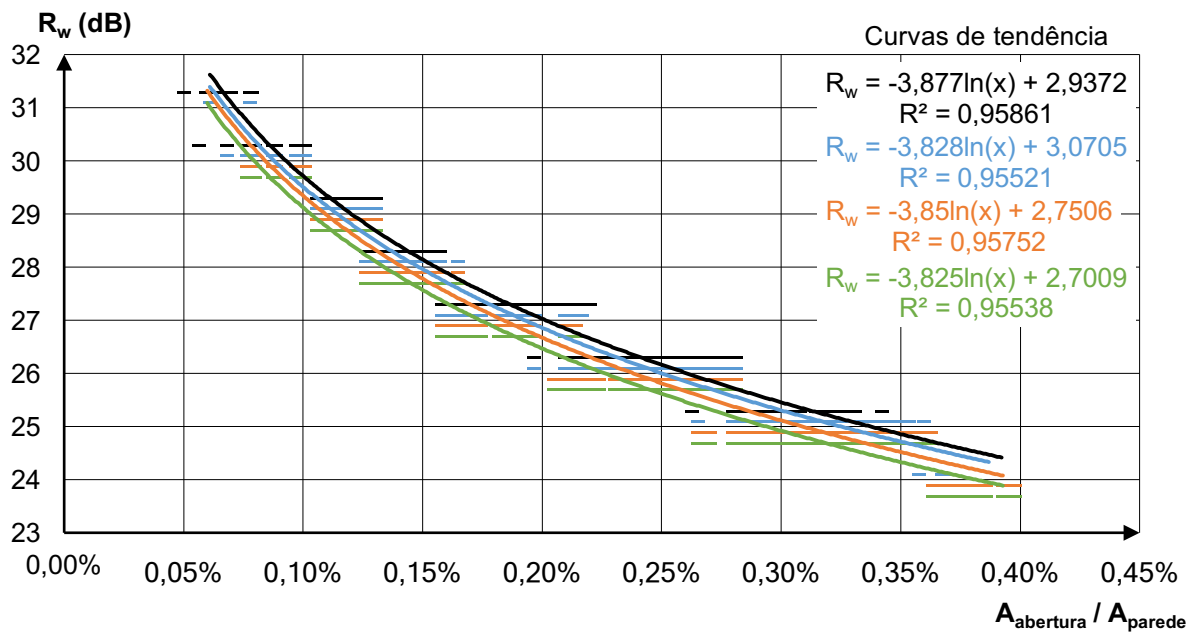


Figura 46: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

Um dos objetivos da presente dissertação é avaliar a fiabilidade de aplicação de um método de cálculo simplificado de isolamento sonoro na presença de aberturas. Tal método consiste na avaliação simplificada descrita no capítulo 2 da redução sonora ponderada da parede e do envidraçado e na aplicação da eq. (44) considerando uma redução sonora nula para a abertura de ventilação. Os resultados assim obtidos (método simplificado) são comparados com os resultados anteriores (obtidos pelo método doravante designado por detalhado).

Nas Figuras 47 a 49, podem ser observadas as diferenças entre as reduções sonoras calculadas através do método detalhado e do método simplificado.

Como se pode observar, apesar das aberturas fornecerem algum isolamento sonoro para as baixas frequências (ver capítulo 3), o método simplificado é conservativo apenas para as classes de permeabilidade A1 e A2 com aberturas superiores a 300 a 400 cm².

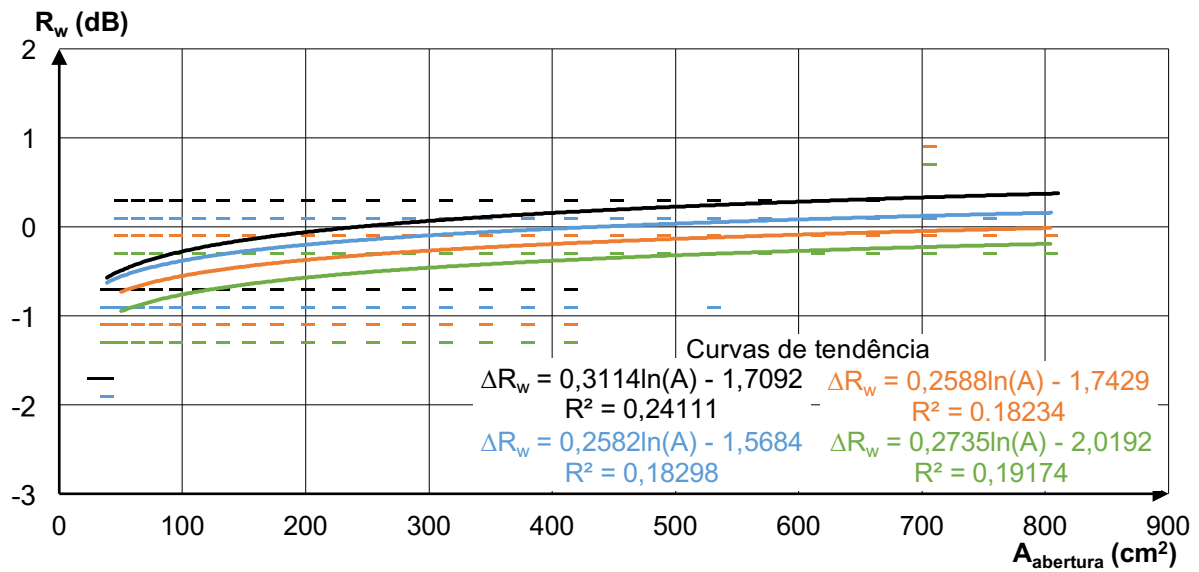


Figura 47: Diferença nas reduções sonoras obtidas pelo método detalhado e simplificado para a parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

Para aberturas de área inferior a 400 cm^2 , o método simplificado pode introduzir erros de até 1 dB nas classes de permeabilidade A3 e A4 e até ligeiramente superior para as classes de permeabilidade A1 e A2.

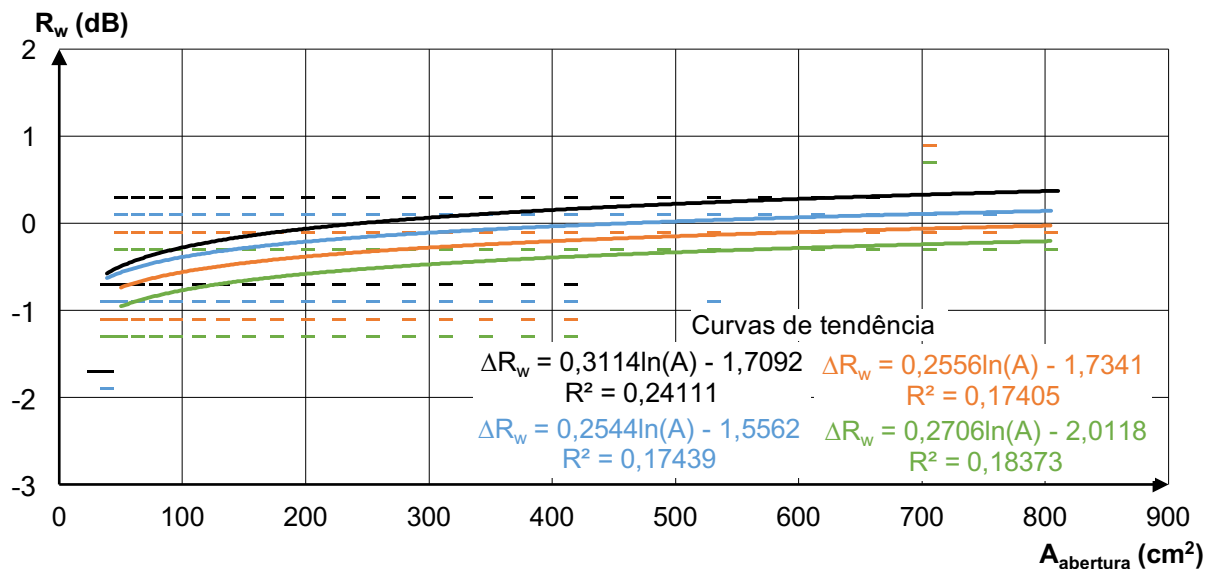


Figura 48: Diferença nas reduções sonoras obtidas pelo método detalhado e simplificado para a parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

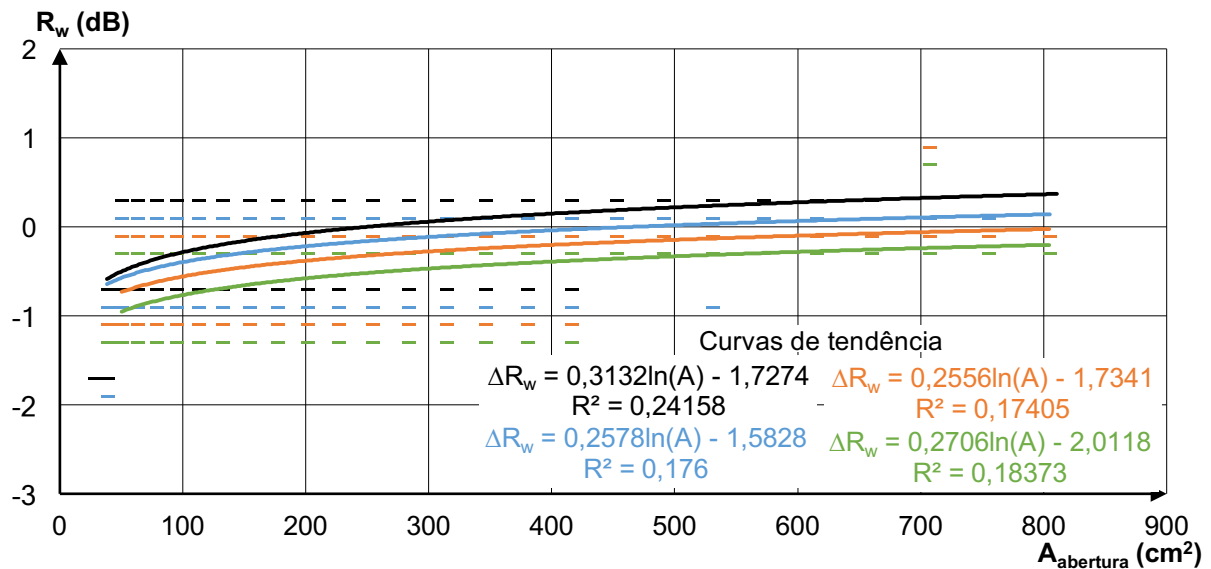


Figura 49: Diferença na redução sonora obtidas pelo método detalhado e simplificado para a parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura circular, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

4.3 Múltiplas aberturas circulares – Wilson e Soroka

Nas Figuras 50 a 55, apresentam-se os resultados obtidos para a redução sonora dos diferentes tipos de parede com os envidraçados instalados e com inclusão de múltiplas aberturas circulares de 1 cm de raio, cuja contribuição para o isolamento sonoro foi estimada de acordo com Wilson e Soroka.

As Figuras 50 a 55 conduzem a conclusões semelhantes às obtidas para uma única abertura circular, constatando-se, no entanto, que o recurso a mais aberturas mais pequenas conduz a menor diminuição do isolamento sonoro global, com ganhos de até 5 dB.

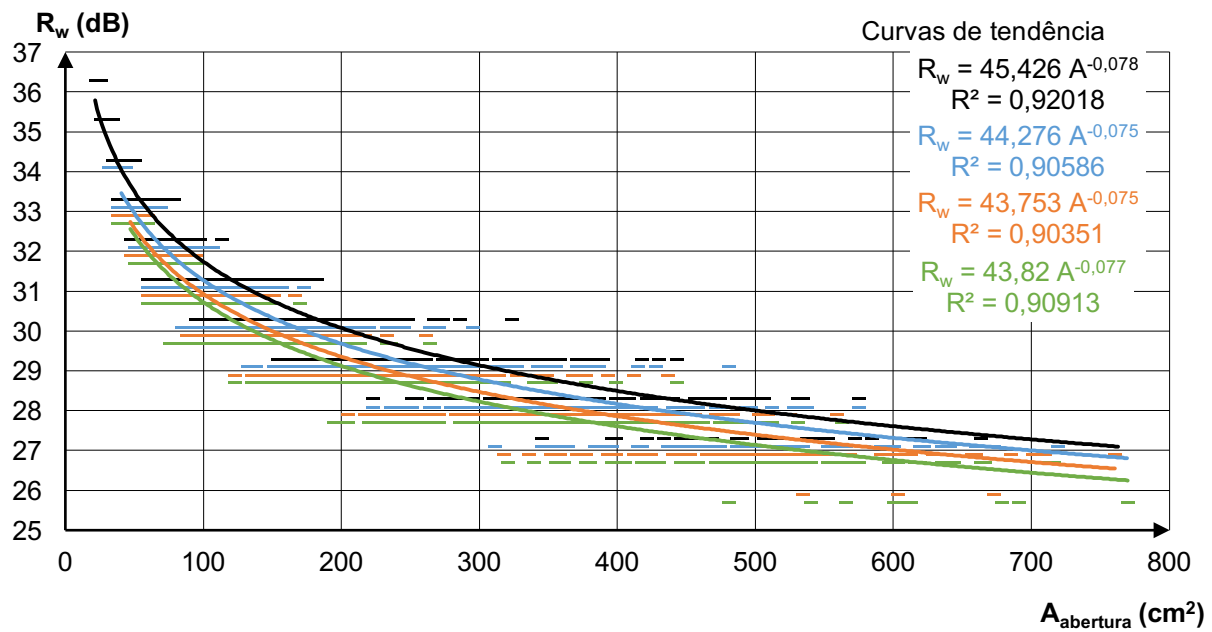


Figura 50: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

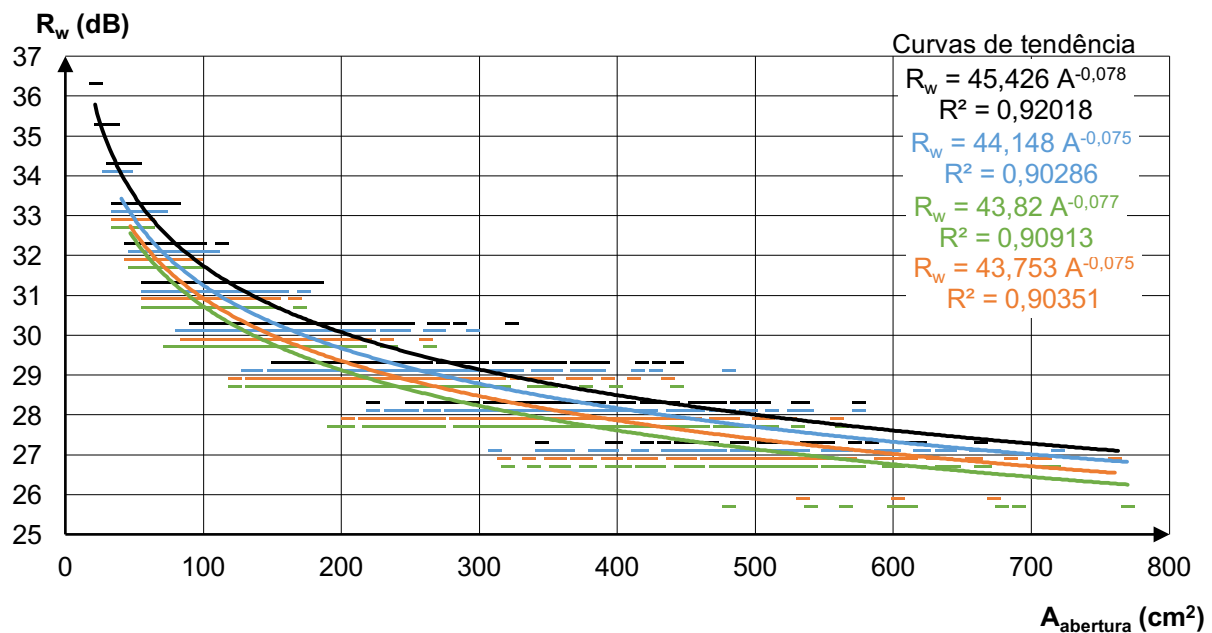


Figura 51: Redução sonora da parede de concreto armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

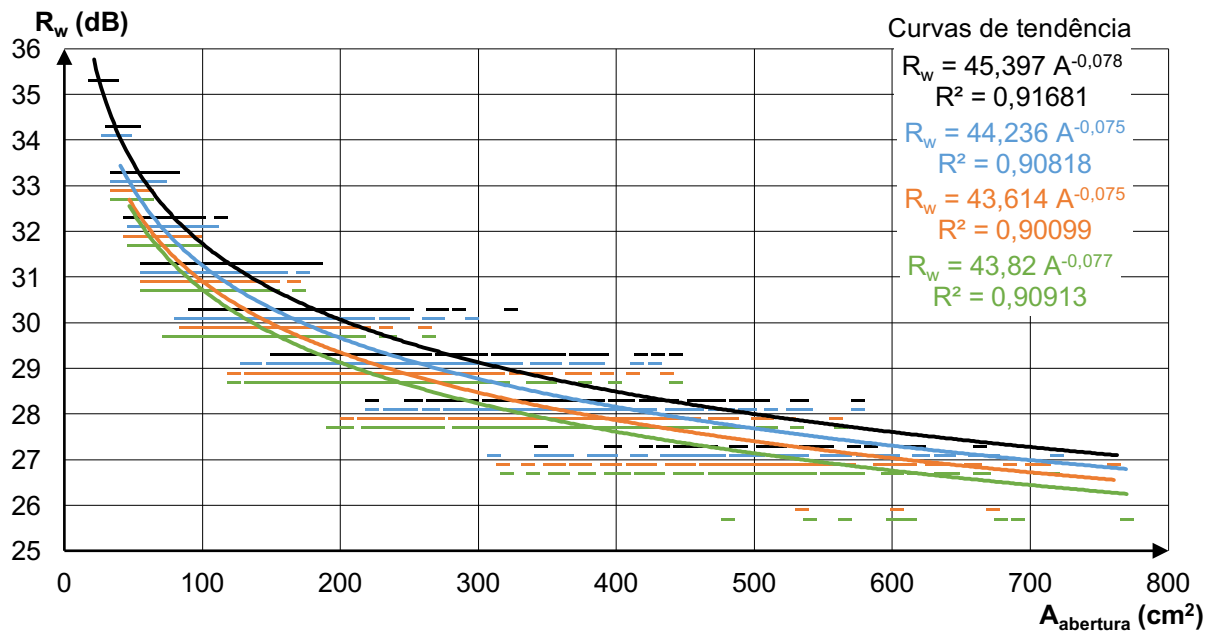


Figura 52: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

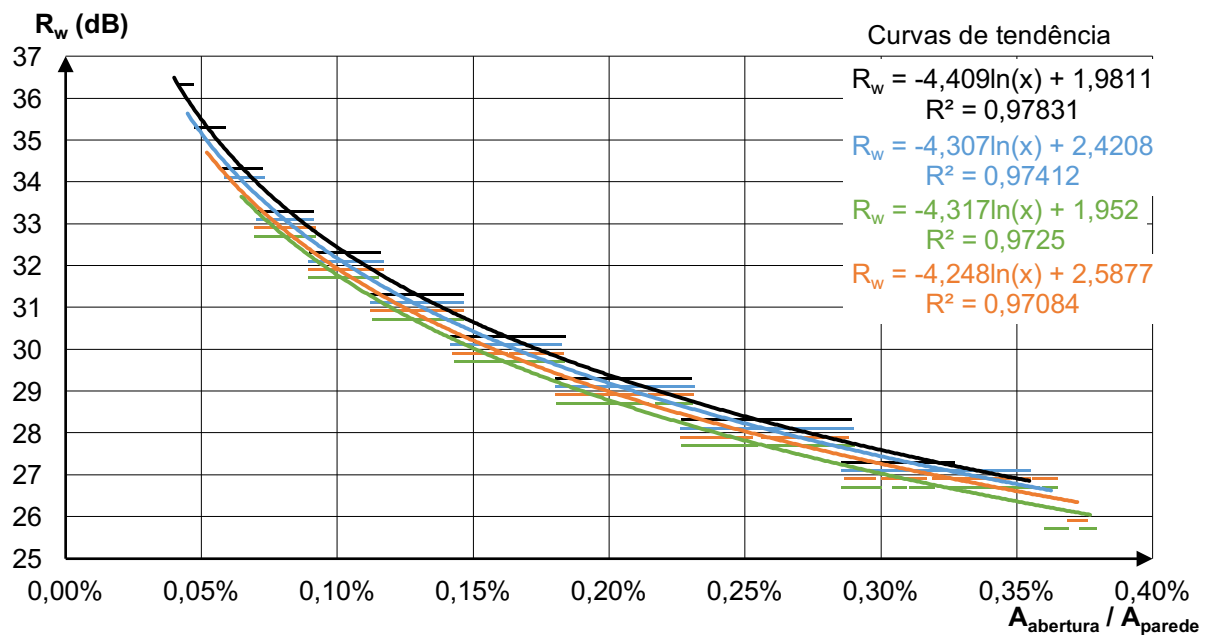


Figura 53: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

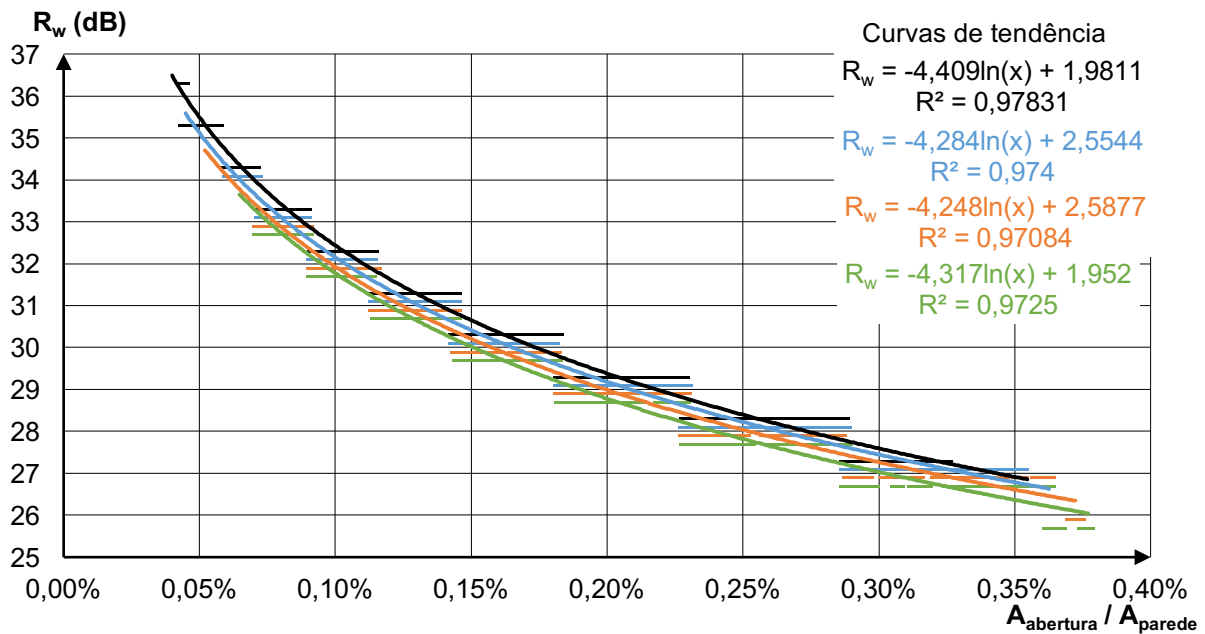


Figura 54: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

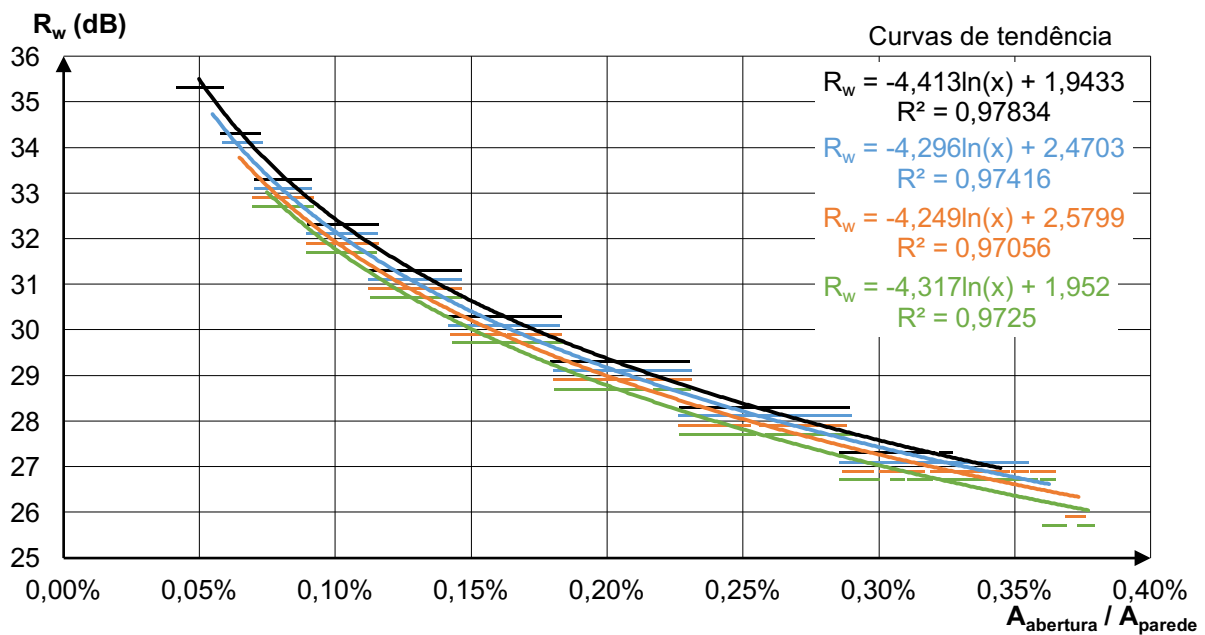


Figura 55: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

Nas Figuras 56 a 58 apresentam-se as diferenças de redução sonora global obtidas por aplicação do método detalhado e do método simplificado, concluindo-se que, neste caso se múltiplas aberturas (mais pequenas), o método simplificado é bastante conservativo, podendo conduzir a reduções

sonoras entre 2 a 3 dB inferiores às obtidas pelo método detalhado. Curiosamente, neste caso, o método simplificado é mais conservativo para menores valores de área total de abertura, ao contrário do que ocorreu com a instalação de uma única abertura circular.

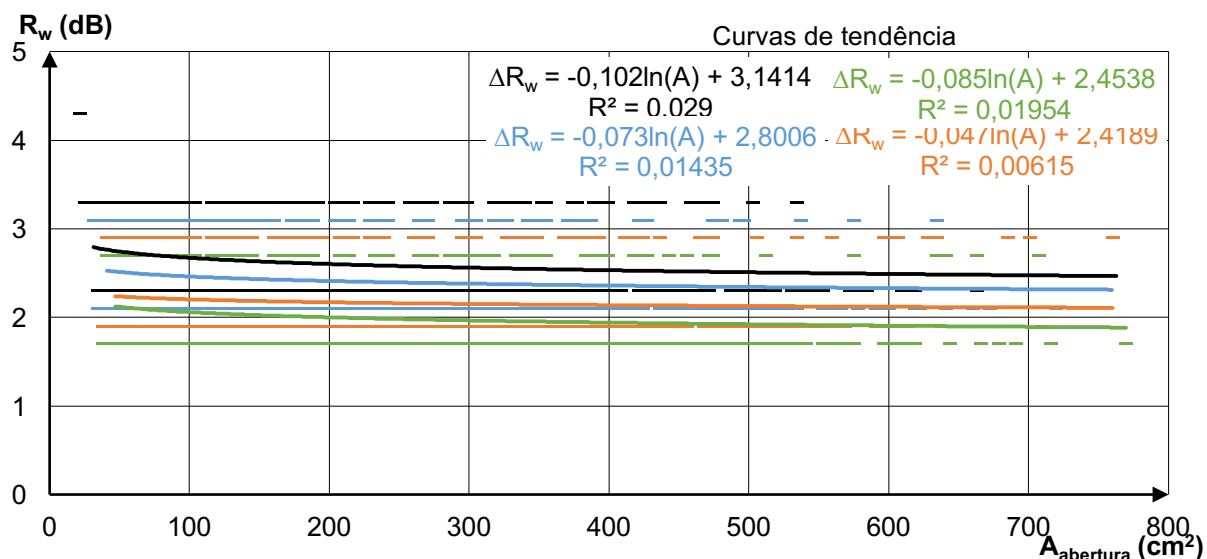


Figura 56: Diferenças nas reduções sonoras entre o método detalhado e o método simplificado para a parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

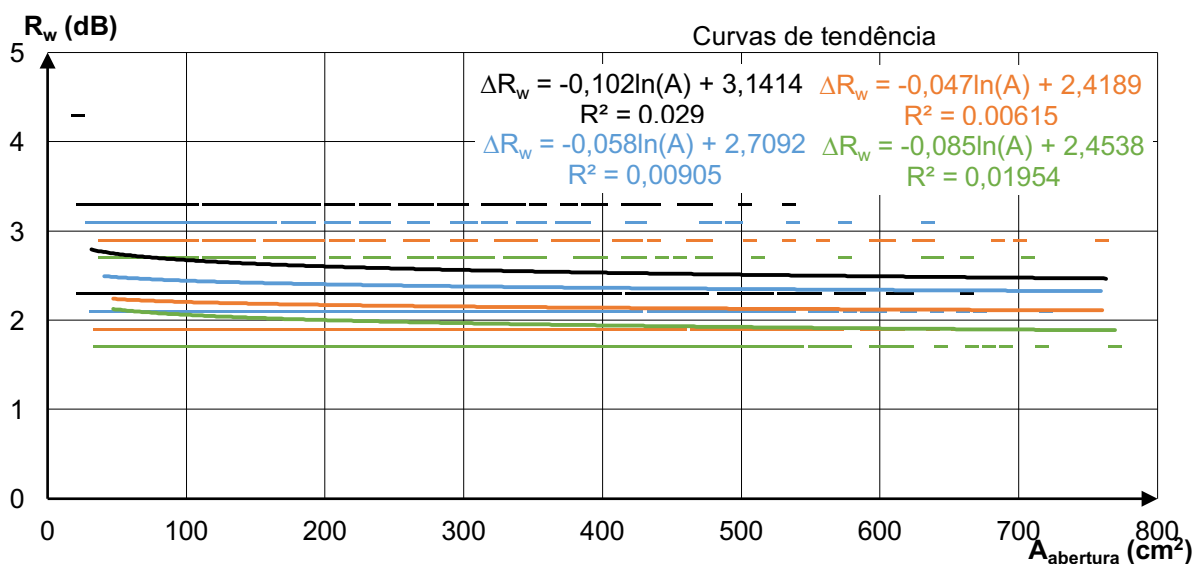


Figura 57: Diferença nas reduções sonoras entre o método detalhado e o método simplificado para a parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

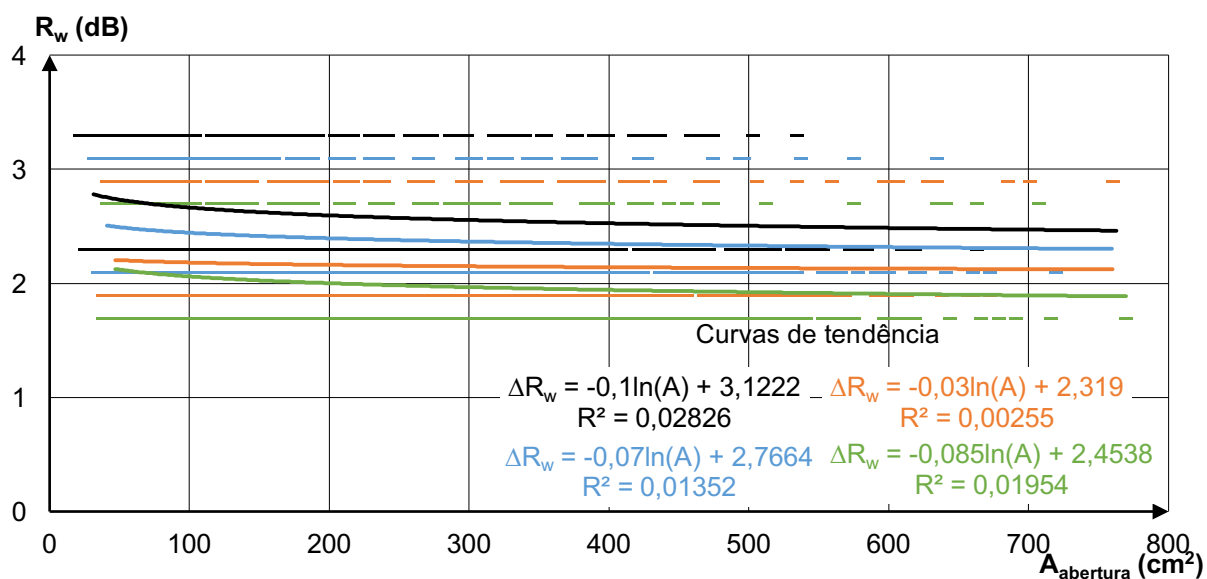


Figura 58: Diferença nas reduções sonoras entre o método detalhado e o método simplificado para a parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

4.4 Única abertura quadrada - Wilson e Soroka

Nas Figuras 59 a 64 apresentam-se os resultados obtidos para a redução sonora global dos diferentes tipos de parede com envidraçados e inclusão de uma única abertura quadrada, cuja contribuição para o isolamento sonoro foi estimada de acordo com Wilson e Soroka.

Mais uma vez, as conclusões são semelhantes às obtidas para uma única abertura circular, obtendo-se, neste caso, valores de isolamento sonoro praticamente idênticos, em geral apenas muito ligeiramente acima dos obtidos para uma abertura circular.

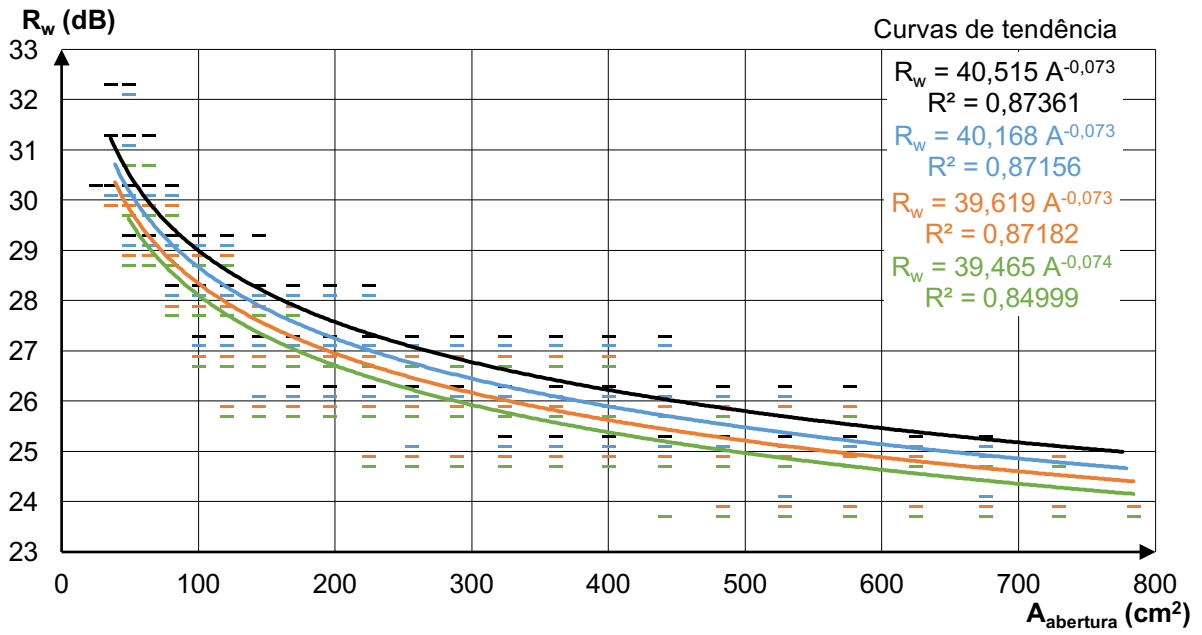


Figura 59: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

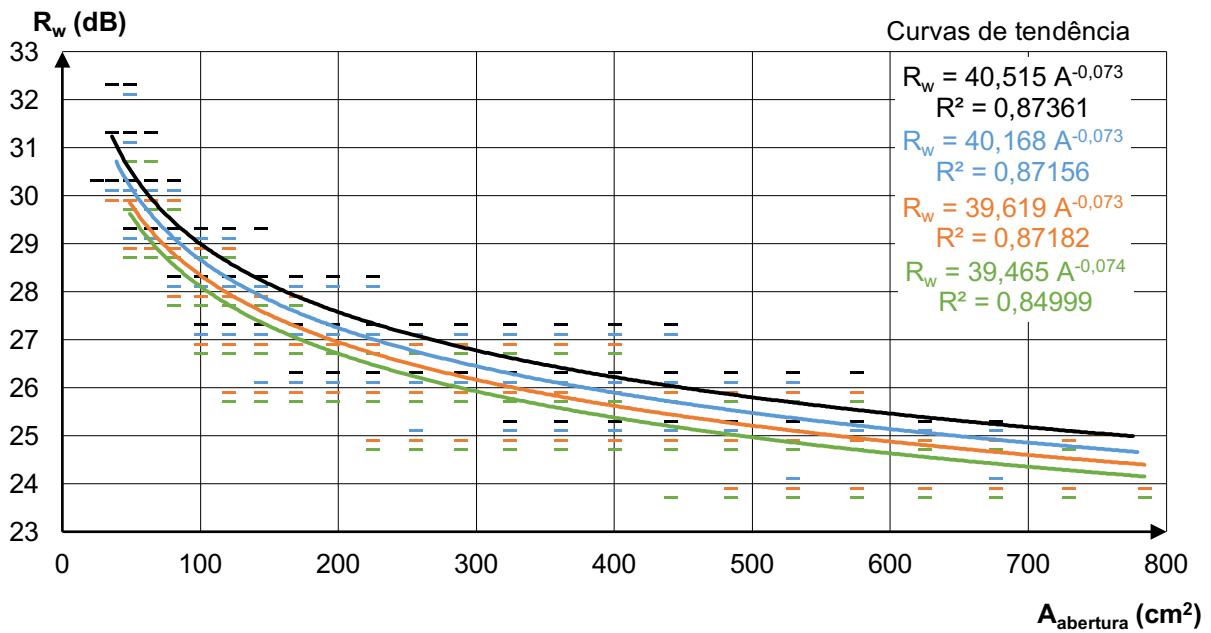


Figura 60: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

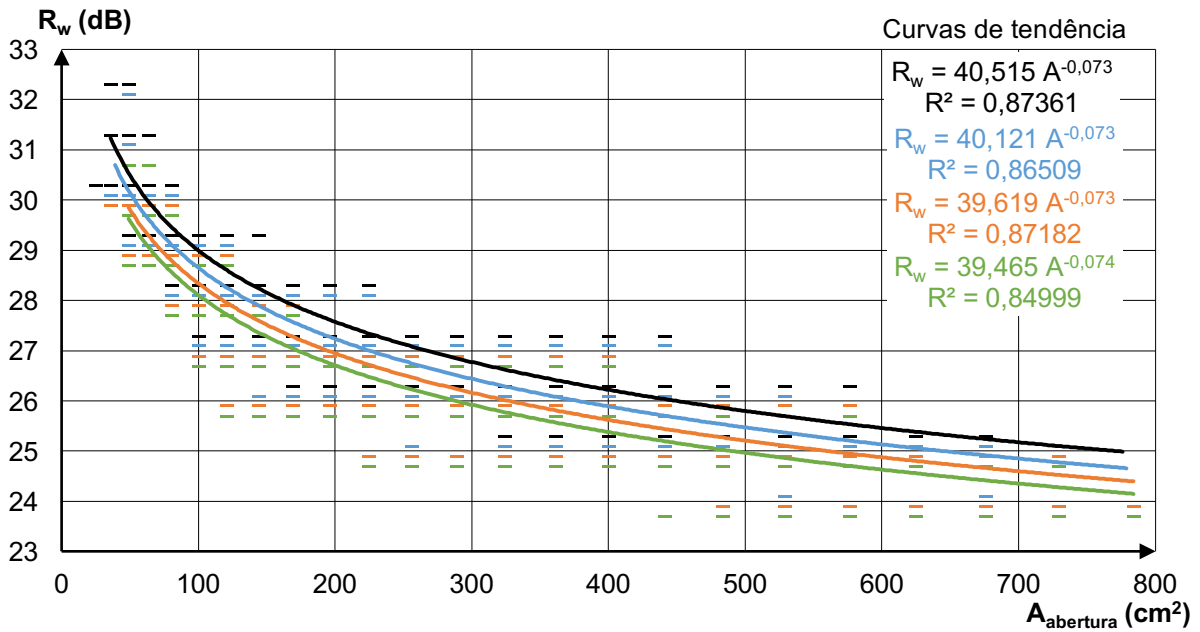


Figura 61: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

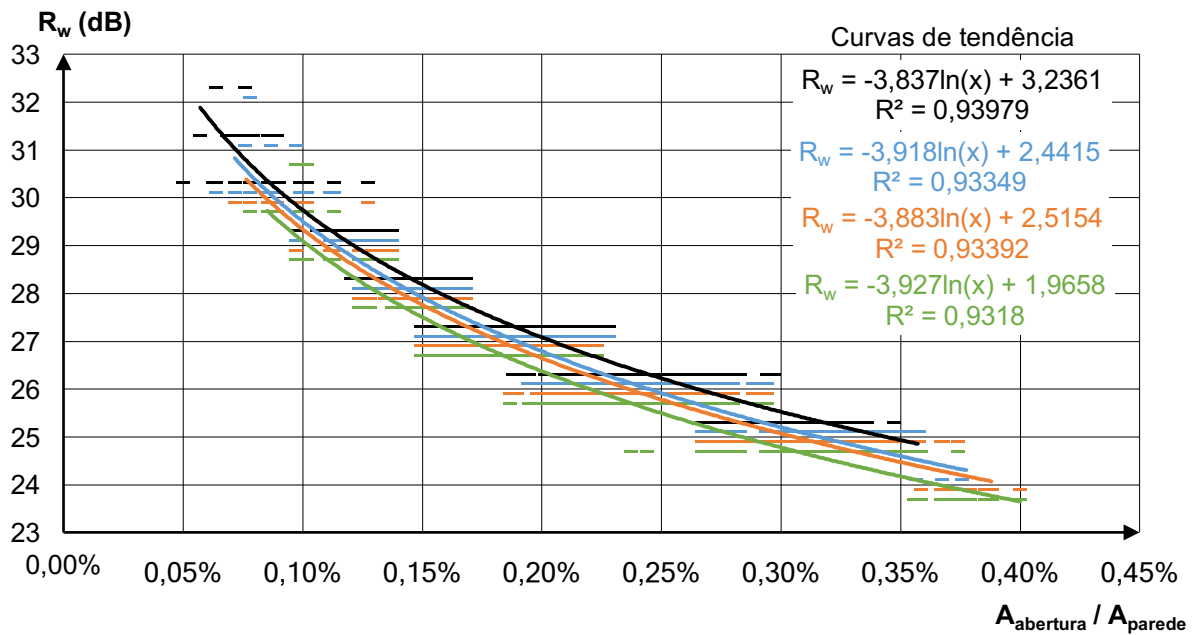


Figura 62: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

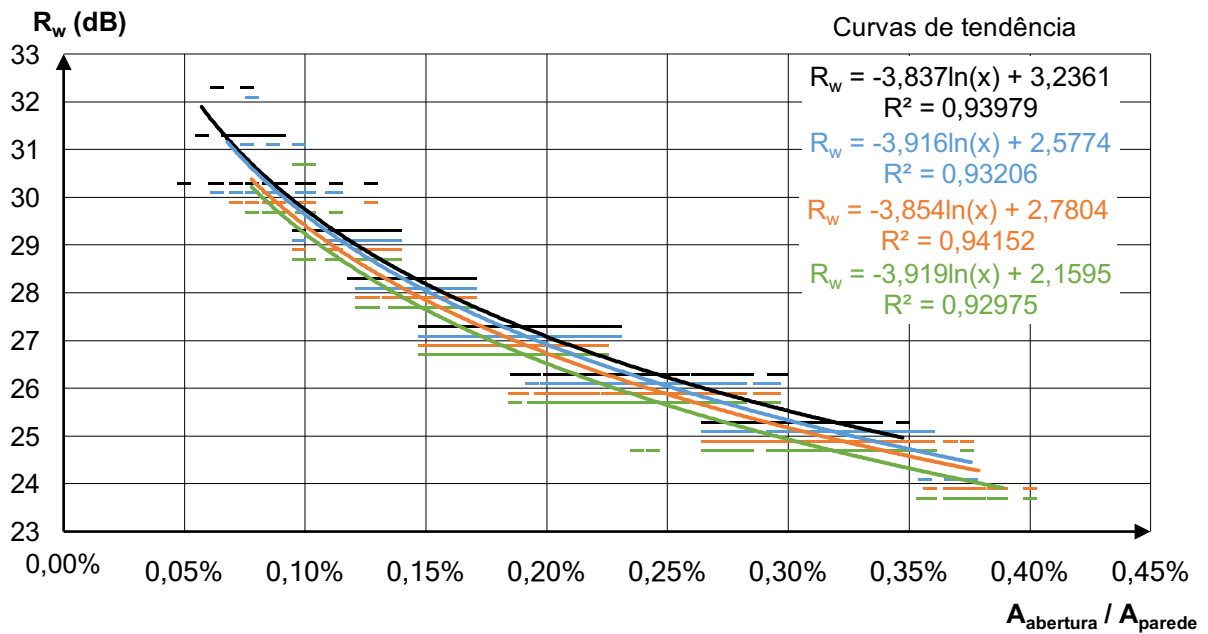


Figura 63: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

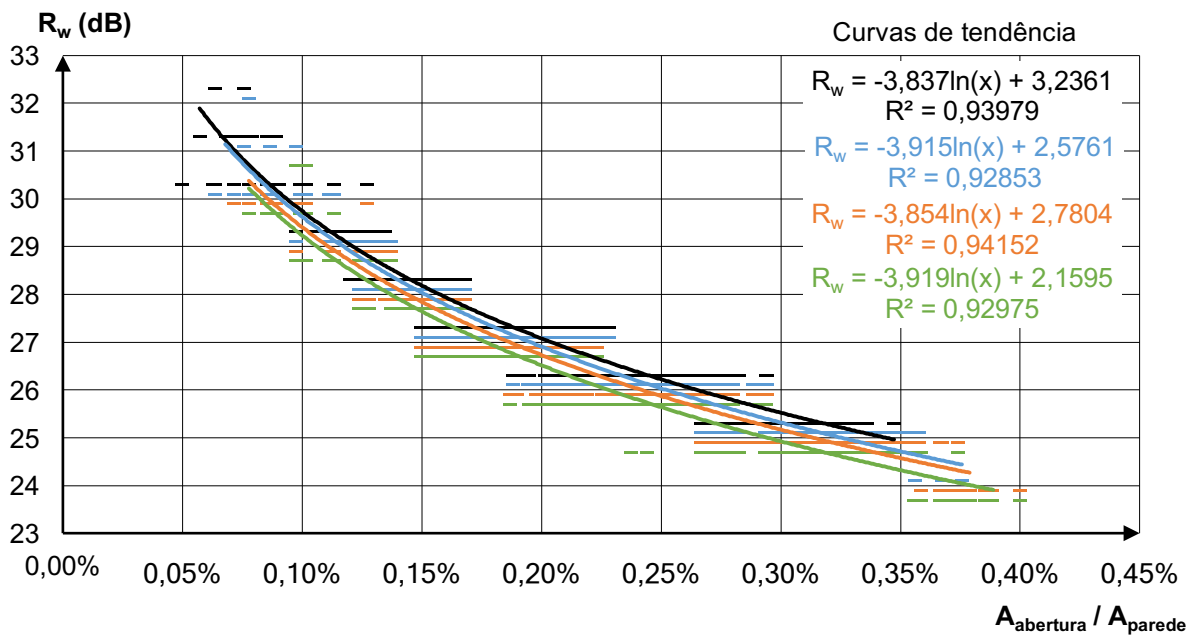


Figura 64: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

Nas Figuras 65 a 67 apresentam-se as diferenças entre as reduções sonoras globais obtidas pelo método detalhado e pelo método simplificado, concluindo-se que, tal como ocorrer com a instalação de uma única abertura circular, também neste caso o método simplificado mostra-se conservativo

para áreas de abertura de ventilação superiores a 300 a 400 cm². Nos restantes casos, o erro cometido pelo método simplificado pode chegar a 1 a 2 dB, em particular nas menores aberturas.

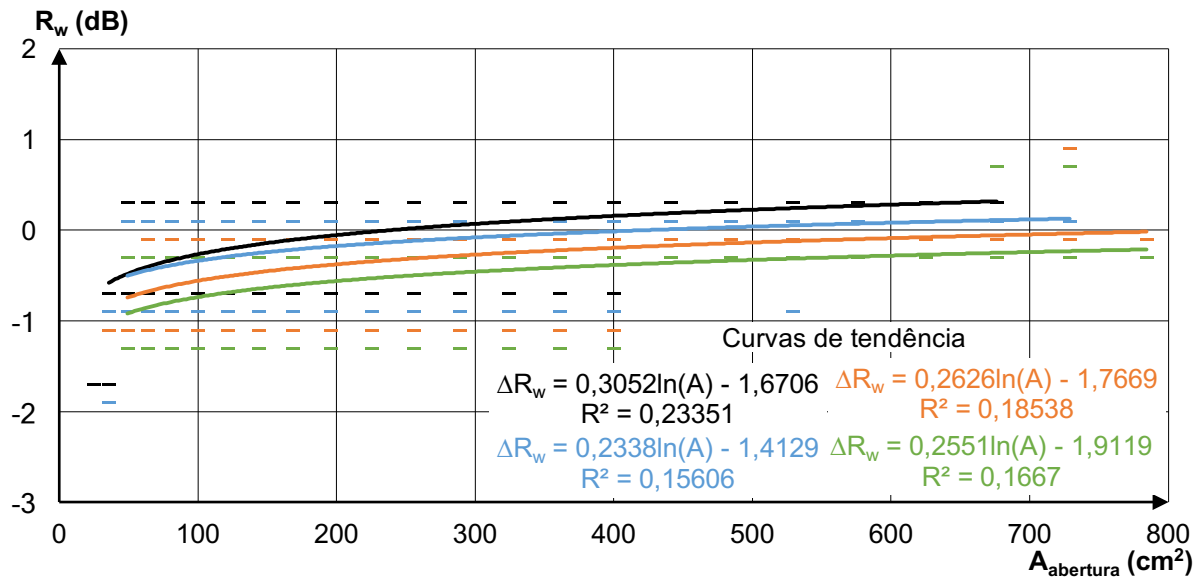


Figura 65: Diferença nas reduções sonoras entre o método detalhado e o método simplificado para a parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

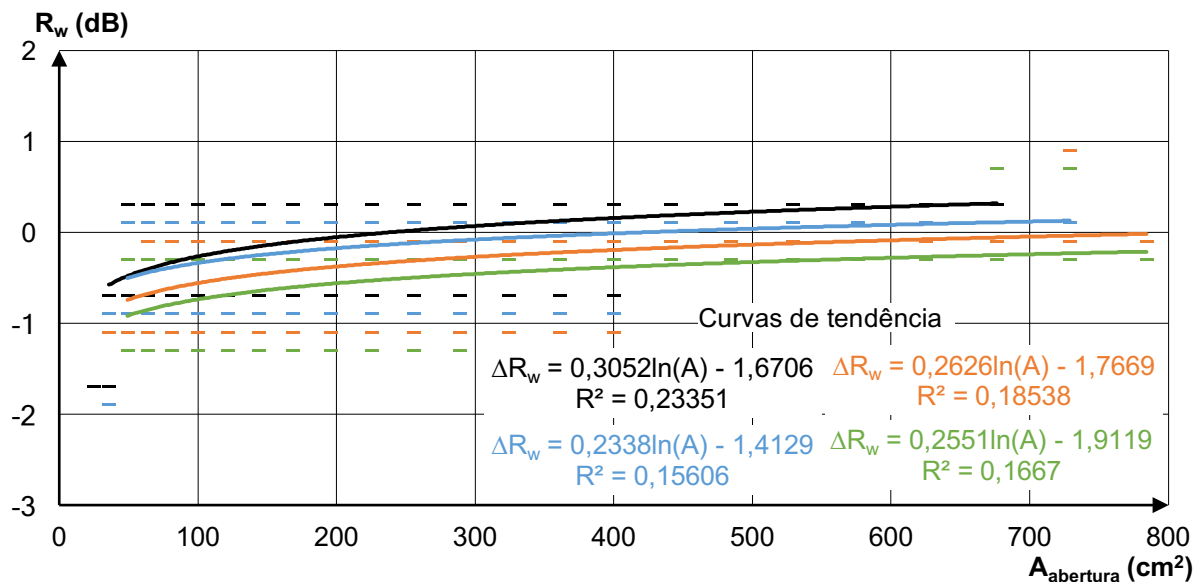


Figura 66: Diferença nas reduções sonoras entre o método detalhado e o método simplificado para a parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

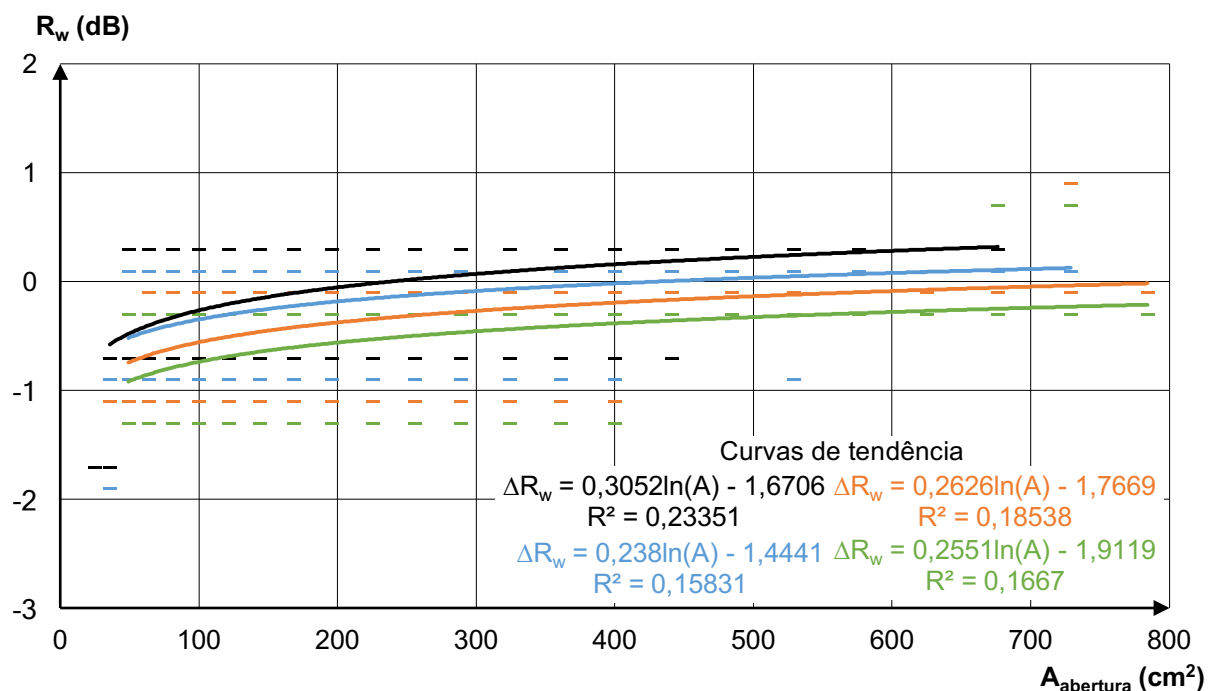


Figura 67: Diferença nas reduções sonoras entre o método detalhado e o método simplificado para a parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com uma única abertura quadrada, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

4.5 Múltiplas aberturas retangulares - Wilson e Soroka

Nas Figuras 68 a 73, apresentam-se os resultados obtidos para a redução sonora global dos diferentes tipos de parede com instalação de envidraçado e múltiplas aberturas retangulares de $1,5 \times 5,0 \text{ cm}^2$, cuja contribuição para o isolamento sonoro foi estimada de acordo com Wilson e Soroka.

Tal como ocorreu com a substituição de uma única abertura circular por múltiplas aberturas circulares, também a substituição de uma única abertura quadrada por múltiplas aberturas retangulares leva a um aumento da redução sonora global, o qual não é, no entanto, tão significativo como nas aberturas circulares.

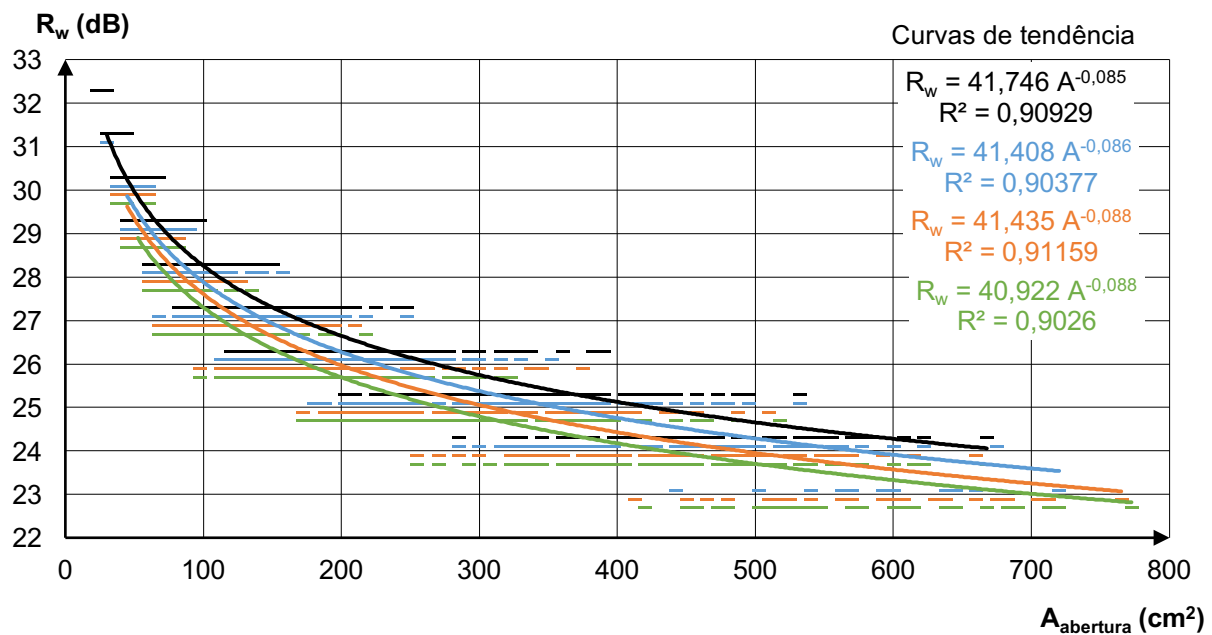


Figura 68: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

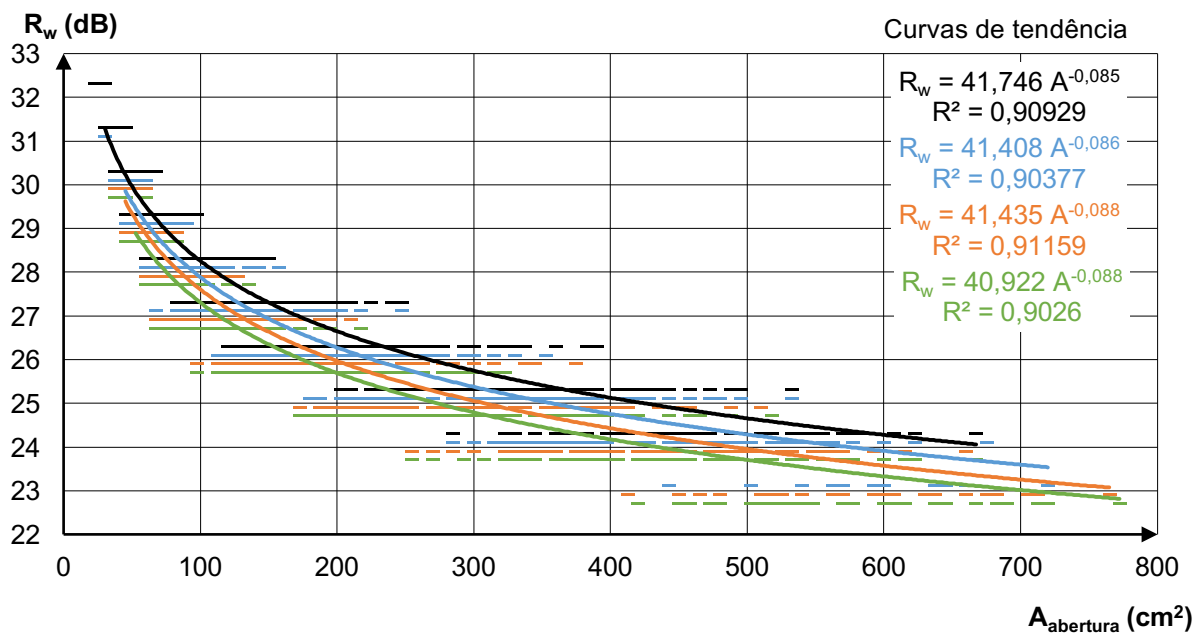


Figura 69: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

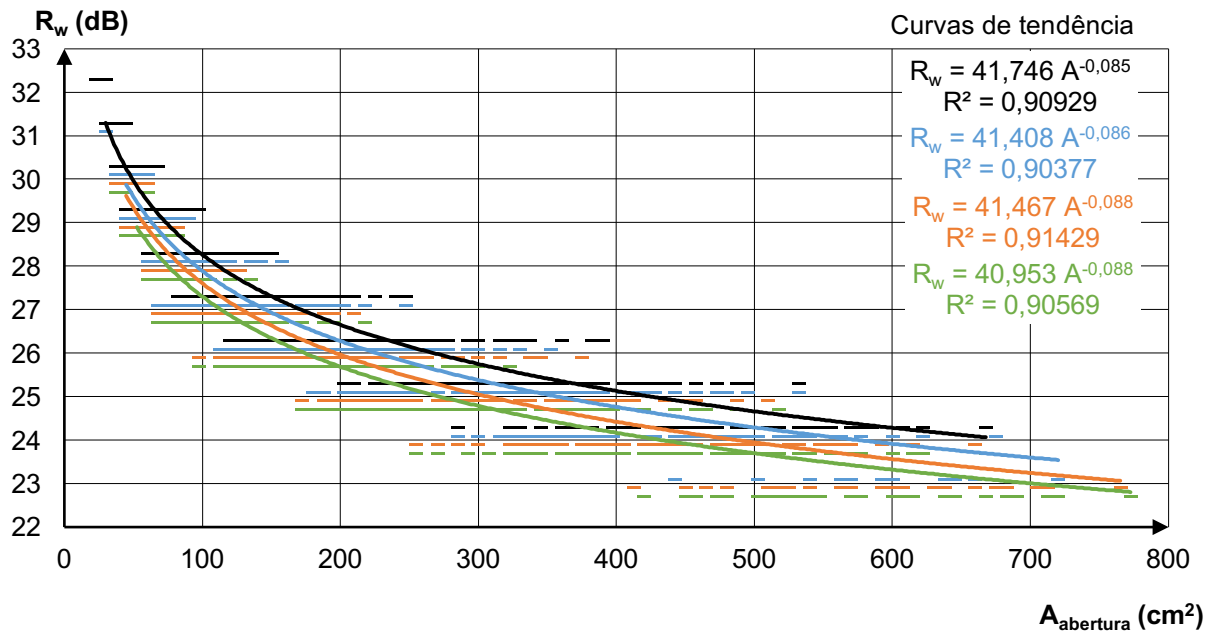


Figura 70: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

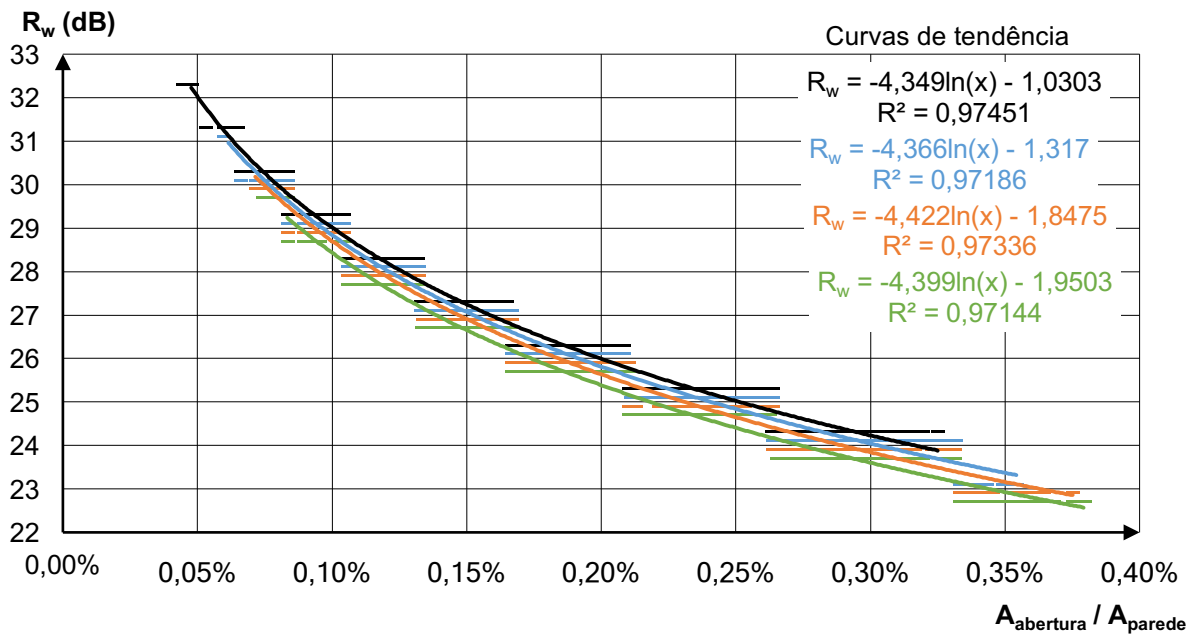


Figura 71: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

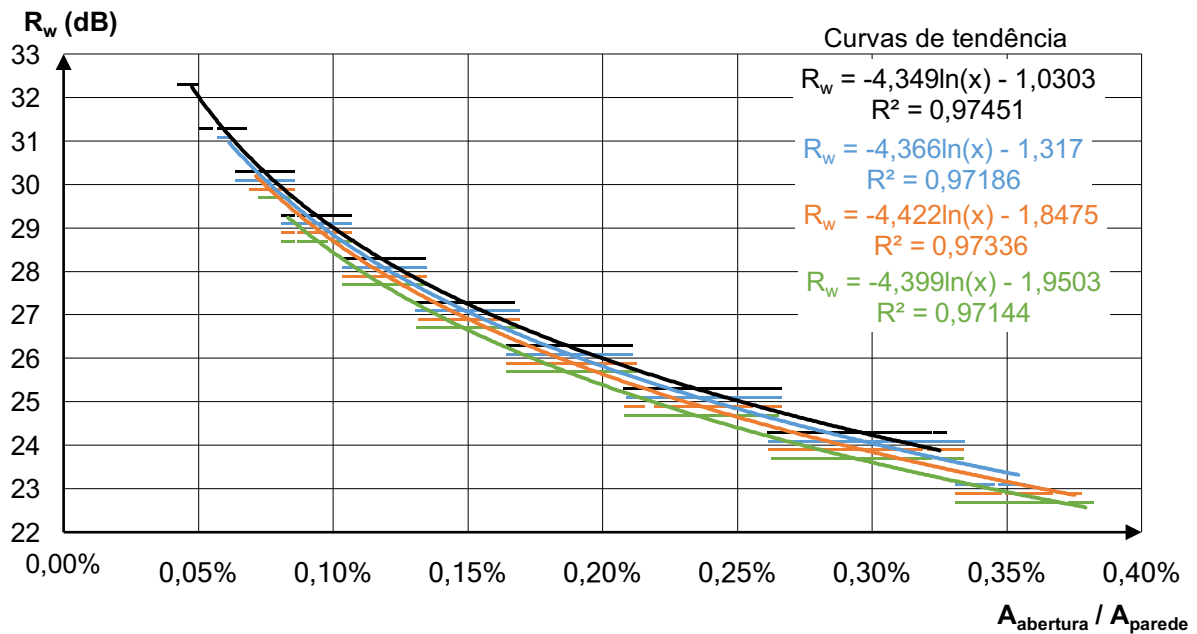


Figura 72: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

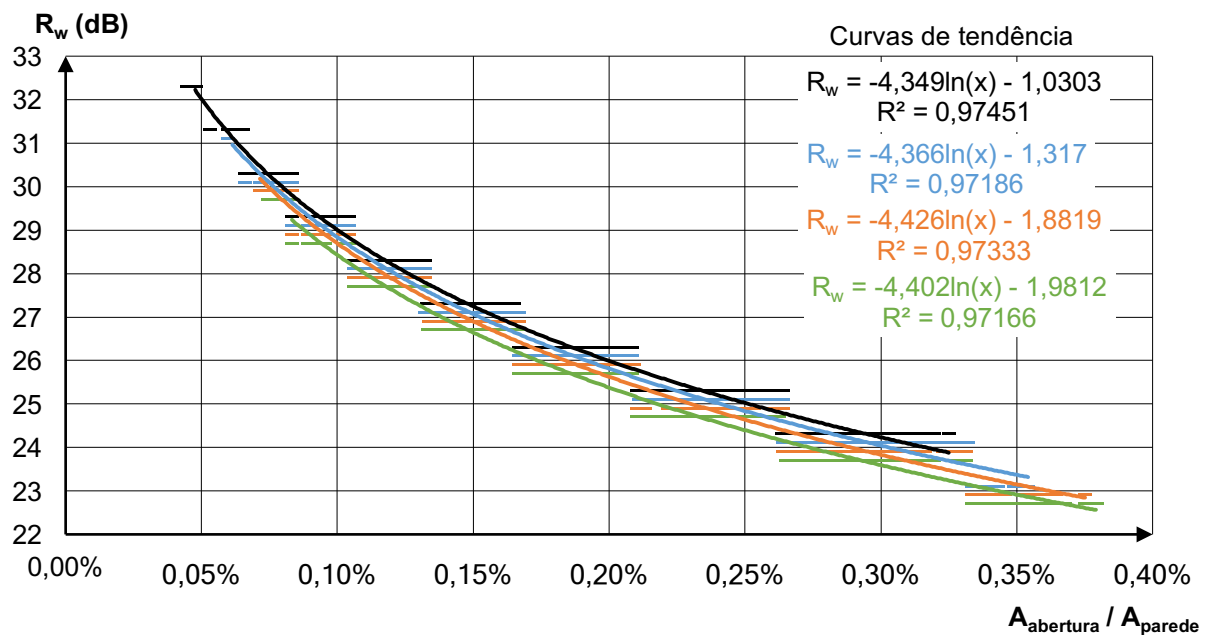


Figura 73: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

Nas Figuras 74 a 76, são apresentadas as diferenças obtidas entre as reduções sonoras calculadas, para os diferentes tipos de parede, através do método detalhado e do método simplificado, considerando múltiplas aberturas retangulares. Conclui-se que o método simplificado é conservativo

para a classe de permeabilidade A1, conduzindo a erros entre 1 a 2 dB nos restantes casos. O erro é pouco sensível à área global de aberturas, sendo ligeiramente inferior para áreas globais mais pequenas.

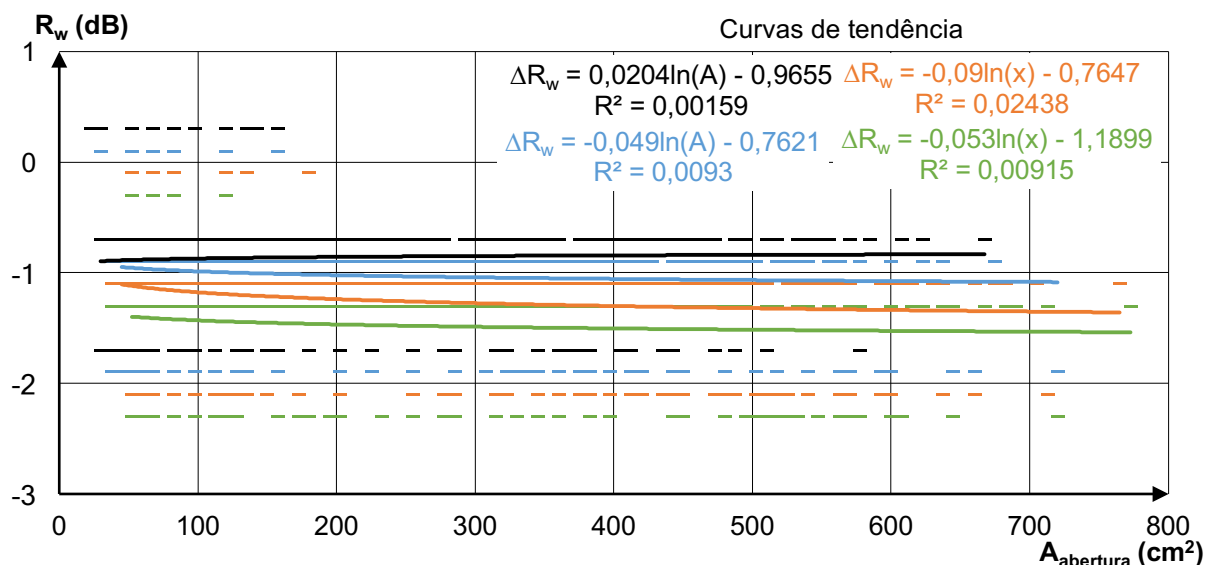


Figura 74: Diferença nas reduções sonoras obtidas pelos métodos detalhado e simplificado para a parede dupla com $R_{w, parede} = 54$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

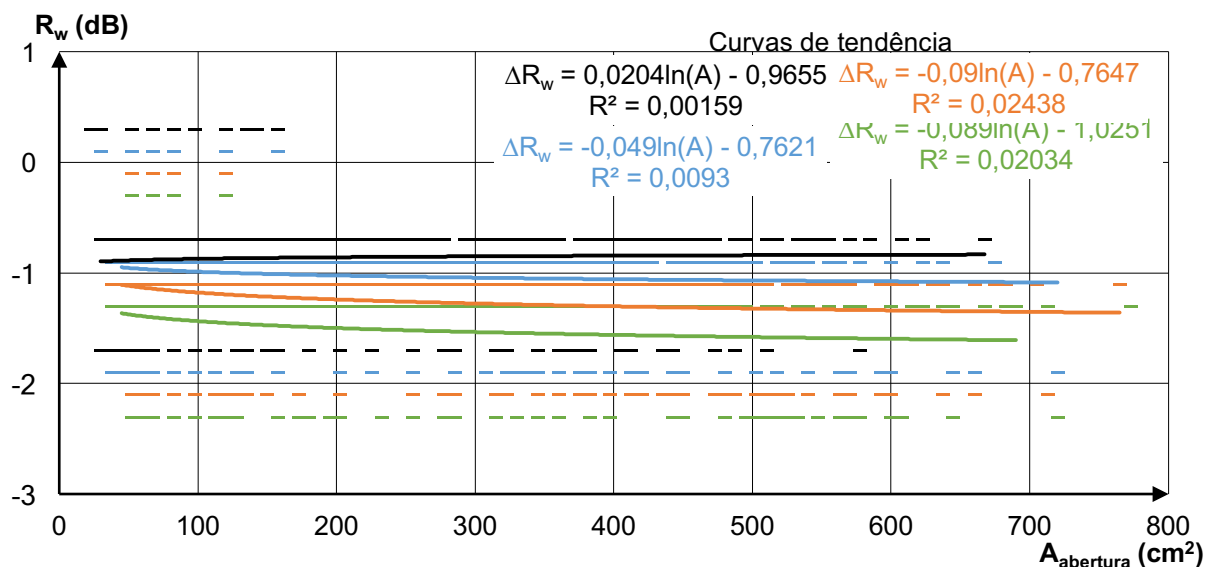


Figura 75: Diferença nas reduções sonoras obtidas pelos métodos detalhado e simplificado para a parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

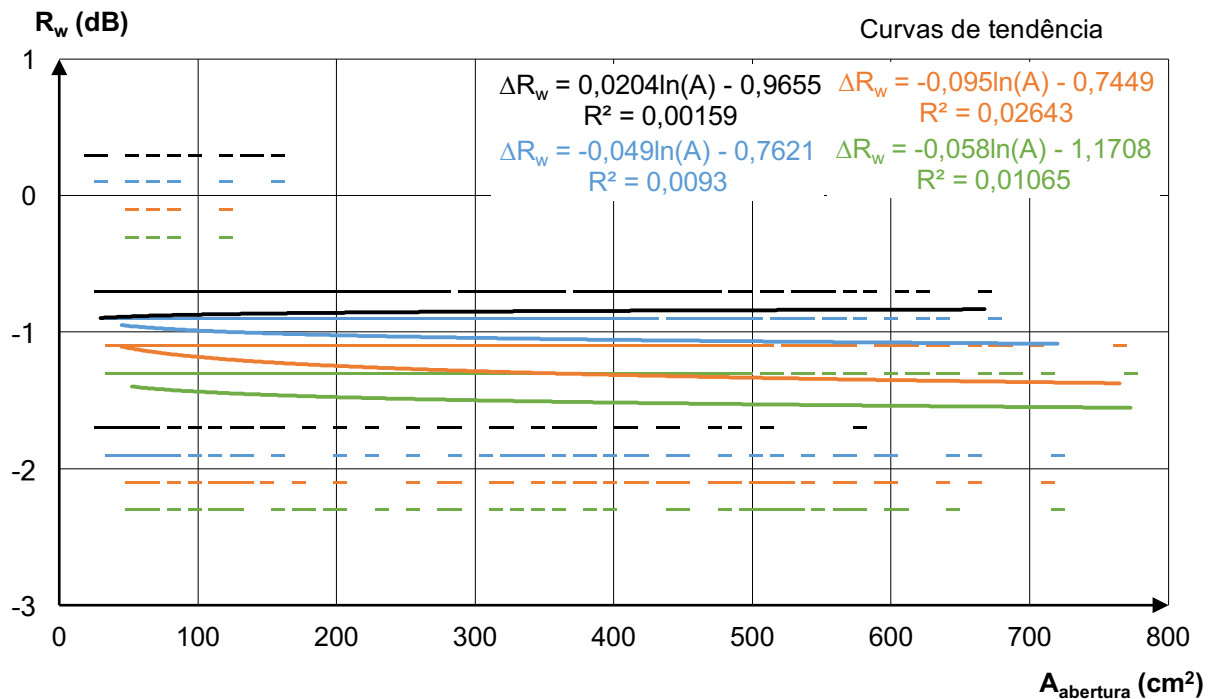


Figura 76: Diferença nas reduções sonoras obtidas pelos métodos detalhado e simplificado para a parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

4.6 Efeito do número de aberturas

Nas Figuras 77 a 79 apresenta-se a variação da redução sonora global com o número de aberturas e com a área global de abertura para aberturas circulares. Constata-se que a redução sonora global diminui, como esperado, em ambos os casos.

Nas Figuras 80 a 82 obtém-se a mesma conclusão para aberturas retangulares.

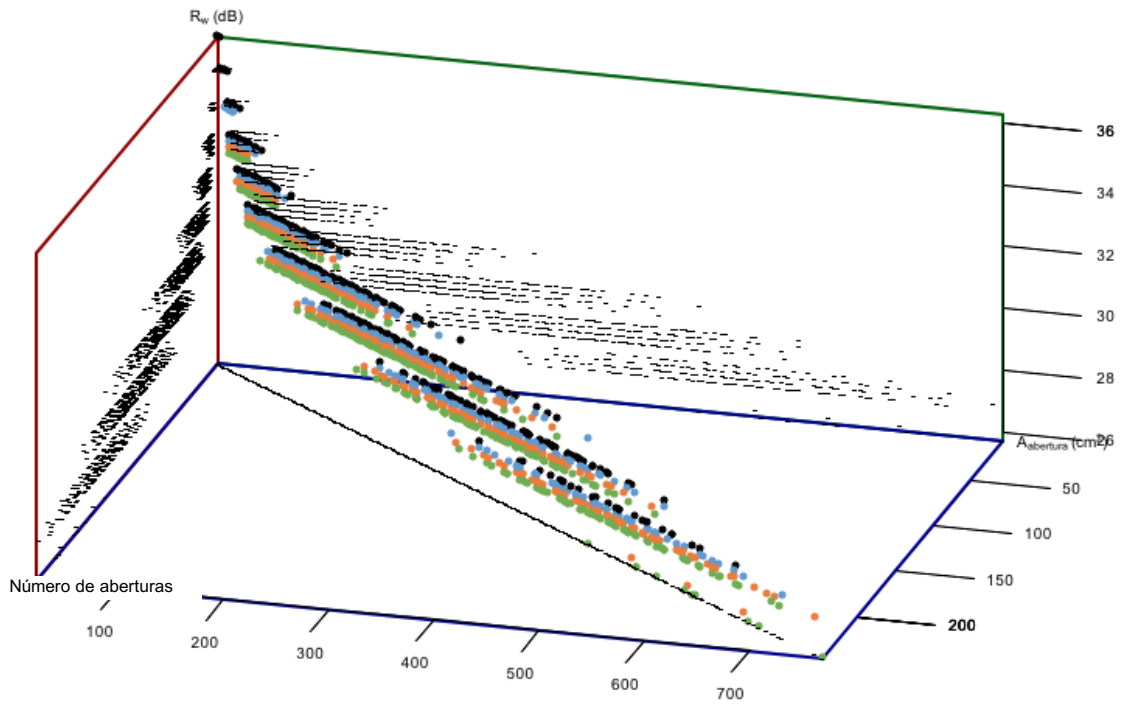


Figura 77: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

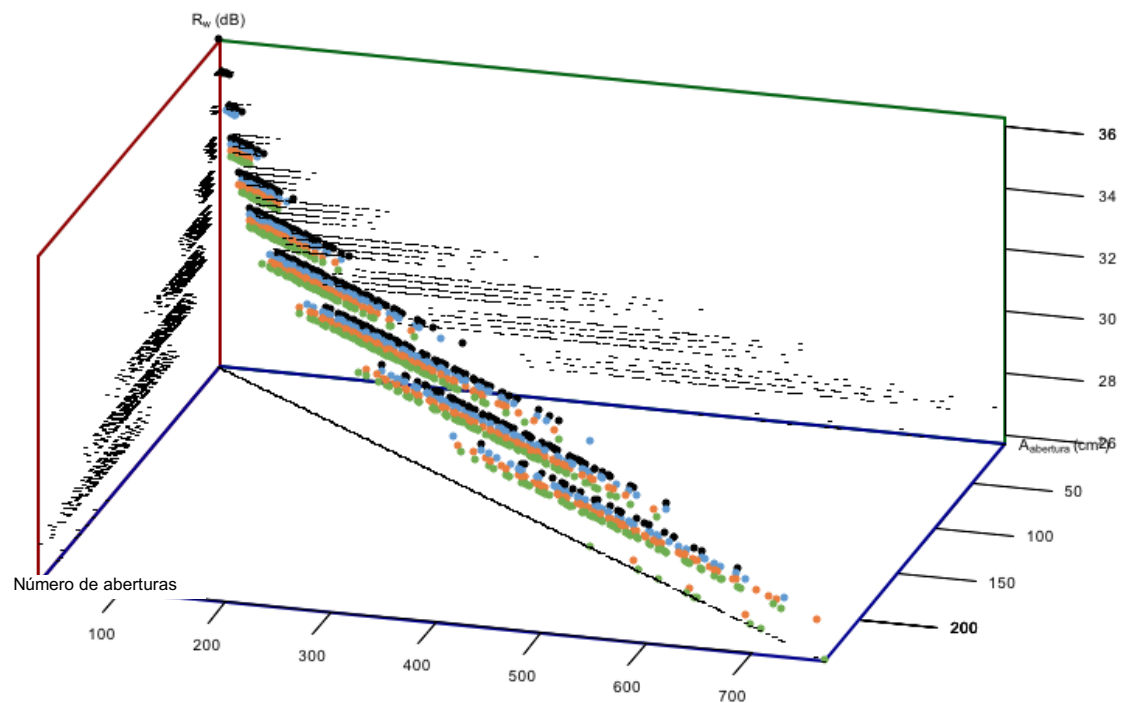


Figura 78: Redução sonora da parede de betão armado com $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

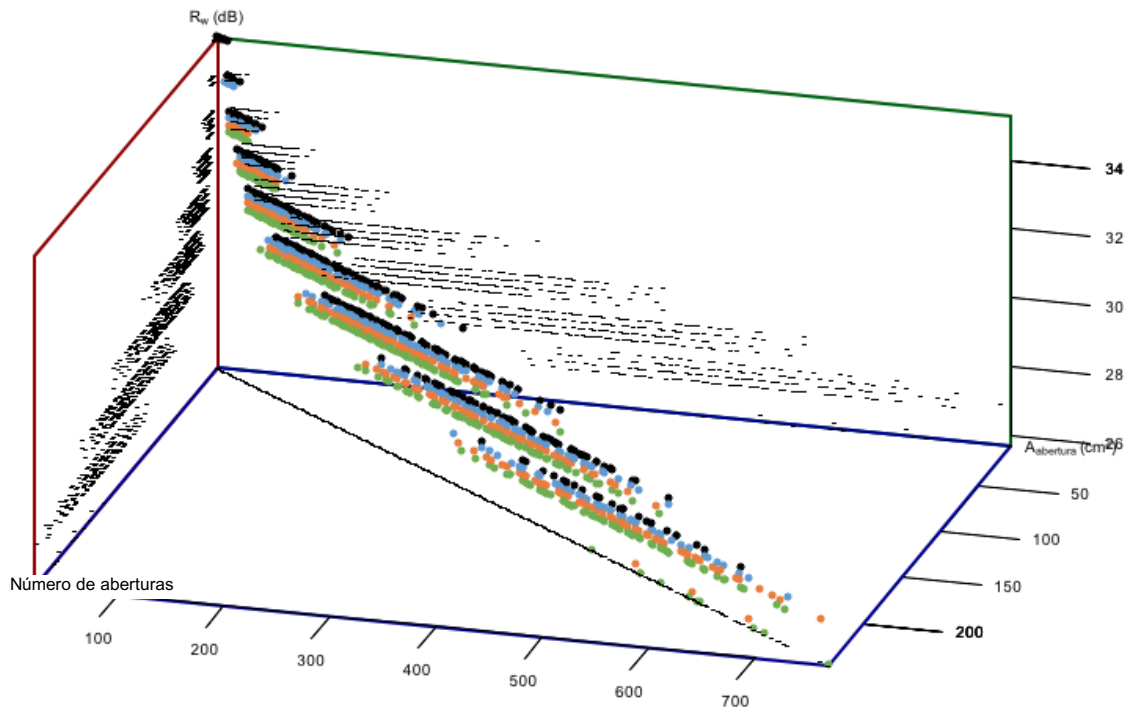


Figura 79: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas circulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

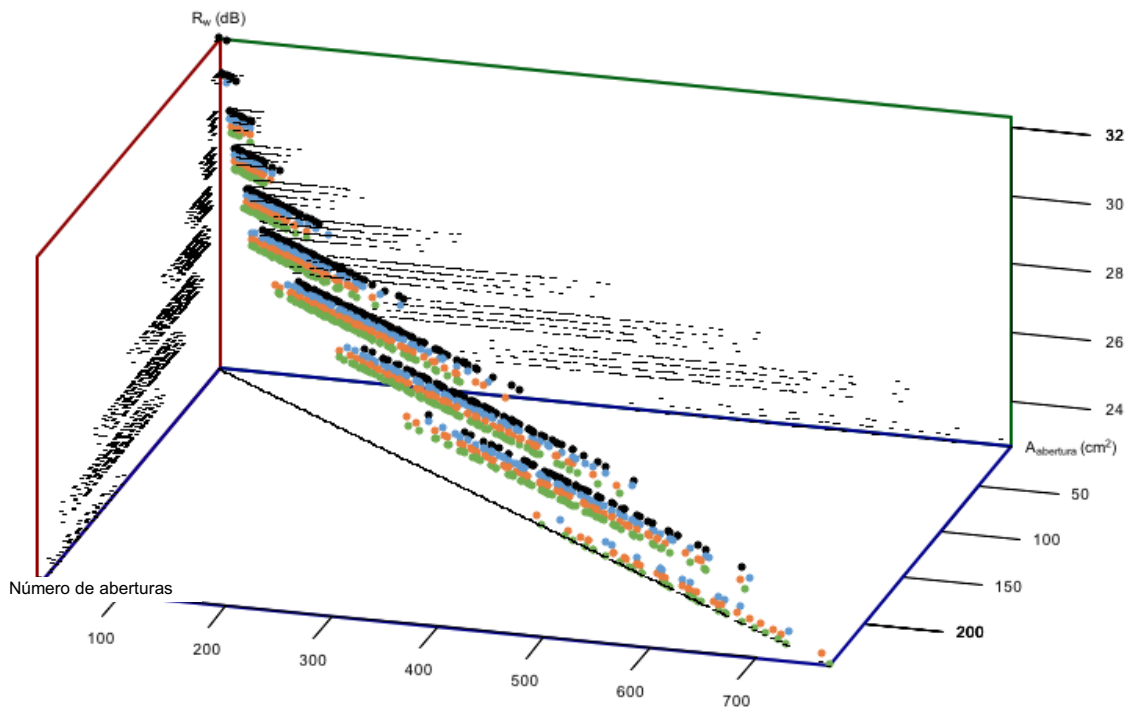


Figura 80: Redução sonora da parede dupla com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(—: classe 1; —: classe 2; —: classe 3; —: classe 4)

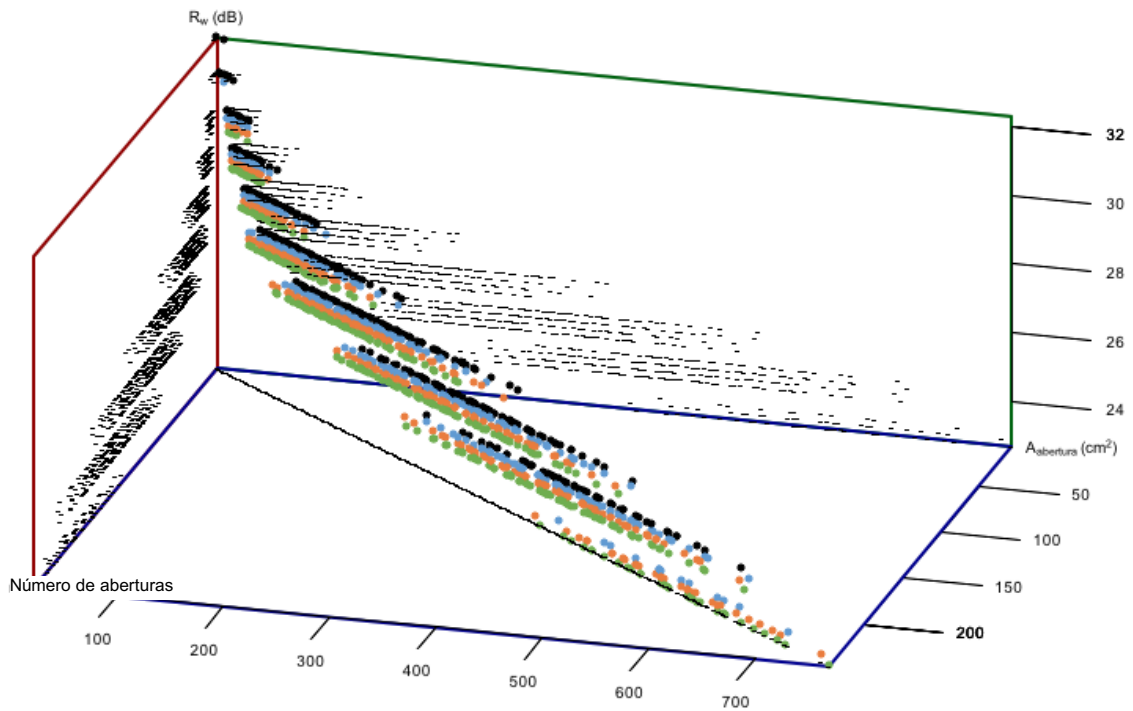


Figura 81: Redução sonora da parede de betão armado $R_{w, parede} = 56$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

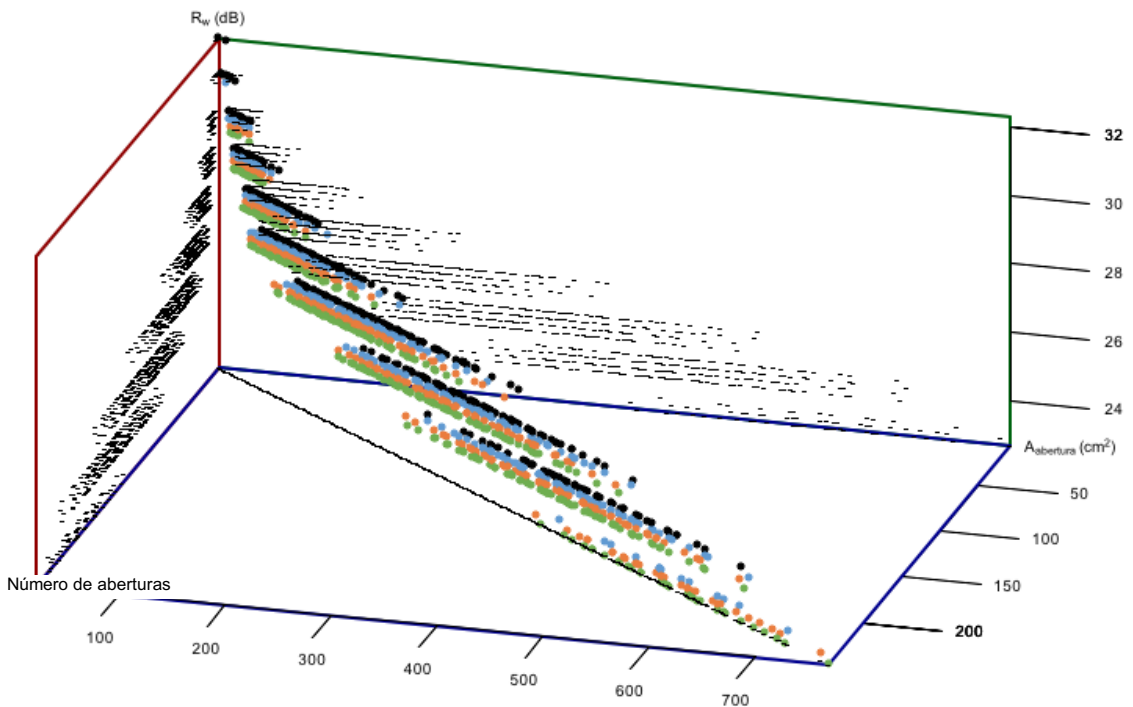


Figura 82: Redução sonora da parede de tabique com $R_{w, parede} = 55$ dB e janela com $R_{w, janela} = 37$ dB, com múltiplas aberturas retangulares, de acordo com a classe de permeabilidade do vão.

(-: classe 1; -: classe 2; -: classe 3; -: classe 4)

4.7 Correções ao método simplificado

As conclusões das secções anteriores permitem estimar, numa fase do projeto de condicionamento acústico em que as aberturas de ventilação natural não são conhecidas, o efeito das mesmas sobre a redução sonora global em função da classe de permeabilidade dos vãos utilizados.

$$R_w = 10 \log_{10} \left(\frac{A_{parede} + A_{envidraçado} + A_{abertura}}{A_{parede} \cdot 10^{-\frac{R_{w,parede}}{10}} + A_{envidraçado} \cdot 10^{-\frac{R_{w,envidraçado}}{10}} + A_{abertura}} \right) + \Delta R_w \quad (48)$$

$$A_{abertura} = (\text{ver Tabela 25})$$

O fator de correção, ΔR_w , foi determinado com base na média das funções das Figuras 47 a 49 e 65 a 67 para uma única abertura, independentemente da forma desta e com base na média das Figuras 56 a 58 e 74 a 76 para múltiplas aberturas circulares e retangulares, respetivamente.

$$\Delta R_w = \begin{cases} \blacksquare \text{ única abertura:} \\ \quad \mathbf{0,246 \ln A_{abertura} - 1,4962} \\ \blacksquare \text{ múltiplas aberturas circulares:} \\ \quad \mathbf{-0,067 \ln A_{abertura} + 2,7587} \\ \blacksquare \text{ múltiplas aberturas retangulares:} \\ \quad \mathbf{-0,049 \ln A_{abertura} - 0,7621} \end{cases}$$

Na Tabela 26 apresentam-se dois exemplos de aplicação do método a casos de estudo seleccionados aleatoriamente.

Tabela 26: Exemplo de aplicação das correções ao método simplificado.

Parâmetros	Casos de estudo	
	A	B
Comprimento (m)	3,84	7,00
Largura (m)	2,40	5,00
Pé-direito (m)	2,70	3,00
Tipo de parede	Dupla	Betão armado
Classe de permeabilidade	1	3
Tipo de abertura	Única abertura circular	Múltiplas aberturas retangulares
Área de abertura (cm ²)	72,2	361,6
R _{w, detalhado} (dB)	29	25
R _{w, simplificado} (dB)	29	26
R _{w, simplificado, corrigido} (dB)	29	25

Como se pode observar, a aplicação destas correções ao método simplificado resulta em resultados iguais aos obtidos através do método detalhado, quando arredondados à unidade.

5 Conclusões

Na presente dissertação foram analisadas as exigências de ventilação e conforto acústico de edifícios, traduzidas por regras de qualidade relativas às áreas de aberturas da ventilação em fachadas e ao isolamento sonoro das mesmas fachadas.

Foram apresentados métodos de estimativa das áreas de abertura de ventilação e do isolamento a ruído aéreo de fachadas e seus elementos constituintes, como, por exemplo, os envidraçados.

Foram igualmente apresentados métodos de estimativa do isolamento sonoro das aberturas de ventilação, os quais foram propostos por Gomperts e Wilson e Soroka.

Com bases nestas ferramentas foi desenvolvido um estudo de 1440 casos, onde se variaram as dimensões dos compartimentos, fachada e envidraçados, bem como o tipo de parede e de abertura.

Para cada tipo de abertura foram analisadas as suas contribuições para o isolamento sonoro global das fachadas, sendo efetuada uma comparação com um método de cálculo simplificado. Tal comparação permitiu obter funções de correção do método simplificado que podem ser usadas pelos projetistas de acústica para considerar a perda de isolamento introduzido pelas aberturas para ventilação, as quais são, muitas vezes, esquecidas nos projetos de acústica.

A desenvolver no futuro, sugere-se a avaliação dos limites das aberturas múltiplas para a aplicação das funções de correção do método simplificado.

Referências bibliográficas

- [1] R. D'Havé, Notes sur les travaux relatifs aux exigences humaines, CIB, 1976.
- [2] R. Gomes, Exigências funcionais das habitações e modo da sua satisfação, Lisboa: LNEC, 1971.
- [3] ABNT NBR 15575:2013: Edificações Habitacionais — Desempenho.
- [4] A. C. C. d. Piedade, "Edificações", IST: aeist, 1992.
- [5] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *DL 9/2007 - Regulamento Geral do Ruído*.
- [6] [Online]. Available: https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/sites/default/files/styles/large/public/core-page-inserted-images/psyc_chart_humidity_ratio_0.jpg?itok=U6WFd974. [Acedido em 25 novembro 2017].
- [7] J. V. Paiva, "Humidade nas edificações", LNEC, 1969.
- [8] A. M. Rodrigues, "HUMIDADES EM EDIFÍCIOS - Fenómenos de condensação," IST, 2014.
- [9] A. M. Rodrigues, "TÉRMICA DE EDIFÍCIOS - Transmissão do calor e necessidades energéticas," IST, 2014.
- [10] Ministério da Economia e do Emprego, DL 118/2013.
- [11] World Health Organization, [Online]. Available: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise>. [Acedido em 17 Março 2017].
- [12] Wikipedia, [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Pressão_sonora. [Acedido em 17 março 2017].
- [13] D. Mateus, "Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído," FCTUC, 2008.
- [14] A. M. Rodrigues, "ILUMINAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS - Conforto visual e introdução ao projeto," IST, 2014.
- [15] Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1: Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, IPQ, 2002.
- [16] CEN, EN 12207: Windows and doors - Air permeability - Classification.
- [17] Presidência do Conselho de Ministros, *Declaração de Rectificação n.º 18/2007*.
- [18] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *DL 278/2007*.
- [19] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *DL 96/2008*.
- [20] CEN, EN 12354-1:2000: Building acoustics. Estimation of acoustic performance in buildings from the performance of elements. Airborne sound insulation between rooms.
- [21] British Standards Institution, BS 8233:2014, BSI Standards Limited, 2014.

- [22] D. M. R. Mateus, "Isolamento acústico de elementos de compartimentação leves em edifícios," 2004.
- [23] C. H. H. David A. Bies, *Engineering Noise Control*, Spon Press, 2009.
- [24] Ministério das Obras Públicas, DL 38382/1951 - Regulamento Geral das Edificações Urbanas.
- [25] LNEC, [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/aplicacoes-informaticas/eficiencia-energetica/>. [Acedido em 5 julho 2017].
- [26] Ministério da Economia e do Emprego, DL 118/2013 de 20 de agosto.
- [27] W. W. S. George P. Wilson, "Approximation to the Diffraction of Sound by a Circular Aperture in a Rigid Wall of Finite Thickness," *THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA*, vol. 37, pp. 286-297, 1965.
- [28] M. C. Gomperts, "The "sound insulation" of circular and slit-shaped apertures," *Acustica* 14, 1964.
- [29] E. C. f. Standardization, EN 12354-3:2000 - BUILDING ACOUSTICS - ESTIMATION OF ACOUSTIC PERFORMANCE OF BUILDINGS FROM THE PERFORMANCE OF ELEMENTS - PART 3.
- [30] International Standard, ISO 717-1: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements - Part 1: Airborne sound insulation, ISO, 2013.
- [31] A. M. Rodrigues, "ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS - Conceitos e princípios elementares de projecto," 2014.

Anexo A

Definição dos casos de estudo

Id.	Rel. C-L	C	L	PD	Classe de permeab.
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(-)
1	1	2,10	2,10	2,40	1
2	1	2,40	2,40	2,40	1
3	1	2,70	2,70	2,40	1
4	1	3,00	3,00	2,40	1
5	1	3,50	3,50	2,40	1
6	1	4,00	4,00	2,40	1
7	1	4,50	4,50	2,40	1
8	1	5,00	5,00	2,40	1
9	1	5,50	5,50	2,40	1
10	1	6,00	6,00	2,40	1
11	1	6,50	6,50	2,40	1
12	1	7,00	7,00	2,40	1
13	1,1	2,31	2,10	2,40	1
14	1,1	2,64	2,40	2,40	1
15	1,1	2,97	2,70	2,40	1
16	1,1	3,30	3,00	2,40	1
17	1,1	3,85	3,50	2,40	1
18	1,1	4,40	4,00	2,40	1
19	1,1	4,95	4,50	2,40	1
20	1,1	5,50	5,00	2,40	1
21	1,1	6,05	5,50	2,40	1
22	1,1	6,60	6,00	2,40	1
23	1,1	7,15	6,50	2,40	1
24	1,1	7,70	7,00	2,40	1
25	1,2	2,52	2,10	2,40	1
26	1,2	2,88	2,40	2,40	1
27	1,2	3,24	2,70	2,40	1
28	1,2	3,60	3,00	2,40	1
29	1,2	4,20	3,50	2,40	1
30	1,2	4,80	4,00	2,40	1
31	1,2	5,40	4,50	2,40	1
32	1,2	6,00	5,00	2,40	1
33	1,2	6,60	5,50	2,40	1
34	1,2	7,20	6,00	2,40	1
35	1,2	7,80	6,50	2,40	1
36	1,2	8,40	7,00	2,40	1
37	1,3	2,73	2,10	2,40	1
38	1,3	3,12	2,40	2,40	1
39	1,3	3,51	2,70	2,40	1
40	1,3	3,90	3,00	2,40	1
41	1,3	4,55	3,50	2,40	1
42	1,3	5,20	4,00	2,40	1
43	1,3	5,85	4,50	2,40	1
44	1,3	6,50	5,00	2,40	1
45	1,3	7,15	5,50	2,40	1
46	1,3	7,80	6,00	2,40	1
47	1,3	8,45	6,50	2,40	1

48	1,3	9,10	7,00	2,40	1
49	1,4	2,94	2,10	2,40	1
50	1,4	3,36	2,40	2,40	1
51	1,4	3,78	2,70	2,40	1
52	1,4	4,20	3,00	2,40	1
53	1,4	4,90	3,50	2,40	1
54	1,4	5,60	4,00	2,40	1
55	1,4	6,30	4,50	2,40	1
56	1,4	7,00	5,00	2,40	1
57	1,4	7,70	5,50	2,40	1
58	1,4	8,40	6,00	2,40	1
59	1,4	9,10	6,50	2,40	1
60	1,4	9,80	7,00	2,40	1
61	1,5	3,15	2,10	2,40	1
62	1,5	3,60	2,40	2,40	1
63	1,5	4,05	2,70	2,40	1
64	1,5	4,50	3,00	2,40	1
65	1,5	5,25	3,50	2,40	1
66	1,5	6,00	4,00	2,40	1
67	1,5	6,75	4,50	2,40	1
68	1,5	7,50	5,00	2,40	1
69	1,5	8,25	5,50	2,40	1
70	1,5	9,00	6,00	2,40	1
71	1,5	9,75	6,50	2,40	1
72	1,5	10,50	7,00	2,40	1
73	1,6	3,36	2,10	2,40	1
74	1,6	3,84	2,40	2,40	1
75	1,6	4,32	2,70	2,40	1
76	1,6	4,80	3,00	2,40	1
77	1,6	5,60	3,50	2,40	1
78	1,6	6,40	4,00	2,40	1
79	1,6	7,20	4,50	2,40	1
80	1,6	8,00	5,00	2,40	1
81	1,6	8,80	5,50	2,40	1
82	1,6	9,60	6,00	2,40	1
83	1,6	10,40	6,50	2,40	1
84	1,7	3,57	2,10	2,40	1
85	1,7	4,08	2,40	2,40	1
86	1,7	4,59	2,70	2,40	1
87	1,7	5,10	3,00	2,40	1
88	1,7	5,95	3,50	2,40	1
89	1,7	6,80	4,00	2,40	1
90	1,7	7,65	4,50	2,40	1
91	1,7	8,50	5,00	2,40	1
92	1,7	9,35	5,50	2,40	1
93	1,7	10,20	6,00	2,40	1
94	1,8	3,78	2,10	2,40	1
95	1,8	4,32	2,40	2,40	1
96	1,8	4,86	2,70	2,40	1
97	1,8	5,40	3,00	2,40	1
98	1,8	6,30	3,50	2,40	1
99	1,8	7,20	4,00	2,40	1
100	1,8	8,10	4,50	2,40	1
101	1,8	9,00	5,00	2,40	1
102	1,8	9,90	5,50	2,40	1

103	1,8	10,80	6,00	2,40	1
104	1,9	3,99	2,10	2,40	1
105	1,9	4,56	2,40	2,40	1
106	1,9	5,13	2,70	2,40	1
107	1,9	5,70	3,00	2,40	1
108	1,9	6,65	3,50	2,40	1
109	1,9	7,60	4,00	2,40	1
110	1,9	8,55	4,50	2,40	1
111	1,9	9,50	5,00	2,40	1
112	1,9	10,45	5,50	2,40	1
113	2	4,20	2,10	2,40	1
114	2	4,80	2,40	2,40	1
115	2	5,40	2,70	2,40	1
116	2	6,00	3,00	2,40	1
117	2	7,00	3,50	2,40	1
118	2	8,00	4,00	2,40	1
119	2	9,00	4,50	2,40	1
120	2	10,00	5,00	2,40	1
121	1	2,10	2,10	2,40	2
122	1	2,40	2,40	2,40	2
123	1	2,70	2,70	2,40	2
124	1	3,00	3,00	2,40	2
125	1	3,50	3,50	2,40	2
126	1	4,00	4,00	2,40	2
127	1	4,50	4,50	2,40	2
128	1	5,00	5,00	2,40	2
129	1	5,50	5,50	2,40	2
130	1	6,00	6,00	2,40	2
131	1	6,50	6,50	2,40	2
132	1	7,00	7,00	2,40	2
133	1,1	2,31	2,10	2,40	2
134	1,1	2,64	2,40	2,40	2
135	1,1	2,97	2,70	2,40	2
136	1,1	3,30	3,00	2,40	2
137	1,1	3,85	3,50	2,40	2
138	1,1	4,40	4,00	2,40	2
139	1,1	4,95	4,50	2,40	2
140	1,1	5,50	5,00	2,40	2
141	1,1	6,05	5,50	2,40	2
142	1,1	6,60	6,00	2,40	2
143	1,1	7,15	6,50	2,40	2
144	1,1	7,70	7,00	2,40	2
145	1,2	2,52	2,10	2,40	2
146	1,2	2,88	2,40	2,40	2
147	1,2	3,24	2,70	2,40	2
148	1,2	3,60	3,00	2,40	2
149	1,2	4,20	3,50	2,40	2
150	1,2	4,80	4,00	2,40	2
151	1,2	5,40	4,50	2,40	2
152	1,2	6,00	5,00	2,40	2
153	1,2	6,60	5,50	2,40	2
154	1,2	7,20	6,00	2,40	2
155	1,2	7,80	6,50	2,40	2
156	1,2	8,40	7,00	2,40	2
157	1,3	2,73	2,10	2,40	2

158	1,3	3,12	2,40	2,40	2
159	1,3	3,51	2,70	2,40	2
160	1,3	3,90	3,00	2,40	2
161	1,3	4,55	3,50	2,40	2
162	1,3	5,20	4,00	2,40	2
163	1,3	5,85	4,50	2,40	2
164	1,3	6,50	5,00	2,40	2
165	1,3	7,15	5,50	2,40	2
166	1,3	7,80	6,00	2,40	2
167	1,3	8,45	6,50	2,40	2
168	1,3	9,10	7,00	2,40	2
169	1,4	2,94	2,10	2,40	2
170	1,4	3,36	2,40	2,40	2
171	1,4	3,78	2,70	2,40	2
172	1,4	4,20	3,00	2,40	2
173	1,4	4,90	3,50	2,40	2
174	1,4	5,60	4,00	2,40	2
175	1,4	6,30	4,50	2,40	2
176	1,4	7,00	5,00	2,40	2
177	1,4	7,70	5,50	2,40	2
178	1,4	8,40	6,00	2,40	2
179	1,4	9,10	6,50	2,40	2
180	1,4	9,80	7,00	2,40	2
181	1,5	3,15	2,10	2,40	2
182	1,5	3,60	2,40	2,40	2
183	1,5	4,05	2,70	2,40	2
184	1,5	4,50	3,00	2,40	2
185	1,5	5,25	3,50	2,40	2
186	1,5	6,00	4,00	2,40	2
187	1,5	6,75	4,50	2,40	2
188	1,5	7,50	5,00	2,40	2
189	1,5	8,25	5,50	2,40	2
190	1,5	9,00	6,00	2,40	2
191	1,5	9,75	6,50	2,40	2
192	1,5	10,50	7,00	2,40	2
193	1,6	3,36	2,10	2,40	2
194	1,6	3,84	2,40	2,40	2
195	1,6	4,32	2,70	2,40	2
196	1,6	4,80	3,00	2,40	2
197	1,6	5,60	3,50	2,40	2
198	1,6	6,40	4,00	2,40	2
199	1,6	7,20	4,50	2,40	2
200	1,6	8,00	5,00	2,40	2
201	1,6	8,80	5,50	2,40	2
202	1,6	9,60	6,00	2,40	2
203	1,6	10,40	6,50	2,40	2
204	1,7	3,57	2,10	2,40	2
205	1,7	4,08	2,40	2,40	2
206	1,7	4,59	2,70	2,40	2
207	1,7	5,10	3,00	2,40	2
208	1,7	5,95	3,50	2,40	2
209	1,7	6,80	4,00	2,40	2
210	1,7	7,65	4,50	2,40	2
211	1,7	8,50	5,00	2,40	2
212	1,7	9,35	5,50	2,40	2

213	1,7	10,20	6,00	2,40	2
214	1,8	3,78	2,10	2,40	2
215	1,8	4,32	2,40	2,40	2
216	1,8	4,86	2,70	2,40	2
217	1,8	5,40	3,00	2,40	2
218	1,8	6,30	3,50	2,40	2
219	1,8	7,20	4,00	2,40	2
220	1,8	8,10	4,50	2,40	2
221	1,8	9,00	5,00	2,40	2
222	1,8	9,90	5,50	2,40	2
223	1,8	10,80	6,00	2,40	2
224	1,9	3,99	2,10	2,40	2
225	1,9	4,56	2,40	2,40	2
226	1,9	5,13	2,70	2,40	2
227	1,9	5,70	3,00	2,40	2
228	1,9	6,65	3,50	2,40	2
229	1,9	7,60	4,00	2,40	2
230	1,9	8,55	4,50	2,40	2
231	1,9	9,50	5,00	2,40	2
232	1,9	10,45	5,50	2,40	2
233	2	4,20	2,10	2,40	2
234	2	4,80	2,40	2,40	2
235	2	5,40	2,70	2,40	2
236	2	6,00	3,00	2,40	2
237	2	7,00	3,50	2,40	2
238	2	8,00	4,00	2,40	2
239	2	9,00	4,50	2,40	2
240	2	10,00	5,00	2,40	2
241	1	2,10	2,10	2,40	3
242	1	2,40	2,40	2,40	3
243	1	2,70	2,70	2,40	3
244	1	3,00	3,00	2,40	3
245	1	3,50	3,50	2,40	3
246	1	4,00	4,00	2,40	3
247	1	4,50	4,50	2,40	3
248	1	5,00	5,00	2,40	3
249	1	5,50	5,50	2,40	3
250	1	6,00	6,00	2,40	3
251	1	6,50	6,50	2,40	3
252	1	7,00	7,00	2,40	3
253	1,1	2,31	2,10	2,40	3
254	1,1	2,64	2,40	2,40	3
255	1,1	2,97	2,70	2,40	3
256	1,1	3,30	3,00	2,40	3
257	1,1	3,85	3,50	2,40	3
258	1,1	4,40	4,00	2,40	3
259	1,1	4,95	4,50	2,40	3
260	1,1	5,50	5,00	2,40	3
261	1,1	6,05	5,50	2,40	3
262	1,1	6,60	6,00	2,40	3
263	1,1	7,15	6,50	2,40	3
264	1,1	7,70	7,00	2,40	3
265	1,2	2,52	2,10	2,40	3
266	1,2	2,88	2,40	2,40	3
267	1,2	3,24	2,70	2,40	3

268	1,2	3,60	3,00	2,40	3
269	1,2	4,20	3,50	2,40	3
270	1,2	4,80	4,00	2,40	3
271	1,2	5,40	4,50	2,40	3
272	1,2	6,00	5,00	2,40	3
273	1,2	6,60	5,50	2,40	3
274	1,2	7,20	6,00	2,40	3
275	1,2	7,80	6,50	2,40	3
276	1,2	8,40	7,00	2,40	3
277	1,3	2,73	2,10	2,40	3
278	1,3	3,12	2,40	2,40	3
279	1,3	3,51	2,70	2,40	3
280	1,3	3,90	3,00	2,40	3
281	1,3	4,55	3,50	2,40	3
282	1,3	5,20	4,00	2,40	3
283	1,3	5,85	4,50	2,40	3
284	1,3	6,50	5,00	2,40	3
285	1,3	7,15	5,50	2,40	3
286	1,3	7,80	6,00	2,40	3
287	1,3	8,45	6,50	2,40	3
288	1,3	9,10	7,00	2,40	3
289	1,4	2,94	2,10	2,40	3
290	1,4	3,36	2,40	2,40	3
291	1,4	3,78	2,70	2,40	3
292	1,4	4,20	3,00	2,40	3
293	1,4	4,90	3,50	2,40	3
294	1,4	5,60	4,00	2,40	3
295	1,4	6,30	4,50	2,40	3
296	1,4	7,00	5,00	2,40	3
297	1,4	7,70	5,50	2,40	3
298	1,4	8,40	6,00	2,40	3
299	1,4	9,10	6,50	2,40	3
300	1,4	9,80	7,00	2,40	3
301	1,5	3,15	2,10	2,40	3
302	1,5	3,60	2,40	2,40	3
303	1,5	4,05	2,70	2,40	3
304	1,5	4,50	3,00	2,40	3
305	1,5	5,25	3,50	2,40	3
306	1,5	6,00	4,00	2,40	3
307	1,5	6,75	4,50	2,40	3
308	1,5	7,50	5,00	2,40	3
309	1,5	8,25	5,50	2,40	3
310	1,5	9,00	6,00	2,40	3
311	1,5	9,75	6,50	2,40	3
312	1,5	10,50	7,00	2,40	3
313	1,6	3,36	2,10	2,40	3
314	1,6	3,84	2,40	2,40	3
315	1,6	4,32	2,70	2,40	3
316	1,6	4,80	3,00	2,40	3
317	1,6	5,60	3,50	2,40	3
318	1,6	6,40	4,00	2,40	3
319	1,6	7,20	4,50	2,40	3
320	1,6	8,00	5,00	2,40	3
321	1,6	8,80	5,50	2,40	3
322	1,6	9,60	6,00	2,40	3

323	1,6	10,40	6,50	2,40	3
324	1,7	3,57	2,10	2,40	3
325	1,7	4,08	2,40	2,40	3
326	1,7	4,59	2,70	2,40	3
327	1,7	5,10	3,00	2,40	3
328	1,7	5,95	3,50	2,40	3
329	1,7	6,80	4,00	2,40	3
330	1,7	7,65	4,50	2,40	3
331	1,7	8,50	5,00	2,40	3
332	1,7	9,35	5,50	2,40	3
333	1,7	10,20	6,00	2,40	3
334	1,8	3,78	2,10	2,40	3
335	1,8	4,32	2,40	2,40	3
336	1,8	4,86	2,70	2,40	3
337	1,8	5,40	3,00	2,40	3
338	1,8	6,30	3,50	2,40	3
339	1,8	7,20	4,00	2,40	3
340	1,8	8,10	4,50	2,40	3
341	1,8	9,00	5,00	2,40	3
342	1,8	9,90	5,50	2,40	3
343	1,8	10,80	6,00	2,40	3
344	1,9	3,99	2,10	2,40	3
345	1,9	4,56	2,40	2,40	3
346	1,9	5,13	2,70	2,40	3
347	1,9	5,70	3,00	2,40	3
348	1,9	6,65	3,50	2,40	3
349	1,9	7,60	4,00	2,40	3
350	1,9	8,55	4,50	2,40	3
351	1,9	9,50	5,00	2,40	3
352	1,9	10,45	5,50	2,40	3
353	2	4,20	2,10	2,40	3
354	2	4,80	2,40	2,40	3
355	2	5,40	2,70	2,40	3
356	2	6,00	3,00	2,40	3
357	2	7,00	3,50	2,40	3
358	2	8,00	4,00	2,40	3
359	2	9,00	4,50	2,40	3
360	2	10,00	5,00	2,40	3
361	1	2,10	2,10	2,40	4
362	1	2,40	2,40	2,40	4
363	1	2,70	2,70	2,40	4
364	1	3,00	3,00	2,40	4
365	1	3,50	3,50	2,40	4
366	1	4,00	4,00	2,40	4
367	1	4,50	4,50	2,40	4
368	1	5,00	5,00	2,40	4
369	1	5,50	5,50	2,40	4
370	1	6,00	6,00	2,40	4
371	1	6,50	6,50	2,40	4
372	1	7,00	7,00	2,40	4
373	1,1	2,31	2,10	2,40	4
374	1,1	2,64	2,40	2,40	4
375	1,1	2,97	2,70	2,40	4
376	1,1	3,30	3,00	2,40	4
377	1,1	3,85	3,50	2,40	4

378	1,1	4,40	4,00	2,40	4
379	1,1	4,95	4,50	2,40	4
380	1,1	5,50	5,00	2,40	4
381	1,1	6,05	5,50	2,40	4
382	1,1	6,60	6,00	2,40	4
383	1,1	7,15	6,50	2,40	4
384	1,1	7,70	7,00	2,40	4
385	1,2	2,52	2,10	2,40	4
386	1,2	2,88	2,40	2,40	4
387	1,2	3,24	2,70	2,40	4
388	1,2	3,60	3,00	2,40	4
389	1,2	4,20	3,50	2,40	4
390	1,2	4,80	4,00	2,40	4
391	1,2	5,40	4,50	2,40	4
392	1,2	6,00	5,00	2,40	4
393	1,2	6,60	5,50	2,40	4
394	1,2	7,20	6,00	2,40	4
395	1,2	7,80	6,50	2,40	4
396	1,2	8,40	7,00	2,40	4
397	1,3	2,73	2,10	2,40	4
398	1,3	3,12	2,40	2,40	4
399	1,3	3,51	2,70	2,40	4
400	1,3	3,90	3,00	2,40	4
401	1,3	4,55	3,50	2,40	4
402	1,3	5,20	4,00	2,40	4
403	1,3	5,85	4,50	2,40	4
404	1,3	6,50	5,00	2,40	4
405	1,3	7,15	5,50	2,40	4
406	1,3	7,80	6,00	2,40	4
407	1,3	8,45	6,50	2,40	4
408	1,3	9,10	7,00	2,40	4
409	1,4	2,94	2,10	2,40	4
410	1,4	3,36	2,40	2,40	4
411	1,4	3,78	2,70	2,40	4
412	1,4	4,20	3,00	2,40	4
413	1,4	4,90	3,50	2,40	4
414	1,4	5,60	4,00	2,40	4
415	1,4	6,30	4,50	2,40	4
416	1,4	7,00	5,00	2,40	4
417	1,4	7,70	5,50	2,40	4
418	1,4	8,40	6,00	2,40	4
419	1,4	9,10	6,50	2,40	4
420	1,4	9,80	7,00	2,40	4
421	1,5	3,15	2,10	2,40	4
422	1,5	3,60	2,40	2,40	4
423	1,5	4,05	2,70	2,40	4
424	1,5	4,50	3,00	2,40	4
425	1,5	5,25	3,50	2,40	4
426	1,5	6,00	4,00	2,40	4
427	1,5	6,75	4,50	2,40	4
428	1,5	7,50	5,00	2,40	4
429	1,5	8,25	5,50	2,40	4
430	1,5	9,00	6,00	2,40	4
431	1,5	9,75	6,50	2,40	4
432	1,5	10,50	7,00	2,40	4

433	1,6	3,36	2,10	2,40	4
434	1,6	3,84	2,40	2,40	4
435	1,6	4,32	2,70	2,40	4
436	1,6	4,80	3,00	2,40	4
437	1,6	5,60	3,50	2,40	4
438	1,6	6,40	4,00	2,40	4
439	1,6	7,20	4,50	2,40	4
440	1,6	8,00	5,00	2,40	4
441	1,6	8,80	5,50	2,40	4
442	1,6	9,60	6,00	2,40	4
443	1,6	10,40	6,50	2,40	4
444	1,7	3,57	2,10	2,40	4
445	1,7	4,08	2,40	2,40	4
446	1,7	4,59	2,70	2,40	4
447	1,7	5,10	3,00	2,40	4
448	1,7	5,95	3,50	2,40	4
449	1,7	6,80	4,00	2,40	4
450	1,7	7,65	4,50	2,40	4
451	1,7	8,50	5,00	2,40	4
452	1,7	9,35	5,50	2,40	4
453	1,7	10,20	6,00	2,40	4
454	1,8	3,78	2,10	2,40	4
455	1,8	4,32	2,40	2,40	4
456	1,8	4,86	2,70	2,40	4
457	1,8	5,40	3,00	2,40	4
458	1,8	6,30	3,50	2,40	4
459	1,8	7,20	4,00	2,40	4
460	1,8	8,10	4,50	2,40	4
461	1,8	9,00	5,00	2,40	4
462	1,8	9,90	5,50	2,40	4
463	1,8	10,80	6,00	2,40	4
464	1,9	3,99	2,10	2,40	4
465	1,9	4,56	2,40	2,40	4
466	1,9	5,13	2,70	2,40	4
467	1,9	5,70	3,00	2,40	4
468	1,9	6,65	3,50	2,40	4
469	1,9	7,60	4,00	2,40	4
470	1,9	8,55	4,50	2,40	4
471	1,9	9,50	5,00	2,40	4
472	1,9	10,45	5,50	2,40	4
473	2	4,20	2,10	2,40	4
474	2	4,80	2,40	2,40	4
475	2	5,40	2,70	2,40	4
476	2	6,00	3,00	2,40	4
477	2	7,00	3,50	2,40	4
478	2	8,00	4,00	2,40	4
479	2	9,00	4,50	2,40	4
480	2	10,00	5,00	2,40	4
481	1	2,10	2,10	2,70	1
482	1	2,40	2,40	2,70	1
483	1	2,70	2,70	2,70	1
484	1	3,00	3,00	2,70	1
485	1	3,50	3,50	2,70	1
486	1	4,00	4,00	2,70	1
487	1	4,50	4,50	2,70	1

488	1	5,00	5,00	2,70	1
489	1	5,50	5,50	2,70	1
490	1	6,00	6,00	2,70	1
491	1	6,50	6,50	2,70	1
492	1	7,00	7,00	2,70	1
493	1,1	2,31	2,10	2,70	1
494	1,1	2,64	2,40	2,70	1
495	1,1	2,97	2,70	2,70	1
496	1,1	3,30	3,00	2,70	1
497	1,1	3,85	3,50	2,70	1
498	1,1	4,40	4,00	2,70	1
499	1,1	4,95	4,50	2,70	1
500	1,1	5,50	5,00	2,70	1
501	1,1	6,05	5,50	2,70	1
502	1,1	6,60	6,00	2,70	1
503	1,1	7,15	6,50	2,70	1
504	1,1	7,70	7,00	2,70	1
505	1,2	2,52	2,10	2,70	1
506	1,2	2,88	2,40	2,70	1
507	1,2	3,24	2,70	2,70	1
508	1,2	3,60	3,00	2,70	1
509	1,2	4,20	3,50	2,70	1
510	1,2	4,80	4,00	2,70	1
511	1,2	5,40	4,50	2,70	1
512	1,2	6,00	5,00	2,70	1
513	1,2	6,60	5,50	2,70	1
514	1,2	7,20	6,00	2,70	1
515	1,2	7,80	6,50	2,70	1
516	1,2	8,40	7,00	2,70	1
517	1,3	2,73	2,10	2,70	1
518	1,3	3,12	2,40	2,70	1
519	1,3	3,51	2,70	2,70	1
520	1,3	3,90	3,00	2,70	1
521	1,3	4,55	3,50	2,70	1
522	1,3	5,20	4,00	2,70	1
523	1,3	5,85	4,50	2,70	1
524	1,3	6,50	5,00	2,70	1
525	1,3	7,15	5,50	2,70	1
526	1,3	7,80	6,00	2,70	1
527	1,3	8,45	6,50	2,70	1
528	1,3	9,10	7,00	2,70	1
529	1,4	2,94	2,10	2,70	1
530	1,4	3,36	2,40	2,70	1
531	1,4	3,78	2,70	2,70	1
532	1,4	4,20	3,00	2,70	1
533	1,4	4,90	3,50	2,70	1
534	1,4	5,60	4,00	2,70	1
535	1,4	6,30	4,50	2,70	1
536	1,4	7,00	5,00	2,70	1
537	1,4	7,70	5,50	2,70	1
538	1,4	8,40	6,00	2,70	1
539	1,4	9,10	6,50	2,70	1
540	1,4	9,80	7,00	2,70	1
541	1,5	3,15	2,10	2,70	1
542	1,5	3,60	2,40	2,70	1

543	1,5	4,05	2,70	2,70	1
544	1,5	4,50	3,00	2,70	1
545	1,5	5,25	3,50	2,70	1
546	1,5	6,00	4,00	2,70	1
547	1,5	6,75	4,50	2,70	1
548	1,5	7,50	5,00	2,70	1
549	1,5	8,25	5,50	2,70	1
550	1,5	9,00	6,00	2,70	1
551	1,5	9,75	6,50	2,70	1
552	1,5	10,50	7,00	2,70	1
553	1,6	3,36	2,10	2,70	1
554	1,6	3,84	2,40	2,70	1
555	1,6	4,32	2,70	2,70	1
556	1,6	4,80	3,00	2,70	1
557	1,6	5,60	3,50	2,70	1
558	1,6	6,40	4,00	2,70	1
559	1,6	7,20	4,50	2,70	1
560	1,6	8,00	5,00	2,70	1
561	1,6	8,80	5,50	2,70	1
562	1,6	9,60	6,00	2,70	1
563	1,6	10,40	6,50	2,70	1
564	1,7	3,57	2,10	2,70	1
565	1,7	4,08	2,40	2,70	1
566	1,7	4,59	2,70	2,70	1
567	1,7	5,10	3,00	2,70	1
568	1,7	5,95	3,50	2,70	1
569	1,7	6,80	4,00	2,70	1
570	1,7	7,65	4,50	2,70	1
571	1,7	8,50	5,00	2,70	1
572	1,7	9,35	5,50	2,70	1
573	1,7	10,20	6,00	2,70	1
574	1,8	3,78	2,10	2,70	1
575	1,8	4,32	2,40	2,70	1
576	1,8	4,86	2,70	2,70	1
577	1,8	5,40	3,00	2,70	1
578	1,8	6,30	3,50	2,70	1
579	1,8	7,20	4,00	2,70	1
580	1,8	8,10	4,50	2,70	1
581	1,8	9,00	5,00	2,70	1
582	1,8	9,90	5,50	2,70	1
583	1,8	10,80	6,00	2,70	1
584	1,9	3,99	2,10	2,70	1
585	1,9	4,56	2,40	2,70	1
586	1,9	5,13	2,70	2,70	1
587	1,9	5,70	3,00	2,70	1
588	1,9	6,65	3,50	2,70	1
589	1,9	7,60	4,00	2,70	1
590	1,9	8,55	4,50	2,70	1
591	1,9	9,50	5,00	2,70	1
592	1,9	10,45	5,50	2,70	1
593	2	4,20	2,10	2,70	1
594	2	4,80	2,40	2,70	1
595	2	5,40	2,70	2,70	1
596	2	6,00	3,00	2,70	1
597	2	7,00	3,50	2,70	1

598	2	8,00	4,00	2,70	1
599	2	9,00	4,50	2,70	1
600	2	10,00	5,00	2,70	1
601	1	2,10	2,10	2,70	2
602	1	2,40	2,40	2,70	2
603	1	2,70	2,70	2,70	2
604	1	3,00	3,00	2,70	2
605	1	3,50	3,50	2,70	2
606	1	4,00	4,00	2,70	2
607	1	4,50	4,50	2,70	2
608	1	5,00	5,00	2,70	2
609	1	5,50	5,50	2,70	2
610	1	6,00	6,00	2,70	2
611	1	6,50	6,50	2,70	2
612	1	7,00	7,00	2,70	2
613	1,1	2,31	2,10	2,70	2
614	1,1	2,64	2,40	2,70	2
615	1,1	2,97	2,70	2,70	2
616	1,1	3,30	3,00	2,70	2
617	1,1	3,85	3,50	2,70	2
618	1,1	4,40	4,00	2,70	2
619	1,1	4,95	4,50	2,70	2
620	1,1	5,50	5,00	2,70	2
621	1,1	6,05	5,50	2,70	2
622	1,1	6,60	6,00	2,70	2
623	1,1	7,15	6,50	2,70	2
624	1,1	7,70	7,00	2,70	2
625	1,2	2,52	2,10	2,70	2
626	1,2	2,88	2,40	2,70	2
627	1,2	3,24	2,70	2,70	2
628	1,2	3,60	3,00	2,70	2
629	1,2	4,20	3,50	2,70	2
630	1,2	4,80	4,00	2,70	2
631	1,2	5,40	4,50	2,70	2
632	1,2	6,00	5,00	2,70	2
633	1,2	6,60	5,50	2,70	2
634	1,2	7,20	6,00	2,70	2
635	1,2	7,80	6,50	2,70	2
636	1,2	8,40	7,00	2,70	2
637	1,3	2,73	2,10	2,70	2
638	1,3	3,12	2,40	2,70	2
639	1,3	3,51	2,70	2,70	2
640	1,3	3,90	3,00	2,70	2
641	1,3	4,55	3,50	2,70	2
642	1,3	5,20	4,00	2,70	2
643	1,3	5,85	4,50	2,70	2
644	1,3	6,50	5,00	2,70	2
645	1,3	7,15	5,50	2,70	2
646	1,3	7,80	6,00	2,70	2
647	1,3	8,45	6,50	2,70	2
648	1,3	9,10	7,00	2,70	2
649	1,4	2,94	2,10	2,70	2
650	1,4	3,36	2,40	2,70	2
651	1,4	3,78	2,70	2,70	2
652	1,4	4,20	3,00	2,70	2

653	1,4	4,90	3,50	2,70	2
654	1,4	5,60	4,00	2,70	2
655	1,4	6,30	4,50	2,70	2
656	1,4	7,00	5,00	2,70	2
657	1,4	7,70	5,50	2,70	2
658	1,4	8,40	6,00	2,70	2
659	1,4	9,10	6,50	2,70	2
660	1,4	9,80	7,00	2,70	2
661	1,5	3,15	2,10	2,70	2
662	1,5	3,60	2,40	2,70	2
663	1,5	4,05	2,70	2,70	2
664	1,5	4,50	3,00	2,70	2
665	1,5	5,25	3,50	2,70	2
666	1,5	6,00	4,00	2,70	2
667	1,5	6,75	4,50	2,70	2
668	1,5	7,50	5,00	2,70	2
669	1,5	8,25	5,50	2,70	2
670	1,5	9,00	6,00	2,70	2
671	1,5	9,75	6,50	2,70	2
672	1,5	10,50	7,00	2,70	2
673	1,6	3,36	2,10	2,70	2
674	1,6	3,84	2,40	2,70	2
675	1,6	4,32	2,70	2,70	2
676	1,6	4,80	3,00	2,70	2
677	1,6	5,60	3,50	2,70	2
678	1,6	6,40	4,00	2,70	2
679	1,6	7,20	4,50	2,70	2
680	1,6	8,00	5,00	2,70	2
681	1,6	8,80	5,50	2,70	2
682	1,6	9,60	6,00	2,70	2
683	1,6	10,40	6,50	2,70	2
684	1,7	3,57	2,10	2,70	2
685	1,7	4,08	2,40	2,70	2
686	1,7	4,59	2,70	2,70	2
687	1,7	5,10	3,00	2,70	2
688	1,7	5,95	3,50	2,70	2
689	1,7	6,80	4,00	2,70	2
690	1,7	7,65	4,50	2,70	2
691	1,7	8,50	5,00	2,70	2
692	1,7	9,35	5,50	2,70	2
693	1,7	10,20	6,00	2,70	2
694	1,8	3,78	2,10	2,70	2
695	1,8	4,32	2,40	2,70	2
696	1,8	4,86	2,70	2,70	2
697	1,8	5,40	3,00	2,70	2
698	1,8	6,30	3,50	2,70	2
699	1,8	7,20	4,00	2,70	2
700	1,8	8,10	4,50	2,70	2
701	1,8	9,00	5,00	2,70	2
702	1,8	9,90	5,50	2,70	2
703	1,8	10,80	6,00	2,70	2
704	1,9	3,99	2,10	2,70	2
705	1,9	4,56	2,40	2,70	2
706	1,9	5,13	2,70	2,70	2
707	1,9	5,70	3,00	2,70	2

708	1,9	6,65	3,50	2,70	2
709	1,9	7,60	4,00	2,70	2
710	1,9	8,55	4,50	2,70	2
711	1,9	9,50	5,00	2,70	2
712	1,9	10,45	5,50	2,70	2
713	2	4,20	2,10	2,70	2
714	2	4,80	2,40	2,70	2
715	2	5,40	2,70	2,70	2
716	2	6,00	3,00	2,70	2
717	2	7,00	3,50	2,70	2
718	2	8,00	4,00	2,70	2
719	2	9,00	4,50	2,70	2
720	2	10,00	5,00	2,70	2
721	1	2,10	2,10	2,70	3
722	1	2,40	2,40	2,70	3
723	1	2,70	2,70	2,70	3
724	1	3,00	3,00	2,70	3
725	1	3,50	3,50	2,70	3
726	1	4,00	4,00	2,70	3
727	1	4,50	4,50	2,70	3
728	1	5,00	5,00	2,70	3
729	1	5,50	5,50	2,70	3
730	1	6,00	6,00	2,70	3
731	1	6,50	6,50	2,70	3
732	1	7,00	7,00	2,70	3
733	1,1	2,31	2,10	2,70	3
734	1,1	2,64	2,40	2,70	3
735	1,1	2,97	2,70	2,70	3
736	1,1	3,30	3,00	2,70	3
737	1,1	3,85	3,50	2,70	3
738	1,1	4,40	4,00	2,70	3
739	1,1	4,95	4,50	2,70	3
740	1,1	5,50	5,00	2,70	3
741	1,1	6,05	5,50	2,70	3
742	1,1	6,60	6,00	2,70	3
743	1,1	7,15	6,50	2,70	3
744	1,1	7,70	7,00	2,70	3
745	1,2	2,52	2,10	2,70	3
746	1,2	2,88	2,40	2,70	3
747	1,2	3,24	2,70	2,70	3
748	1,2	3,60	3,00	2,70	3
749	1,2	4,20	3,50	2,70	3
750	1,2	4,80	4,00	2,70	3
751	1,2	5,40	4,50	2,70	3
752	1,2	6,00	5,00	2,70	3
753	1,2	6,60	5,50	2,70	3
754	1,2	7,20	6,00	2,70	3
755	1,2	7,80	6,50	2,70	3
756	1,2	8,40	7,00	2,70	3
757	1,3	2,73	2,10	2,70	3
758	1,3	3,12	2,40	2,70	3
759	1,3	3,51	2,70	2,70	3
760	1,3	3,90	3,00	2,70	3
761	1,3	4,55	3,50	2,70	3
762	1,3	5,20	4,00	2,70	3

763	1,3	5,85	4,50	2,70	3
764	1,3	6,50	5,00	2,70	3
765	1,3	7,15	5,50	2,70	3
766	1,3	7,80	6,00	2,70	3
767	1,3	8,45	6,50	2,70	3
768	1,3	9,10	7,00	2,70	3
769	1,4	2,94	2,10	2,70	3
770	1,4	3,36	2,40	2,70	3
771	1,4	3,78	2,70	2,70	3
772	1,4	4,20	3,00	2,70	3
773	1,4	4,90	3,50	2,70	3
774	1,4	5,60	4,00	2,70	3
775	1,4	6,30	4,50	2,70	3
776	1,4	7,00	5,00	2,70	3
777	1,4	7,70	5,50	2,70	3
778	1,4	8,40	6,00	2,70	3
779	1,4	9,10	6,50	2,70	3
780	1,4	9,80	7,00	2,70	3
781	1,5	3,15	2,10	2,70	3
782	1,5	3,60	2,40	2,70	3
783	1,5	4,05	2,70	2,70	3
784	1,5	4,50	3,00	2,70	3
785	1,5	5,25	3,50	2,70	3
786	1,5	6,00	4,00	2,70	3
787	1,5	6,75	4,50	2,70	3
788	1,5	7,50	5,00	2,70	3
789	1,5	8,25	5,50	2,70	3
790	1,5	9,00	6,00	2,70	3
791	1,5	9,75	6,50	2,70	3
792	1,5	10,50	7,00	2,70	3
793	1,6	3,36	2,10	2,70	3
794	1,6	3,84	2,40	2,70	3
795	1,6	4,32	2,70	2,70	3
796	1,6	4,80	3,00	2,70	3
797	1,6	5,60	3,50	2,70	3
798	1,6	6,40	4,00	2,70	3
799	1,6	7,20	4,50	2,70	3
800	1,6	8,00	5,00	2,70	3
801	1,6	8,80	5,50	2,70	3
802	1,6	9,60	6,00	2,70	3
803	1,6	10,40	6,50	2,70	3
804	1,7	3,57	2,10	2,70	3
805	1,7	4,08	2,40	2,70	3
806	1,7	4,59	2,70	2,70	3
807	1,7	5,10	3,00	2,70	3
808	1,7	5,95	3,50	2,70	3
809	1,7	6,80	4,00	2,70	3
810	1,7	7,65	4,50	2,70	3
811	1,7	8,50	5,00	2,70	3
812	1,7	9,35	5,50	2,70	3
813	1,7	10,20	6,00	2,70	3
814	1,8	3,78	2,10	2,70	3
815	1,8	4,32	2,40	2,70	3
816	1,8	4,86	2,70	2,70	3
817	1,8	5,40	3,00	2,70	3

818	1,8	6,30	3,50	2,70	3
819	1,8	7,20	4,00	2,70	3
820	1,8	8,10	4,50	2,70	3
821	1,8	9,00	5,00	2,70	3
822	1,8	9,90	5,50	2,70	3
823	1,8	10,80	6,00	2,70	3
824	1,9	3,99	2,10	2,70	3
825	1,9	4,56	2,40	2,70	3
826	1,9	5,13	2,70	2,70	3
827	1,9	5,70	3,00	2,70	3
828	1,9	6,65	3,50	2,70	3
829	1,9	7,60	4,00	2,70	3
830	1,9	8,55	4,50	2,70	3
831	1,9	9,50	5,00	2,70	3
832	1,9	10,45	5,50	2,70	3
833	2	4,20	2,10	2,70	3
834	2	4,80	2,40	2,70	3
835	2	5,40	2,70	2,70	3
836	2	6,00	3,00	2,70	3
837	2	7,00	3,50	2,70	3
838	2	8,00	4,00	2,70	3
839	2	9,00	4,50	2,70	3
840	2	10,00	5,00	2,70	3
841	1	2,10	2,10	2,70	4
842	1	2,40	2,40	2,70	4
843	1	2,70	2,70	2,70	4
844	1	3,00	3,00	2,70	4
845	1	3,50	3,50	2,70	4
846	1	4,00	4,00	2,70	4
847	1	4,50	4,50	2,70	4
848	1	5,00	5,00	2,70	4
849	1	5,50	5,50	2,70	4
850	1	6,00	6,00	2,70	4
851	1	6,50	6,50	2,70	4
852	1	7,00	7,00	2,70	4
853	1,1	2,31	2,10	2,70	4
854	1,1	2,64	2,40	2,70	4
855	1,1	2,97	2,70	2,70	4
856	1,1	3,30	3,00	2,70	4
857	1,1	3,85	3,50	2,70	4
858	1,1	4,40	4,00	2,70	4
859	1,1	4,95	4,50	2,70	4
860	1,1	5,50	5,00	2,70	4
861	1,1	6,05	5,50	2,70	4
862	1,1	6,60	6,00	2,70	4
863	1,1	7,15	6,50	2,70	4
864	1,1	7,70	7,00	2,70	4
865	1,2	2,52	2,10	2,70	4
866	1,2	2,88	2,40	2,70	4
867	1,2	3,24	2,70	2,70	4
868	1,2	3,60	3,00	2,70	4
869	1,2	4,20	3,50	2,70	4
870	1,2	4,80	4,00	2,70	4
871	1,2	5,40	4,50	2,70	4
872	1,2	6,00	5,00	2,70	4

873	1,2	6,60	5,50	2,70	4
874	1,2	7,20	6,00	2,70	4
875	1,2	7,80	6,50	2,70	4
876	1,2	8,40	7,00	2,70	4
877	1,3	2,73	2,10	2,70	4
878	1,3	3,12	2,40	2,70	4
879	1,3	3,51	2,70	2,70	4
880	1,3	3,90	3,00	2,70	4
881	1,3	4,55	3,50	2,70	4
882	1,3	5,20	4,00	2,70	4
883	1,3	5,85	4,50	2,70	4
884	1,3	6,50	5,00	2,70	4
885	1,3	7,15	5,50	2,70	4
886	1,3	7,80	6,00	2,70	4
887	1,3	8,45	6,50	2,70	4
888	1,3	9,10	7,00	2,70	4
889	1,4	2,94	2,10	2,70	4
890	1,4	3,36	2,40	2,70	4
891	1,4	3,78	2,70	2,70	4
892	1,4	4,20	3,00	2,70	4
893	1,4	4,90	3,50	2,70	4
894	1,4	5,60	4,00	2,70	4
895	1,4	6,30	4,50	2,70	4
896	1,4	7,00	5,00	2,70	4
897	1,4	7,70	5,50	2,70	4
898	1,4	8,40	6,00	2,70	4
899	1,4	9,10	6,50	2,70	4
900	1,4	9,80	7,00	2,70	4
901	1,5	3,15	2,10	2,70	4
902	1,5	3,60	2,40	2,70	4
903	1,5	4,05	2,70	2,70	4
904	1,5	4,50	3,00	2,70	4
905	1,5	5,25	3,50	2,70	4
906	1,5	6,00	4,00	2,70	4
907	1,5	6,75	4,50	2,70	4
908	1,5	7,50	5,00	2,70	4
909	1,5	8,25	5,50	2,70	4
910	1,5	9,00	6,00	2,70	4
911	1,5	9,75	6,50	2,70	4
912	1,5	10,50	7,00	2,70	4
913	1,6	3,36	2,10	2,70	4
914	1,6	3,84	2,40	2,70	4
915	1,6	4,32	2,70	2,70	4
916	1,6	4,80	3,00	2,70	4
917	1,6	5,60	3,50	2,70	4
918	1,6	6,40	4,00	2,70	4
919	1,6	7,20	4,50	2,70	4
920	1,6	8,00	5,00	2,70	4
921	1,6	8,80	5,50	2,70	4
922	1,6	9,60	6,00	2,70	4
923	1,6	10,40	6,50	2,70	4
924	1,7	3,57	2,10	2,70	4
925	1,7	4,08	2,40	2,70	4
926	1,7	4,59	2,70	2,70	4
927	1,7	5,10	3,00	2,70	4

928	1,7	5,95	3,50	2,70	4
929	1,7	6,80	4,00	2,70	4
930	1,7	7,65	4,50	2,70	4
931	1,7	8,50	5,00	2,70	4
932	1,7	9,35	5,50	2,70	4
933	1,7	10,20	6,00	2,70	4
934	1,8	3,78	2,10	2,70	4
935	1,8	4,32	2,40	2,70	4
936	1,8	4,86	2,70	2,70	4
937	1,8	5,40	3,00	2,70	4
938	1,8	6,30	3,50	2,70	4
939	1,8	7,20	4,00	2,70	4
940	1,8	8,10	4,50	2,70	4
941	1,8	9,00	5,00	2,70	4
942	1,8	9,90	5,50	2,70	4
943	1,8	10,80	6,00	2,70	4
944	1,9	3,99	2,10	2,70	4
945	1,9	4,56	2,40	2,70	4
946	1,9	5,13	2,70	2,70	4
947	1,9	5,70	3,00	2,70	4
948	1,9	6,65	3,50	2,70	4
949	1,9	7,60	4,00	2,70	4
950	1,9	8,55	4,50	2,70	4
951	1,9	9,50	5,00	2,70	4
952	1,9	10,45	5,50	2,70	4
953	2	4,20	2,10	2,70	4
954	2	4,80	2,40	2,70	4
955	2	5,40	2,70	2,70	4
956	2	6,00	3,00	2,70	4
957	2	7,00	3,50	2,70	4
958	2	8,00	4,00	2,70	4
959	2	9,00	4,50	2,70	4
960	2	10,00	5,00	2,70	4
961	1	2,10	2,10	3,00	1
962	1	2,40	2,40	3,00	1
963	1	2,70	2,70	3,00	1
964	1	3,00	3,00	3,00	1
965	1	3,50	3,50	3,00	1
966	1	4,00	4,00	3,00	1
967	1	4,50	4,50	3,00	1
968	1	5,00	5,00	3,00	1
969	1	5,50	5,50	3,00	1
970	1	6,00	6,00	3,00	1
971	1	6,50	6,50	3,00	1
972	1	7,00	7,00	3,00	1
973	1,1	2,31	2,10	3,00	1
974	1,1	2,64	2,40	3,00	1
975	1,1	2,97	2,70	3,00	1
976	1,1	3,30	3,00	3,00	1
977	1,1	3,85	3,50	3,00	1
978	1,1	4,40	4,00	3,00	1
979	1,1	4,95	4,50	3,00	1
980	1,1	5,50	5,00	3,00	1
981	1,1	6,05	5,50	3,00	1
982	1,1	6,60	6,00	3,00	1

983	1,1	7,15	6,50	3,00	1
984	1,1	7,70	7,00	3,00	1
985	1,2	2,52	2,10	3,00	1
986	1,2	2,88	2,40	3,00	1
987	1,2	3,24	2,70	3,00	1
988	1,2	3,60	3,00	3,00	1
989	1,2	4,20	3,50	3,00	1
990	1,2	4,80	4,00	3,00	1
991	1,2	5,40	4,50	3,00	1
992	1,2	6,00	5,00	3,00	1
993	1,2	6,60	5,50	3,00	1
994	1,2	7,20	6,00	3,00	1
995	1,2	7,80	6,50	3,00	1
996	1,2	8,40	7,00	3,00	1
997	1,3	2,73	2,10	3,00	1
998	1,3	3,12	2,40	3,00	1
999	1,3	3,51	2,70	3,00	1
1000	1,3	3,90	3,00	3,00	1
1001	1,3	4,55	3,50	3,00	1
1002	1,3	5,20	4,00	3,00	1
1003	1,3	5,85	4,50	3,00	1
1004	1,3	6,50	5,00	3,00	1
1005	1,3	7,15	5,50	3,00	1
1006	1,3	7,80	6,00	3,00	1
1007	1,3	8,45	6,50	3,00	1
1008	1,3	9,10	7,00	3,00	1
1009	1,4	2,94	2,10	3,00	1
1010	1,4	3,36	2,40	3,00	1
1011	1,4	3,78	2,70	3,00	1
1012	1,4	4,20	3,00	3,00	1
1013	1,4	4,90	3,50	3,00	1
1014	1,4	5,60	4,00	3,00	1
1015	1,4	6,30	4,50	3,00	1
1016	1,4	7,00	5,00	3,00	1
1017	1,4	7,70	5,50	3,00	1
1018	1,4	8,40	6,00	3,00	1
1019	1,4	9,10	6,50	3,00	1
1020	1,4	9,80	7,00	3,00	1
1021	1,5	3,15	2,10	3,00	1
1022	1,5	3,60	2,40	3,00	1
1023	1,5	4,05	2,70	3,00	1
1024	1,5	4,50	3,00	3,00	1
1025	1,5	5,25	3,50	3,00	1
1026	1,5	6,00	4,00	3,00	1
1027	1,5	6,75	4,50	3,00	1
1028	1,5	7,50	5,00	3,00	1
1029	1,5	8,25	5,50	3,00	1
1030	1,5	9,00	6,00	3,00	1
1031	1,5	9,75	6,50	3,00	1
1032	1,5	10,50	7,00	3,00	1
1033	1,6	3,36	2,10	3,00	1
1034	1,6	3,84	2,40	3,00	1
1035	1,6	4,32	2,70	3,00	1
1036	1,6	4,80	3,00	3,00	1
1037	1,6	5,60	3,50	3,00	1

1038	1,6	6,40	4,00	3,00	1
1039	1,6	7,20	4,50	3,00	1
1040	1,6	8,00	5,00	3,00	1
1041	1,6	8,80	5,50	3,00	1
1042	1,6	9,60	6,00	3,00	1
1043	1,6	10,40	6,50	3,00	1
1044	1,7	3,57	2,10	3,00	1
1045	1,7	4,08	2,40	3,00	1
1046	1,7	4,59	2,70	3,00	1
1047	1,7	5,10	3,00	3,00	1
1048	1,7	5,95	3,50	3,00	1
1049	1,7	6,80	4,00	3,00	1
1050	1,7	7,65	4,50	3,00	1
1051	1,7	8,50	5,00	3,00	1
1052	1,7	9,35	5,50	3,00	1
1053	1,7	10,20	6,00	3,00	1
1054	1,8	3,78	2,10	3,00	1
1055	1,8	4,32	2,40	3,00	1
1056	1,8	4,86	2,70	3,00	1
1057	1,8	5,40	3,00	3,00	1
1058	1,8	6,30	3,50	3,00	1
1059	1,8	7,20	4,00	3,00	1
1060	1,8	8,10	4,50	3,00	1
1061	1,8	9,00	5,00	3,00	1
1062	1,8	9,90	5,50	3,00	1
1063	1,8	10,80	6,00	3,00	1
1064	1,9	3,99	2,10	3,00	1
1065	1,9	4,56	2,40	3,00	1
1066	1,9	5,13	2,70	3,00	1
1067	1,9	5,70	3,00	3,00	1
1068	1,9	6,65	3,50	3,00	1
1069	1,9	7,60	4,00	3,00	1
1070	1,9	8,55	4,50	3,00	1
1071	1,9	9,50	5,00	3,00	1
1072	1,9	10,45	5,50	3,00	1
1073	2	4,20	2,10	3,00	1
1074	2	4,80	2,40	3,00	1
1075	2	5,40	2,70	3,00	1
1076	2	6,00	3,00	3,00	1
1077	2	7,00	3,50	3,00	1
1078	2	8,00	4,00	3,00	1
1079	2	9,00	4,50	3,00	1
1080	2	10,00	5,00	3,00	1
1081	1	2,10	2,10	3,00	2
1082	1	2,40	2,40	3,00	2
1083	1	2,70	2,70	3,00	2
1084	1	3,00	3,00	3,00	2
1085	1	3,50	3,50	3,00	2
1086	1	4,00	4,00	3,00	2
1087	1	4,50	4,50	3,00	2
1088	1	5,00	5,00	3,00	2
1089	1	5,50	5,50	3,00	2
1090	1	6,00	6,00	3,00	2
1091	1	6,50	6,50	3,00	2
1092	1	7,00	7,00	3,00	2

1093	1,1	2,31	2,10	3,00	2
1094	1,1	2,64	2,40	3,00	2
1095	1,1	2,97	2,70	3,00	2
1096	1,1	3,30	3,00	3,00	2
1097	1,1	3,85	3,50	3,00	2
1098	1,1	4,40	4,00	3,00	2
1099	1,1	4,95	4,50	3,00	2
1100	1,1	5,50	5,00	3,00	2
1101	1,1	6,05	5,50	3,00	2
1102	1,1	6,60	6,00	3,00	2
1103	1,1	7,15	6,50	3,00	2
1104	1,1	7,70	7,00	3,00	2
1105	1,2	2,52	2,10	3,00	2
1106	1,2	2,88	2,40	3,00	2
1107	1,2	3,24	2,70	3,00	2
1108	1,2	3,60	3,00	3,00	2
1109	1,2	4,20	3,50	3,00	2
1110	1,2	4,80	4,00	3,00	2
1111	1,2	5,40	4,50	3,00	2
1112	1,2	6,00	5,00	3,00	2
1113	1,2	6,60	5,50	3,00	2
1114	1,2	7,20	6,00	3,00	2
1115	1,2	7,80	6,50	3,00	2
1116	1,2	8,40	7,00	3,00	2
1117	1,3	2,73	2,10	3,00	2
1118	1,3	3,12	2,40	3,00	2
1119	1,3	3,51	2,70	3,00	2
1120	1,3	3,90	3,00	3,00	2
1121	1,3	4,55	3,50	3,00	2
1122	1,3	5,20	4,00	3,00	2
1123	1,3	5,85	4,50	3,00	2
1124	1,3	6,50	5,00	3,00	2
1125	1,3	7,15	5,50	3,00	2
1126	1,3	7,80	6,00	3,00	2
1127	1,3	8,45	6,50	3,00	2
1128	1,3	9,10	7,00	3,00	2
1129	1,4	2,94	2,10	3,00	2
1130	1,4	3,36	2,40	3,00	2
1131	1,4	3,78	2,70	3,00	2
1132	1,4	4,20	3,00	3,00	2
1133	1,4	4,90	3,50	3,00	2
1134	1,4	5,60	4,00	3,00	2
1135	1,4	6,30	4,50	3,00	2
1136	1,4	7,00	5,00	3,00	2
1137	1,4	7,70	5,50	3,00	2
1138	1,4	8,40	6,00	3,00	2
1139	1,4	9,10	6,50	3,00	2
1140	1,4	9,80	7,00	3,00	2
1141	1,5	3,15	2,10	3,00	2
1142	1,5	3,60	2,40	3,00	2
1143	1,5	4,05	2,70	3,00	2
1144	1,5	4,50	3,00	3,00	2
1145	1,5	5,25	3,50	3,00	2
1146	1,5	6,00	4,00	3,00	2
1147	1,5	6,75	4,50	3,00	2

1148	1,5	7,50	5,00	3,00	2
1149	1,5	8,25	5,50	3,00	2
1150	1,5	9,00	6,00	3,00	2
1151	1,5	9,75	6,50	3,00	2
1152	1,5	10,50	7,00	3,00	2
1153	1,6	3,36	2,10	3,00	2
1154	1,6	3,84	2,40	3,00	2
1155	1,6	4,32	2,70	3,00	2
1156	1,6	4,80	3,00	3,00	2
1157	1,6	5,60	3,50	3,00	2
1158	1,6	6,40	4,00	3,00	2
1159	1,6	7,20	4,50	3,00	2
1160	1,6	8,00	5,00	3,00	2
1161	1,6	8,80	5,50	3,00	2
1162	1,6	9,60	6,00	3,00	2
1163	1,6	10,40	6,50	3,00	2
1164	1,7	3,57	2,10	3,00	2
1165	1,7	4,08	2,40	3,00	2
1166	1,7	4,59	2,70	3,00	2
1167	1,7	5,10	3,00	3,00	2
1168	1,7	5,95	3,50	3,00	2
1169	1,7	6,80	4,00	3,00	2
1170	1,7	7,65	4,50	3,00	2
1171	1,7	8,50	5,00	3,00	2
1172	1,7	9,35	5,50	3,00	2
1173	1,7	10,20	6,00	3,00	2
1174	1,8	3,78	2,10	3,00	2
1175	1,8	4,32	2,40	3,00	2
1176	1,8	4,86	2,70	3,00	2
1177	1,8	5,40	3,00	3,00	2
1178	1,8	6,30	3,50	3,00	2
1179	1,8	7,20	4,00	3,00	2
1180	1,8	8,10	4,50	3,00	2
1181	1,8	9,00	5,00	3,00	2
1182	1,8	9,90	5,50	3,00	2
1183	1,8	10,80	6,00	3,00	2
1184	1,9	3,99	2,10	3,00	2
1185	1,9	4,56	2,40	3,00	2
1186	1,9	5,13	2,70	3,00	2
1187	1,9	5,70	3,00	3,00	2
1188	1,9	6,65	3,50	3,00	2
1189	1,9	7,60	4,00	3,00	2
1190	1,9	8,55	4,50	3,00	2
1191	1,9	9,50	5,00	3,00	2
1192	1,9	10,45	5,50	3,00	2
1193	2	4,20	2,10	3,00	2
1194	2	4,80	2,40	3,00	2
1195	2	5,40	2,70	3,00	2
1196	2	6,00	3,00	3,00	2
1197	2	7,00	3,50	3,00	2
1198	2	8,00	4,00	3,00	2
1199	2	9,00	4,50	3,00	2
1200	2	10,00	5,00	3,00	2
1201	1	2,10	2,10	3,00	3
1202	1	2,40	2,40	3,00	3

1203	1	2,70	2,70	3,00	3
1204	1	3,00	3,00	3,00	3
1205	1	3,50	3,50	3,00	3
1206	1	4,00	4,00	3,00	3
1207	1	4,50	4,50	3,00	3
1208	1	5,00	5,00	3,00	3
1209	1	5,50	5,50	3,00	3
1210	1	6,00	6,00	3,00	3
1211	1	6,50	6,50	3,00	3
1212	1	7,00	7,00	3,00	3
1213	1,1	2,31	2,10	3,00	3
1214	1,1	2,64	2,40	3,00	3
1215	1,1	2,97	2,70	3,00	3
1216	1,1	3,30	3,00	3,00	3
1217	1,1	3,85	3,50	3,00	3
1218	1,1	4,40	4,00	3,00	3
1219	1,1	4,95	4,50	3,00	3
1220	1,1	5,50	5,00	3,00	3
1221	1,1	6,05	5,50	3,00	3
1222	1,1	6,60	6,00	3,00	3
1223	1,1	7,15	6,50	3,00	3
1224	1,1	7,70	7,00	3,00	3
1225	1,2	2,52	2,10	3,00	3
1226	1,2	2,88	2,40	3,00	3
1227	1,2	3,24	2,70	3,00	3
1228	1,2	3,60	3,00	3,00	3
1229	1,2	4,20	3,50	3,00	3
1230	1,2	4,80	4,00	3,00	3
1231	1,2	5,40	4,50	3,00	3
1232	1,2	6,00	5,00	3,00	3
1233	1,2	6,60	5,50	3,00	3
1234	1,2	7,20	6,00	3,00	3
1235	1,2	7,80	6,50	3,00	3
1236	1,2	8,40	7,00	3,00	3
1237	1,3	2,73	2,10	3,00	3
1238	1,3	3,12	2,40	3,00	3
1239	1,3	3,51	2,70	3,00	3
1240	1,3	3,90	3,00	3,00	3
1241	1,3	4,55	3,50	3,00	3
1242	1,3	5,20	4,00	3,00	3
1243	1,3	5,85	4,50	3,00	3
1244	1,3	6,50	5,00	3,00	3
1245	1,3	7,15	5,50	3,00	3
1246	1,3	7,80	6,00	3,00	3
1247	1,3	8,45	6,50	3,00	3
1248	1,3	9,10	7,00	3,00	3
1249	1,4	2,94	2,10	3,00	3
1250	1,4	3,36	2,40	3,00	3
1251	1,4	3,78	2,70	3,00	3
1252	1,4	4,20	3,00	3,00	3
1253	1,4	4,90	3,50	3,00	3
1254	1,4	5,60	4,00	3,00	3
1255	1,4	6,30	4,50	3,00	3
1256	1,4	7,00	5,00	3,00	3
1257	1,4	7,70	5,50	3,00	3

1258	1,4	8,40	6,00	3,00	3
1259	1,4	9,10	6,50	3,00	3
1260	1,4	9,80	7,00	3,00	3
1261	1,5	3,15	2,10	3,00	3
1262	1,5	3,60	2,40	3,00	3
1263	1,5	4,05	2,70	3,00	3
1264	1,5	4,50	3,00	3,00	3
1265	1,5	5,25	3,50	3,00	3
1266	1,5	6,00	4,00	3,00	3
1267	1,5	6,75	4,50	3,00	3
1268	1,5	7,50	5,00	3,00	3
1269	1,5	8,25	5,50	3,00	3
1270	1,5	9,00	6,00	3,00	3
1271	1,5	9,75	6,50	3,00	3
1272	1,5	10,50	7,00	3,00	3
1273	1,6	3,36	2,10	3,00	3
1274	1,6	3,84	2,40	3,00	3
1275	1,6	4,32	2,70	3,00	3
1276	1,6	4,80	3,00	3,00	3
1277	1,6	5,60	3,50	3,00	3
1278	1,6	6,40	4,00	3,00	3
1279	1,6	7,20	4,50	3,00	3
1280	1,6	8,00	5,00	3,00	3
1281	1,6	8,80	5,50	3,00	3
1282	1,6	9,60	6,00	3,00	3
1283	1,6	10,40	6,50	3,00	3
1284	1,7	3,57	2,10	3,00	3
1285	1,7	4,08	2,40	3,00	3
1286	1,7	4,59	2,70	3,00	3
1287	1,7	5,10	3,00	3,00	3
1288	1,7	5,95	3,50	3,00	3
1289	1,7	6,80	4,00	3,00	3
1290	1,7	7,65	4,50	3,00	3
1291	1,7	8,50	5,00	3,00	3
1292	1,7	9,35	5,50	3,00	3
1293	1,7	10,20	6,00	3,00	3
1294	1,8	3,78	2,10	3,00	3
1295	1,8	4,32	2,40	3,00	3
1296	1,8	4,86	2,70	3,00	3
1297	1,8	5,40	3,00	3,00	3
1298	1,8	6,30	3,50	3,00	3
1299	1,8	7,20	4,00	3,00	3
1300	1,8	8,10	4,50	3,00	3
1301	1,8	9,00	5,00	3,00	3
1302	1,8	9,90	5,50	3,00	3
1303	1,8	10,80	6,00	3,00	3
1304	1,9	3,99	2,10	3,00	3
1305	1,9	4,56	2,40	3,00	3
1306	1,9	5,13	2,70	3,00	3
1307	1,9	5,70	3,00	3,00	3
1308	1,9	6,65	3,50	3,00	3
1309	1,9	7,60	4,00	3,00	3
1310	1,9	8,55	4,50	3,00	3
1311	1,9	9,50	5,00	3,00	3
1312	1,9	10,45	5,50	3,00	3

1313	2	4,20	2,10	3,00	3
1314	2	4,80	2,40	3,00	3
1315	2	5,40	2,70	3,00	3
1316	2	6,00	3,00	3,00	3
1317	2	7,00	3,50	3,00	3
1318	2	8,00	4,00	3,00	3
1319	2	9,00	4,50	3,00	3
1320	2	10,00	5,00	3,00	3
1321	1	2,10	2,10	3,00	4
1322	1	2,40	2,40	3,00	4
1323	1	2,70	2,70	3,00	4
1324	1	3,00	3,00	3,00	4
1325	1	3,50	3,50	3,00	4
1326	1	4,00	4,00	3,00	4
1327	1	4,50	4,50	3,00	4
1328	1	5,00	5,00	3,00	4
1329	1	5,50	5,50	3,00	4
1330	1	6,00	6,00	3,00	4
1331	1	6,50	6,50	3,00	4
1332	1	7,00	7,00	3,00	4
1333	1,1	2,31	2,10	3,00	4
1334	1,1	2,64	2,40	3,00	4
1335	1,1	2,97	2,70	3,00	4
1336	1,1	3,30	3,00	3,00	4
1337	1,1	3,85	3,50	3,00	4
1338	1,1	4,40	4,00	3,00	4
1339	1,1	4,95	4,50	3,00	4
1340	1,1	5,50	5,00	3,00	4
1341	1,1	6,05	5,50	3,00	4
1342	1,1	6,60	6,00	3,00	4
1343	1,1	7,15	6,50	3,00	4
1344	1,1	7,70	7,00	3,00	4
1345	1,2	2,52	2,10	3,00	4
1346	1,2	2,88	2,40	3,00	4
1347	1,2	3,24	2,70	3,00	4
1348	1,2	3,60	3,00	3,00	4
1349	1,2	4,20	3,50	3,00	4
1350	1,2	4,80	4,00	3,00	4
1351	1,2	5,40	4,50	3,00	4
1352	1,2	6,00	5,00	3,00	4
1353	1,2	6,60	5,50	3,00	4
1354	1,2	7,20	6,00	3,00	4
1355	1,2	7,80	6,50	3,00	4
1356	1,2	8,40	7,00	3,00	4
1357	1,3	2,73	2,10	3,00	4
1358	1,3	3,12	2,40	3,00	4
1359	1,3	3,51	2,70	3,00	4
1360	1,3	3,90	3,00	3,00	4
1361	1,3	4,55	3,50	3,00	4
1362	1,3	5,20	4,00	3,00	4
1363	1,3	5,85	4,50	3,00	4
1364	1,3	6,50	5,00	3,00	4
1365	1,3	7,15	5,50	3,00	4
1366	1,3	7,80	6,00	3,00	4
1367	1,3	8,45	6,50	3,00	4

1368	1,3	9,10	7,00	3,00	4
1369	1,4	2,94	2,10	3,00	4
1370	1,4	3,36	2,40	3,00	4
1371	1,4	3,78	2,70	3,00	4
1372	1,4	4,20	3,00	3,00	4
1373	1,4	4,90	3,50	3,00	4
1374	1,4	5,60	4,00	3,00	4
1375	1,4	6,30	4,50	3,00	4
1376	1,4	7,00	5,00	3,00	4
1377	1,4	7,70	5,50	3,00	4
1378	1,4	8,40	6,00	3,00	4
1379	1,4	9,10	6,50	3,00	4
1380	1,4	9,80	7,00	3,00	4
1381	1,5	3,15	2,10	3,00	4
1382	1,5	3,60	2,40	3,00	4
1383	1,5	4,05	2,70	3,00	4
1384	1,5	4,50	3,00	3,00	4
1385	1,5	5,25	3,50	3,00	4
1386	1,5	6,00	4,00	3,00	4
1387	1,5	6,75	4,50	3,00	4
1388	1,5	7,50	5,00	3,00	4
1389	1,5	8,25	5,50	3,00	4
1390	1,5	9,00	6,00	3,00	4
1391	1,5	9,75	6,50	3,00	4
1392	1,5	10,50	7,00	3,00	4
1393	1,6	3,36	2,10	3,00	4
1394	1,6	3,84	2,40	3,00	4
1395	1,6	4,32	2,70	3,00	4
1396	1,6	4,80	3,00	3,00	4
1397	1,6	5,60	3,50	3,00	4
1398	1,6	6,40	4,00	3,00	4
1399	1,6	7,20	4,50	3,00	4
1400	1,6	8,00	5,00	3,00	4
1401	1,6	8,80	5,50	3,00	4
1402	1,6	9,60	6,00	3,00	4
1403	1,6	10,40	6,50	3,00	4
1404	1,7	3,57	2,10	3,00	4
1405	1,7	4,08	2,40	3,00	4
1406	1,7	4,59	2,70	3,00	4
1407	1,7	5,10	3,00	3,00	4
1408	1,7	5,95	3,50	3,00	4
1409	1,7	6,80	4,00	3,00	4
1410	1,7	7,65	4,50	3,00	4
1411	1,7	8,50	5,00	3,00	4
1412	1,7	9,35	5,50	3,00	4
1413	1,7	10,20	6,00	3,00	4
1414	1,8	3,78	2,10	3,00	4
1415	1,8	4,32	2,40	3,00	4
1416	1,8	4,86	2,70	3,00	4
1417	1,8	5,40	3,00	3,00	4
1418	1,8	6,30	3,50	3,00	4
1419	1,8	7,20	4,00	3,00	4
1420	1,8	8,10	4,50	3,00	4
1421	1,8	9,00	5,00	3,00	4
1422	1,8	9,90	5,50	3,00	4

1423	1,8	10,80	6,00	3,00	4
1424	1,9	3,99	2,10	3,00	4
1425	1,9	4,56	2,40	3,00	4
1426	1,9	5,13	2,70	3,00	4
1427	1,9	5,70	3,00	3,00	4
1428	1,9	6,65	3,50	3,00	4
1429	1,9	7,60	4,00	3,00	4
1430	1,9	8,55	4,50	3,00	4
1431	1,9	9,50	5,00	3,00	4
1432	1,9	10,45	5,50	3,00	4
1433	2	4,20	2,10	3,00	4
1434	2	4,80	2,40	3,00	4
1435	2	5,40	2,70	3,00	4
1436	2	6,00	3,00	3,00	4
1437	2	7,00	3,50	3,00	4
1438	2	8,00	4,00	3,00	4
1439	2	9,00	4,50	3,00	4
1440	2	10,00	5,00	3,00	4