

---

**“ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DA CALHETA –  
INTERVENÇÃO NAS SALAS DE MÚSICA”**

**CONDICIONADO ACÚSTICO  
(CAE)**

**PROJETO DE EXECUÇÃO**

## “ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DA CALHETA – INTERVENÇÃO NAS SALAS DE MÚSICA”

### CONDICIONADO ACÚSTICO (CAE)

#### MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

##### Índice

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 - Introdução .....                                                             | 4  |
| 2 - Descrição da Obra .....                                                      | 4  |
| 3 - Critérios de Projeto .....                                                   | 5  |
| 4 - Princípios de cálculo .....                                                  | 6  |
| 4.1 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea .....                           | 6  |
| 4.1.1 - Parede simples .....                                                     | 6  |
| 4.1.2 - Parede dupla .....                                                       | 6  |
| 4.1.3 - Quantificação da transmissão marginal .....                              | 6  |
| 4.1.4 - Quantificação da melhoria do índice de redução sonora $\Delta R_w$ ..... | 6  |
| 4.1.5 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea .....               | 6  |
| 4.2 - Isolamento sonoro a sons de percussão .....                                | 7  |
| 4.2.1 - Quantificação .....                                                      | 7  |
| 4.2.2 - Transmissão marginal .....                                               | 7  |
| 4.2.3 - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão .....                    | 7  |
| 4.3 - Condicionamento acústico interior .....                                    | 7  |
| 4.4 - Tempo de reverberação .....                                                | 7  |
| 5 - Caracterização acústica .....                                                | 8  |
| 5.1 - Elementos verticais .....                                                  | 8  |
| 5.1.1 - Paredes .....                                                            | 8  |
| 5.1.2 - Portas acústicas .....                                                   | 11 |

---

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2 - Elementos horizontais .....                                                               | 11 |
| 6 - Resultados Previstos .....                                                                  | 12 |
| 6.1 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos $D_{nT,w}$ .... | 12 |
| 6.2 - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão $L'_{nT,w}$ .....                         | 13 |
| 6.3 - Tempos de reverberação previstos .....                                                    | 14 |
| 7 - Ruído dos equipamentos .....                                                                | 14 |
| 8 - Normas e regulamentos.....                                                                  | 15 |

## **“ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DA CALHETA – INTERVENÇÃO NAS SALAS DE MÚSICA”**

### **CONDICIONADO ACÚSTICO (CAE)**

#### **MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

##### **1 - Introdução**

O presente projeto diz respeito à remodelação de salas de aula destinadas a salas de música na Escola Básica e Secundária da Calheta, concelho da Calheta, no âmbito de uma remodelação de salas de música a levar a efeito no piso 2 do Bloco 4.

##### **2 - Descrição da Obra**

A obra consiste pois na definição de novas salas de aula a levar a efeito no piso 2 do Bloco 4 e remodelação de uma sala existente destinada a sala de música localizada no piso 2 do Bloco 2, a qual implica a definição de novos elementos de partição verticais com isolamento acústico por forma a precaver o maior isolamento sonoro a sons aéreos entre espaços sujeitos a ocupação. No entanto a presente especialidade apesar de estar à partida condicionada à pré-existência e às limitações existentes, bem como aos inerentes condicionalismos relativos ao âmbito da presente empreitada, nomeadamente relativa às áreas mínimas que seriam desejáveis, pé direito limitado devido à passagem de novas infraestruturas, janelas de fachada superiores de lamelas e sem condições de garantir a mínima previsibilidade ao nível do isolamento a sons aéreos de fachada das salas de música, etc., procurou-se aplicar as soluções que seriam mais desejáveis com o intuito de isolar acusticamente os espaços em confronto direto e conferir alguma qualidade acústica aos futuros espaços. Também houve a necessidade de dimensionar o sistema de ventilação com o preceito de evitar ao máximo a transmissão de ruído de um espaço para outro, sem prejuízo do bom funcionamento do sistema para garantia de uma eficaz renovação do ar interior.

### 3 - Critérios de Projeto

O estudo das soluções técnicas foi orientado no sentido de obter soluções que satisfaçam minimamente o critério de isolamento sonoro a sons aéreos entre espaços, conferindo por outro lado alguma qualidade acústica às salas de música.

Desta forma foram selecionados elementos de partição verticais e elementos de revestimento a aplicar nas partições existentes que conferem o mínimo isolamento desejável e que responda dentro do que é possível ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

Por outro lado foram aplicados revestimentos com características de absorção sonora nos tetos e nas paredes, que em conjunto com o mobiliário e restantes materiais a utilizar nos espaços, deverão contribuir para se atingir uma reverberação aceitável e que responda ao tipo de utilização com valores que deverão se situar entre aproximadamente entre os 0.5 s e os 0.6s.

No que se refere às escolhas das grelhas foi considerado que o ruído não será superior a 25 dB(A) e que a velocidade do ar nas condutas será minimizado para velocidades que poderão variar de 1 a 2 m/s nos ramais secundários e de 1 a 5 m/s nas condutas principais e consoante o caudal em jogo, com o intuito de evitar a transmissão de ruído nas condutas. Foram ainda considerados atenuadores acústicos com o intuito de isolar melhor os compartimentos.

Quanto às partições amovíveis consideradas, apesar de se serem consideradas de grande qualidade em termos acústicos comparativamente a outras soluções semelhantes, são consideradas situações alternativas às soluções de base (elementos fixos) que conferem naturalmente soluções otimizadas do ponto de vista acústico, sendo previsível no entanto a obtenção de níveis de isolamento muito bons e próximos dos valores decorrentes da legislação.

Considera-se ainda que na exploração poderão ser equacionados ainda pelos utentes das salas de música a utilização de equipamentos portáteis, com o intuito de serem corrigidos os parâmetros mais significativos, em função das frequências desejadas e do tipo de instrumentos a utilizar.

## 4 - Princípios de cálculo

### 4.1 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea

Para a quantificação do isolamento sonoro a sons de condução aérea de um determinado elemento construtivo foram considerados modelos de cálculo que permitam estimar os valores do índice de redução sonora  $R_w$ .

#### 4.1.1 - Parede simples

O modelo de cálculo preconizado é baseado no método de Meisser.

Para o cálculo dos diversos parâmetros, foram utilizadas folhas de cálculo que se apresentam em anexo.

#### 4.1.2 - Parede dupla

O modelo de cálculo preconizado é baseado no método de Meisser, tendo em conta os parâmetros característicos de cada parede.

#### 4.1.3 - Quantificação da transmissão marginal

A metodologia preconizada baseia-se na EN 12354-1 e consiste na determinação do índice de redução  $R'_w$  de um elemento de separação entre dois compartimentos.

Para paredes de fachada a metodologia está de acordo com a norma EN 12354-3.

#### 4.1.4 - Quantificação da melhoria do índice de redução sonora $\Delta R_w$

Para paredes com dois panos adicionais além do preconizado anteriormente o  $\Delta R_w$  é calculado de acordo com o ponto 4.4.2 da EN 12354-1.

Para ligações rígidas considera-se um valor de metade do valor para ligações flexíveis.

#### 4.1.5 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea

O valor do índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea -  $D_{2mT,n,w}$  -entre o exterior dos edifícios (emissão) e os compartimentos interiores em análise será calculado da seguinte forma:

$$D_{2m, nT,w} = R_{wglobal} + 10 \cdot \log(V/6 \cdot T_0 \cdot S) - \Delta TM + \Delta Lfs$$

O valor do índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea - $D_{n,T,W}$ -entre compartimentos interiores em análise será calculado da seguinte forma:

$$D_{n,T,w} = R'w + 10 \cdot \log(0.16V/T0 \cdot S)$$

**Nota:** No que se refere ao nível de isolamento a sons aéreos de fechada  $D_{2mnt,w}$ , não deverá ser feita a sua verificação, devido a não haver intenção de intervenção ao nível das suas fachadas.

#### **4.2 - Isolamento sonoro a sons de percussão**

##### **4.2.1 - Quantificação**

A quantificação do isolamento sonoro a sons de percussão de um determinado elemento construtivo não revestido, será feito de acordo com o método simplificado da EN 12354-2:

$$L_{n,w} = 164 - 35 \cdot \log(m), \text{ para } 100 \text{ Kg/m}^2 < m < 600 \text{ Kg/m}^2$$

##### **4.2.2 - Transmissão marginal**

A metodologia preconizada baseia-se na EN 12354-2 e consiste na determinação de um coeficiente KTM dependente, da relação entre a massa superficial do elemento de separação e a massa de superficial média dos elementos marginais.

##### **4.2.3 - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão**

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão  $L'_{n,Tw}$  é calculado:

$$L'_{n,T,W} = L_{n,w} - \Delta LW + KTM - 10 \cdot \log(0.16 \cdot V / A0T0)$$

#### **4.3 - Condicionamento acústico interior**

Para obter condições de qualidade e conforto auditivos é condicionada por diversos aspetos dos quais é possível destacar como determinante para a situação em análise, o controlo do tempo de reverberação.

#### **4.4 - Tempo de reverberação**

A determinação do tempo de reverberação para um determinado local será efetuada segundo os modelos propostos por Sabine, Eyring e Arau Puchades:

$$Tr = 0.16 \cdot V / (\sum \alpha_i \cdot Si) \text{ _____ Fórmula de Sabine}$$

$Tr = 0.16V / (-S \cdot \ln(1 - \alpha_m))$  \_\_\_\_\_ Fórmula de Eyring

$$RT = \left[ \frac{0.16V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_x) + 4mV} \right]^{\frac{S_x}{S}} \cdot \left[ \frac{0.16V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_y) + 4mV} \right]^{\frac{S_y}{S}} \cdot \left[ \frac{0.16V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_z) + 4mV} \right]^{\frac{S_z}{S}}$$

**V** – Volume do espaço [m<sup>3</sup>]

**S<sub>x</sub>, S<sub>y</sub>, S<sub>z</sub>** – Soma da área dos materiais segundo cada eixo

**S** – Soma da área de todos os materiais

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  – coeficiente de absorção médio das superfícies  $s_x, s_y$  e  $s_z$

**Ln** – logaritmo neperiano

**4mV** – absorção do ar, onde V corresponde ao volume do espaço e m corresponde ao coeficiente de absorção do ar expresso em Sabines/m

O valor Tr irá a corresponder à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitavas centradas nas frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

## 5 - Caracterização acústica

Tendo presente a arquitetura do edifício em questão, considerou-se para efeitos de cálculo os seguintes elementos da envolvente: paredes exteriores, envidraçados exteriores, cobertura exterior, coberturas interiores, paredes interiores.

Então as soluções construtivas destacam-se as de maior relevância para o presente:

### 5.1 - Elementos verticais

#### 5.1.1 - Paredes

**Paredes exteriores – PE1 (existentes)** – São do tipo parede dupla compostas por um pano exterior, que consiste num bloco de betão com 15 cm de espessura e 2,5 cm revestimento no lado exterior da parede, esta parede conta com uma caixa-de-ar com 10 cm de espessura e um pano interior composto por um bloco de betão com 10 cm de espessura e revestimento de 2,5 cm com reboco tradicional.

RW= 59 dB

$e = 0.45 \text{ m}$

$M = 379 \text{ Kg/m}^2$

**Paredes divisórias interiores – Pint1 (existentes)** – Parede de blocos de betão com 15 cm de espessura e com um recobrimento de ambos os lados de 2.5 cm de espessura de estuque tradicional

$R_w = 47.7 \text{ dB}$

$e = 0.20 \text{ m}$

$m = 249 \text{ Kg/m}^2$

**Paredes divisórias interiores – PR1 (NOVAS)** – Parede do tipo W 115 da Knauf ou equivalente, formada por duas placas de alta densidade de cada lado do tipo Knauf Acustik ou equivalente de 12,5mm de espessura, aparafusadas por cada lado de uma dupla estrutura metálica de aço galvanizado de canais horizontais e montantes verticais de 48 mm e 0,6mm de espessura e separados entre si por uma banda acústica em neoprene, com uma modelação de 600 mm de intervalo (na horizontal)

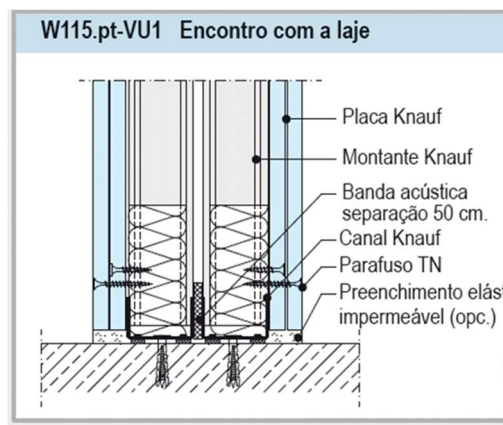
Interior preenchido com duas mantas de fibra mineral Ultracústic ou equivalente de 45 mm. Incluindo parte proporcional de pasta e cinta de juntas, parafusos, fixações, banda acústica sob os perfis perimetrais.

Índice global  $R_w$  (C;Ctr): 66 (-4;-11) dB

$R_w$  ponderado = 63.1 dBA

$e = 0.15 \text{ m}$

$m = 41 \text{ Kg/m}^2$



**Paredes divisórias interiores – PR2 (NOVAS)** – Parede divisória aplicada sobre um dos lados da parede existente (Pint1) da Knauf ou equivalente, formada por duas placas de alta densidade Knauf Acustik ou equivalente de 12,5mm de espessura, aparafusadas de um lado a uma estrutura metálica de aço galvanizado de canais horizontais e montantes verticais de

48 mm e 0,6mm de espessura e separados entre si por uma banda acústica em neoprene, com uma modelação de 600 mm de intervalo (na horizontal)

Interior preenchido com uma manta de fibra mineral Ultracústic ou equivalente de 45 mm. Incluindo parte proporcional de pasta e cinta de juntas, parafusos, fixações, banda acústica sob os perfis perimetrais.

$\Delta R_w = 20$  dBA

$e = 0.15$  m

m pano adicional = 41 Kg/m<sup>2</sup>

m total = 290 Kg/m<sup>2</sup>

R<sub>w</sub> ponderado= 66.4 dBA

**Paredes divisórias interiores – PR3 (NOVAS)** – Parede divisória aplicada sobre os dois lados da parede existente (Pint1) da Knauf ou equivalente, formada por duas placas de alta densidade Knauf Acustik ou equivalente de 12,5mm de espessura, aparafusadas de um lado a uma estrutura metálica de aço galvanizado de canais horizontais e montantes verticais de 48 mm e 0,6mm de espessura e separados entre si por uma banda acústica em neoprene, com uma modelação de 600 mm de intervalo (na horizontal)

Interior preenchido com uma manta de fibra mineral Ultracústic ou equivalente de 45 mm. Incluindo parte proporcional de pasta e cinta de juntas, parafusos, fixações, banda acústica sob os perfis perimetrais.

$\Delta R_w = 40$  dBA

$e = 0.15$  m

m panos adicionais = 82 Kg/m<sup>2</sup>

m total = 331 Kg/m<sup>2</sup>

R<sub>w</sub> ponderado= 86.4 dBA

**Paredes divisórias amovíveis** – Parede divisória amovível, aplicada para separação de salas de aula, com índice global de isolamento acústico mínimo de  $R_w = 57$  dB, com uma densidade de 58 Kg/m<sup>2</sup>, do tipo da Innere ou equivalente.

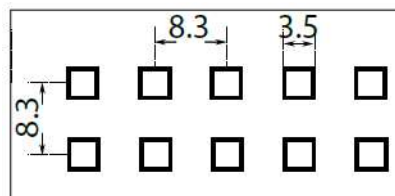
### 5.1.2 - Portas acústicas

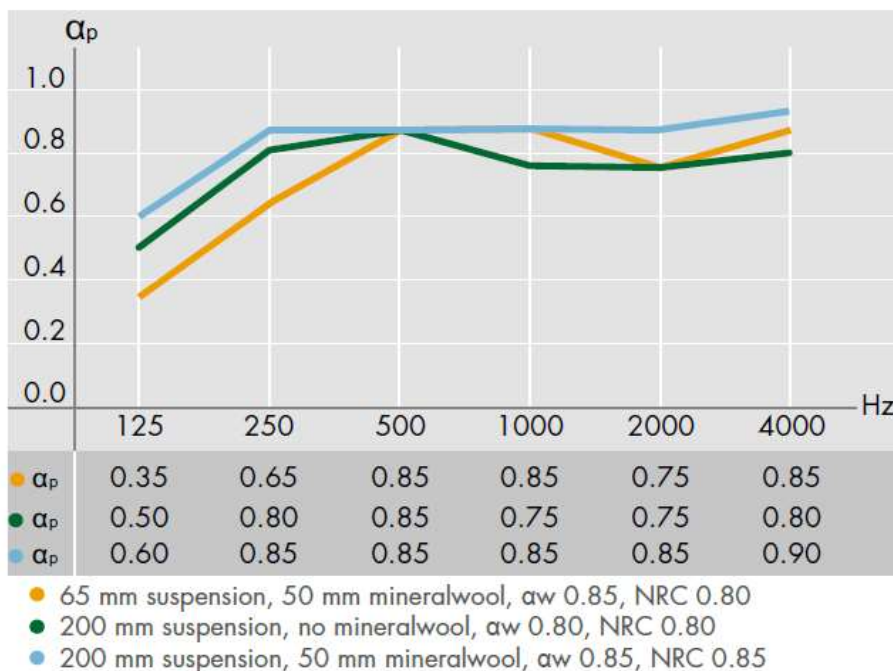
Para garantia de obtenção de um adequado isolamento sonoro entre as salas de música e os corredores, será de realçar a necessidade de aplicação de portas certificadas com características de isolamento sonoro a sons de condução aérea, com um índice de isolamento de  $R_w$  mínimo de 32 dB. A redução sonora deverá ser potenciada pelas características construtivas do tipo de porta, junta automática de calafetagem e perfil acústico em todo o perímetro do aro.

### 5.2 - Elementos horizontais

**Teto acústico** - Serão aplicados tetos amovíveis acústicos de acordo com indicações da arquitetura. Será do tipo Knauf D147 Unity 3, Contur

Teto falso amovível será formado por placas Knauf Danoline Contur Unity 3 ou equivalente, com perfuração quadrada de 3,5x3,5 mm (em toda a superfície – 17,2% de perfuração), na medida de 600x600x12,5 mm e com velo acústico em fibra de vidro no seu dorso.





**Pavimentos** – Os elementos são caracterizados por uma laje fungiforme de betão armado com molde recuperável, com armado com uma espessura total espectável de 35 cm, 15cm de lâmina de betão armado maciço, com um revestimento superior com tacos de madeira com 2cm de espessura assentes sobre betonilha de regularização com 5 cm de espessura, os quais serão revestidos por uma lâmina de vinílico de 1 cm de espessura.

$e = 0.35 \text{ m}$

$m = 577 \text{ Kg/m}^2$

$R_w \text{ ponderado} = 54.5 \text{ dBA}$

$R_w \text{ ponderado laje de teto + teto falso} = 65 \text{ dB}$

## 6 - Resultados Previstos

### 6.1 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos $D_{nT,w}$

Para a transmissão marginal, na determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, utilizou-se o método simplificado como se segue:

#### Transmissão Marginal

$$R_w + \Delta R_w < 35 \text{ dB}$$

$$TM = 0 \text{ dB}$$

$$35 \text{ dB} \leq R_w + \Delta R_w < 45 \text{ dB} \quad \text{TM} = 3 \text{ dB}$$

$$45 \text{ dB} \leq R_w + \Delta R_w < 55 \text{ dB} \quad \text{TM} = 4 \text{ dB}$$

$$55 \text{ dB} \leq R_w + \Delta R_w \quad \text{TM} = 5 \text{ dB}$$

No caso de separação para os corredores, atendendo ao menor valor ponderado do elemento global de separação ( $\text{Área}_{\text{porta}} / \text{Área}_{\text{parede}}$ ) para a situação dos elementos verticais com pior índice espectável de  $R_w$  médio ponderado (PR2 em que  $R_w = 66.4 \text{ dB}$  e  $32 \text{ dB}$  para as portas, que toma o valor de  $R_w$  médio ponderado mínimo =  $33.6 \text{ dB}$  e máximo para a atual partição de  $R_w$  médio ponderado mínimo =  $39 \text{ dB}$ ), verifica-se o cumprimento da legislação para a situação mais gravosa na separação para os corredores  $D_{nt,w} > 30 \text{ dB}$ .

Na separação entre salas de aula para as soluções base (elementos fixos do tipo PR1 com  $R_w = 63.1 \text{ dB}$  e PR3 com  $R_w = 86.4 \text{ dB}$ ) com um valor para  $D_{nt,w} > 55 \text{ dB}$ . No caso da futura biblioteca e gabinete destinado a psicóloga com elementos fixos do tipo PR2 com  $R_w = 66.4 \text{ dB}$  estima-se um valor  $D_{nt,w} > 58 \text{ dB}$ . Relativamente às paredes amovíveis com  $R_w = 57 \text{ dB}$  prevê-se a obtenção de um valor muito próximo aos valores regulamentares ( $D_{nt,w} > 55 \text{ dB}$ ) com um valor espectável de  $D_{nt,w} = 53 \text{ dB}$ . No que se refere à transmissão a sons aéreos entre espaços de cima para baixo, prevê-se de igual modo, a obtenção de um valor próximo ao regulamentar com um valor espectável em torno de  $D_{nt,w} = 50 \text{ dB}$ .

## 6.2 - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão $L'_{nT,w}$

Tendo em consideração o exposto regulamentarmente, pela aplicação de um vinílico com características de absorção acústicas a sons de percussão, com um valor estimado em  $15 \text{ dB}$  de atenuação, consegue-se atingir valores considerados como regulamentares, conforme se demonstra abaixo:

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| $L'_{nT,W} \text{ _Reg [dB]}$ | 60 |
|-------------------------------|----|

| Pavimento | Eficácia Revestimento [dB] | $L_{n,w,eq}$ [dB] | K [dB] | $L'_{n,W}$ [dB] | $L'_{nT,W}$ [dB] |
|-----------|----------------------------|-------------------|--------|-----------------|------------------|
|           | <b>15</b>                  | 67,4              | 3      | 55,4            | <b>51,9</b>      |

### 6.3 - Tempos de reverberação previstos

Abaixo indica-se a título indicativo os tempos de reverberação previstos para os espaços, após aplicação das soluções previstas:

| Ref. | Designação   | Área [m²] | Tr [s] Previsto |
|------|--------------|-----------|-----------------|
| 01   | Gabinete     | 11,16     | 0,44            |
| 02   | Sala de aula | 9,37      | 0,50            |
| 03   | Sala de aula | 6,62      | 0,52            |
| 04   | Sala de aula | 10,32     | 0,51            |
| 05   | Sala de aula | 8,16      | 0,48            |
| 06   | Sala de aula | 6,32      | 0,45            |
| 07   | Sala de aula | 6,32      | 0,48            |
| 08   | Sala de aula | 20,84     | 0,52            |
| 09   | Sala de aula | 26,79     | 0,63            |
| 10   | Sala de aula | 14,97     | 0,51            |
| 11   | Sala de aula | 26,77     | 0,76            |
| 14A  | Sala de aula | 77,12     | 1,68            |

## 7 - Ruído dos equipamentos

No dimensionamento e definição de sistemas e equipamentos, foram consideradas com relevância as questões ligadas ao conforto acústico.

Torna-se, no entanto, importante referir que a seleção de equipamentos e de acessórios bem como de forma geral a localização de componentes produtores de ruído aéreo ou de percussão, deverá merecer especial atenção pelo adjudicatário.

Deverá ser atendida a legislação regulamentar em vigor relativa a este assunto.

## 8 - Normas e regulamentos

Foram considerados todas as situações suscetíveis de verificação com o intuito de se dotar todos os espaços de uma qualidade acústica considerada aceitável e que responda dentro da realidade da intervenção e do que é possível atingir à legislação nacional. Em tudo o mais omissos na presente memória descritiva serão seguidos os preceitos habituais nos projetos e construções similares.

Funchal, Agosto de 2018

O Eng.º Mecânico

Eng.º Alexandre Oliveira