

Requisitos de Conforto Acústico, Desempenho Acústico e as Experiências de ensaios de laboratório e campo

Eng. Dr. Fulvio Vittorino

 (11) 3767-4553

 fulviov@ipt.br

www.ipt.br

Sumário

- Conforto Acústico e a NBR 15.575
- Critérios de Desempenho NBR 15.575
- Métodos de Medição e a Transmissão Sonora
- Comparações entre Laboratório e Campo
- Considerações Finais



Conforto Acústico e a NBR 15.575

Conforto Acústico em ambientes de edificações

- Nível de ruído adequado à função ou finalidade do ambiente (Permitir Inteligibilidade, Garantir a Privacidade);
- Tempo de reverberação adequado (eco);
- Distribuição balanceada de energia sonora nas faixas de frequências (por exemplo Curvas NC);
- Não permitir tonais audíveis (assobios, zumbidos, roncos);
- Não permitir variações bruscas de nível perceptíveis ao longo do tempo (Passagem de motos, aviões, elevadores);
- Não ter níveis pulsações → torneira pingando.
- Distribuição uniforme do som ao longo do espaço.

Em Edificações certas atividades geram ruído, outras necessitam de silêncio

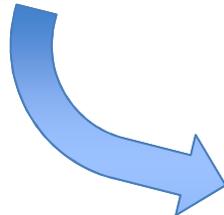
- Há fontes geradoras de ruído **internas** (vizinhos, instalações prediais) e **externas** ao edifício (veículos e estabelecimentos comerciais).



- Desenvolvem-se atividades que são perturbadas ou interrompidas por ruído: sono, descanso, trabalhos intelectuais.

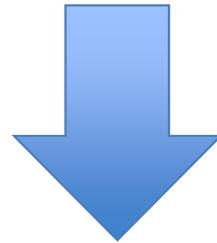


- Estas atividades requerem baixos níveis de ruído e são incompatíveis com as que produzem ruído.



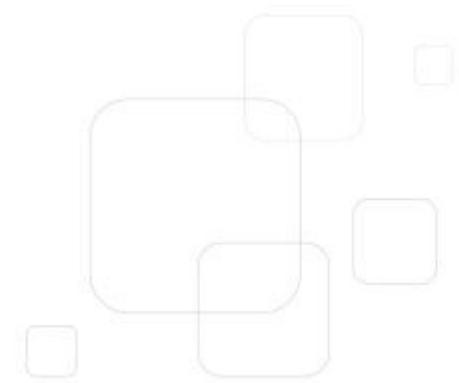
— O conceito incorporado na NBR 15575

- A convivência harmoniosa entre essas duas categorias de atividade implica, necessariamente, na separação acústica.



- A separação acústica é representada pelo isolamento acústico entre um ambiente e outro.

NBR 15.575 – Parte 1



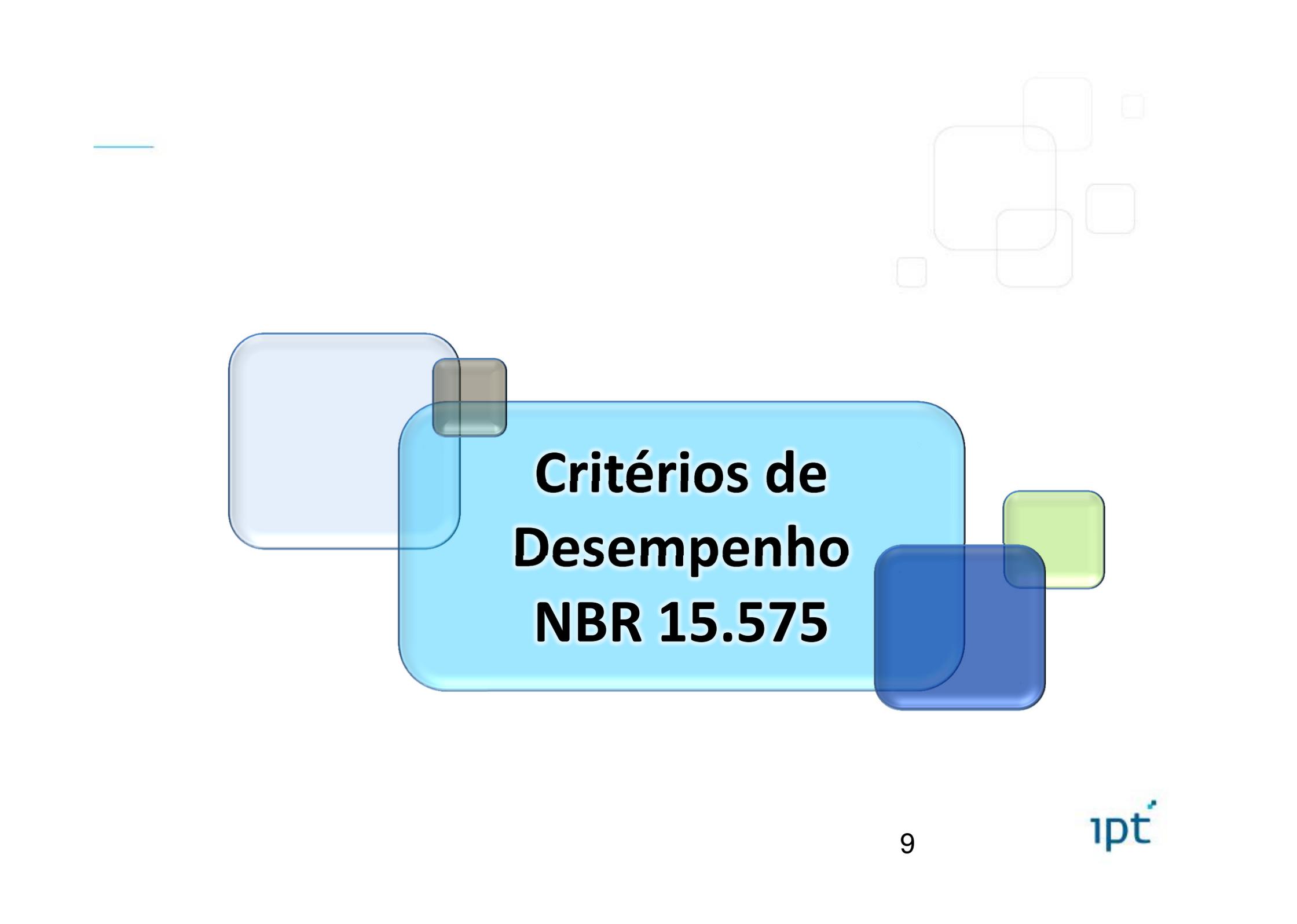
12. Desempenho acústico

12.1 Generalidades

A edificação habitacional deve apresentar **isolamento acústico** adequado **das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos** provenientes do exterior da edificação habitacional, e **isolamento acústico** adequado **entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes.**

NBR 15.575 – Parte 1

- **12.2 Requisito – Isolação acústica de vedações externas:** Propiciar condições mínimas de desempenho acústico da edificação, com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos.
 - **12.3 Requisito – Isolação acústica entre ambientes:** Propiciar condições de isolamento acústica entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas: Critério – Isolação ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas
 - **12.4 Requisito – Ruídos de impactos:** Propiciar condições mínimas de desempenho acústico no interior da edificação, com relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto.
 - Anexo E.5.1 (**informativo**) Ruídos gerados por equipamentos prediais.
- 
- Métodos de medição apresentados nas partes 3, 4, 5 e 6.



**Critérios de
Desempenho
NBR 15.575**

Grandezas e Métodos de Medição

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório.
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes, etc.).
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada/cobertura	ISO 140-5 ISO 717-1	Vedação externa, em edifícios.
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Pisos e coberturas de uso coletivo, em edifícios.

Como as normas ISO referenciadas não possuem versão em português, foram mantidos os símbolos nelas consignados com os seguintes significados:

- R_w : weighted sound reduction index.
- $D_{nT,w}$: weighted standardized level difference.
- $D_{2m,nT,w}$: weighted standardized level difference at 2 m.
- $L'_{nT,w}$: weighted standardized impact sound pressure level.

➔ É permitido, também, o uso de um método simplificado para medições em campo.

NBR 15575-4:2013 (Sistemas de Vedações Verticais Externas - SVVE)

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB	R_w dB*	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	≥ 25	M
		≥ 25	≥ 30	I
		≥ 30	≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	≥ 30	M
		≥ 30	≥ 35	I
		≥ 35	≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	≥ 35	M
		≥ 35	≥ 40	I
		≥ 40	≥ 45	S

NOTA: Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entres estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).

* R_w valores aproximados que podem garantir o valor do $D_{2m,nT,w}$

Fonte: Tabela F.9 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$ para ensaios de campo e Tabela F.11 – Índice de redução sonora ponderado, R_w de fachadas, do anexo da NBR 15.575-4/2013

Diferenças Laboratório x Campo

- Em geral, no laboratório, as montagens feitas são mais cuidadosas do que as feitas em campo.
- Em campo, não é incomum encontrar-se:
 - Camadas de revestimentos mais finas;
 - Juntas mal preenchidas ou frestas em vedações;
 - Vãos no encontro entre janelas e vedações;
 - Blocos e tijolos menos densos e/ou mais finos nas alvenarias;
 - Vãos excessivos ao redor das folhas de porta;
 - Caixas de passagem mal colocadas.



Exigência para R_w maior do que para $D_{2m,nT,w}$

Juntas mal ejecutadas



Frestas



NBR 15575-5:2013 (Cobertura) – Isolamento ao som aéreo oriundo do exterior

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: Tabela I.5 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaios de campo, do anexo da NBR 15.575-5/2013

➔ Mesmas exigências que para fachadas.

Inteligibilidade x Isolamento

Tabela F.8 – Influência da $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB

Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ dB
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥ 50

Fonte: Adaptado da Association of Australian Acoustical Consultants, 2010.

NBR 15575-4:2013 (Sistemas de Vedações Verticais Internas – SVVI)

Tabela F.10 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$ para ensaio de campo

Elemento	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde <u>não haja ambiente dormitório</u>	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de <u>pelo menos um dos ambientes ser dormitório</u>	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de <u>dormitórios</u> entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de <u>salas e cozinhas</u> entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas , atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

NBR 15575-3:2008 (Pisos) - Ruído Aéreo

Tabela E.2 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$

Elemento	$D_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

➔ Mesmas exigências que para SVVI.

NBR 15575-3:2013 (Pisos)- Ruído de Impacto

Tabela E.1 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$.

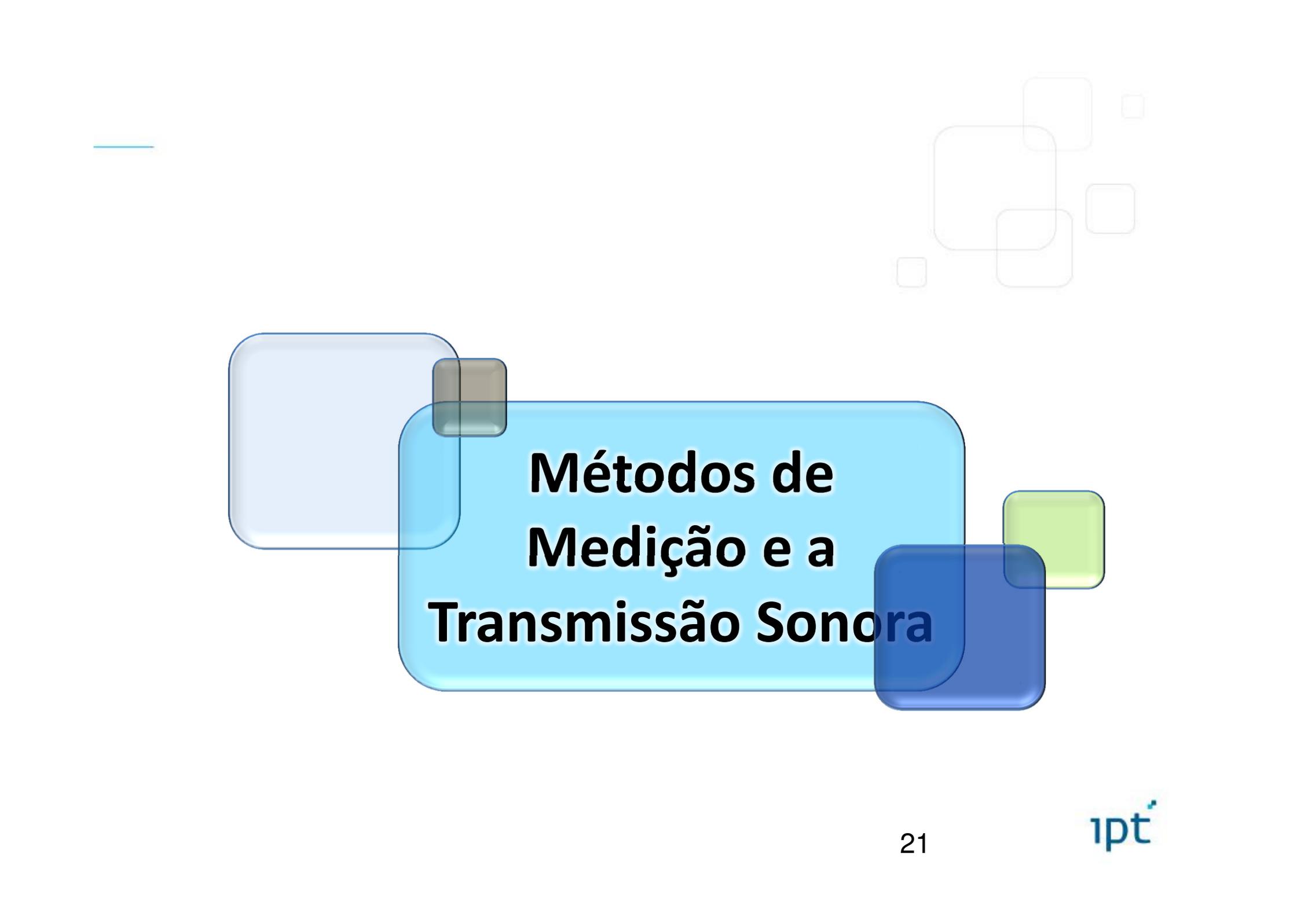
Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Isolamento de Ruídos de Impacto em coberturas acessíveis de uso coletivo

- As **coberturas** de uso coletivo devem apresentar nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderada (L'_{nTw}), conforme os limites e níveis de desempenho abaixo.

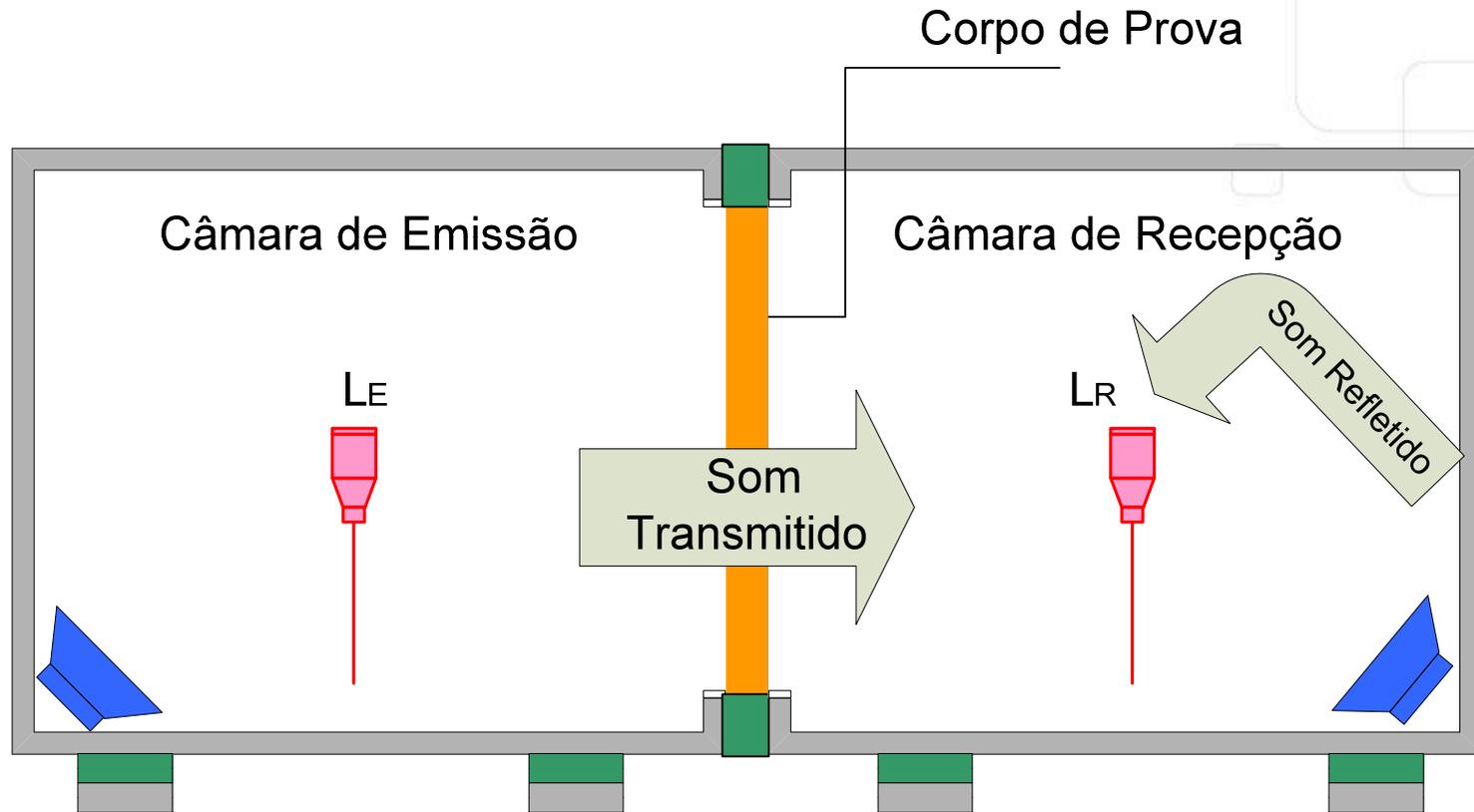
Elemento/Sistema	L'_{nTw} [dB]	Nível de Desempenho
Cobertura acessível, de uso coletivo	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: Tabela I.6 – Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw} , para ensaios de campo



Métodos de Medição e a Transmissão Sonora

Medição de R e R_w em Laboratório



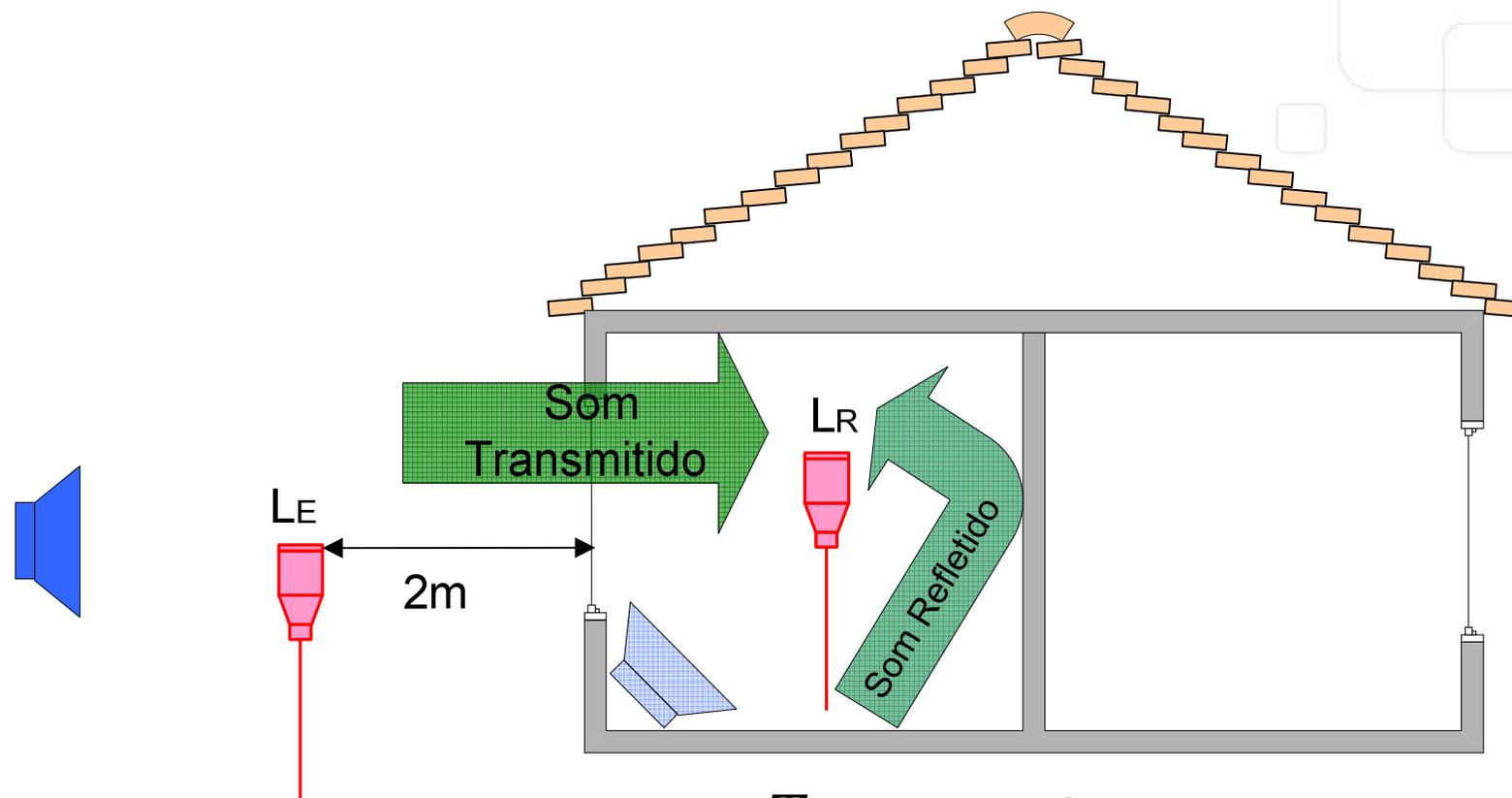
$$R = L_E - L_R + 10 \cdot \log \frac{S}{A}$$

- L_E = Nível sonoro na câmara de emissão
- L_R = Nível sonoro na câmara de recepção
- S = Área do corpo de Prova;
- A = Área equivalente de absorção sonora. É função do tempo de reverberação

Isolamento, Absorção e Propagação Sonora



Medição do Isolamento de Fachadas



$$D_{2m,nT} = L_E - L_R + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0}$$

- L_E = Nível sonoro no exterior da edificação
- L_R = Nível sonoro no ambiente de recepção
- T = Tempo de reverberação do Ambiente;
- T_0 = Tempo padrão = 0,5 s

Medição do Isolamento de Fachadas



Medição do Isolamento de Fachadas



Diferenças Laboratório x Campo

- No laboratório busca-se evitar caminhos de propagação laterais, isolando o corpo de prova da estrutura das câmaras e da instalação de contorno.

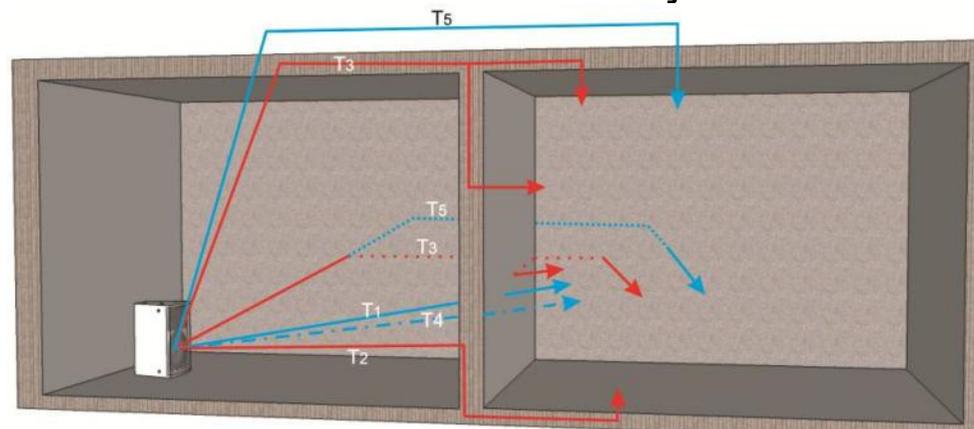


- No campo, o corpo de prova está em contato direto com o contorno e assim está acusticamente “acoplado” à estrutura do edifício.

Caminhos do Som em uma Edificação Real

Ruído Aéreo

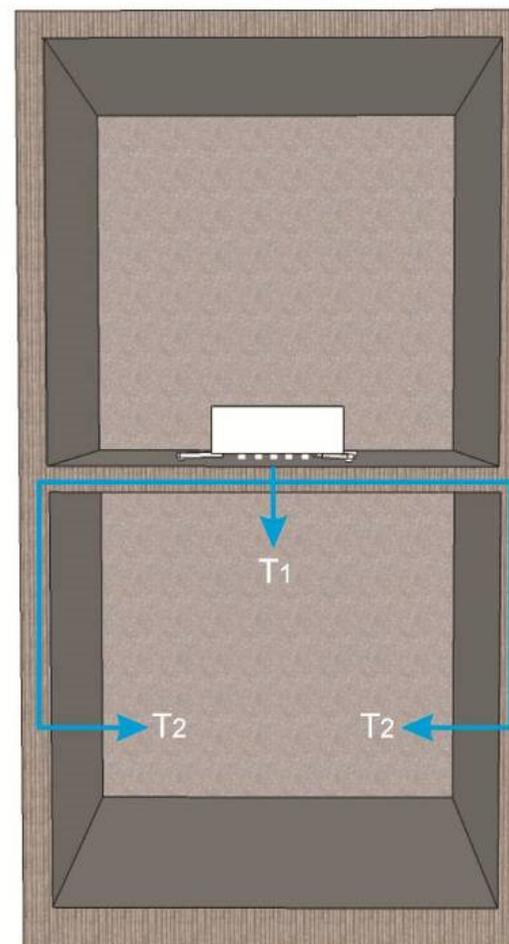
- T1: Transmissão através do elemento de separação para o ambiente de recepção;
- T2: Vibração do elemento de separação → outros elementos de vedação do recinto de recepção → irradiada para o recinto de recepção
- T3: Vibração das outras vedações do recinto de emissão → tanto para o elemento de separação como para os outros elementos de vedação do recinto de recepção → irradiada para o recinto de recepção.
- T4: Transmissão através de componentes que estão inseridos no elemento de separação, como caixas de derivação (tomadas, interruptores, etc); e
- T5: Reflexão de ruído que deixa o recinto de emissão em outros elementos da edificação e transmissão através das vedações no recinto de recepção.



Caminhos do Som em uma Edificação Real

Ruído de Impacto

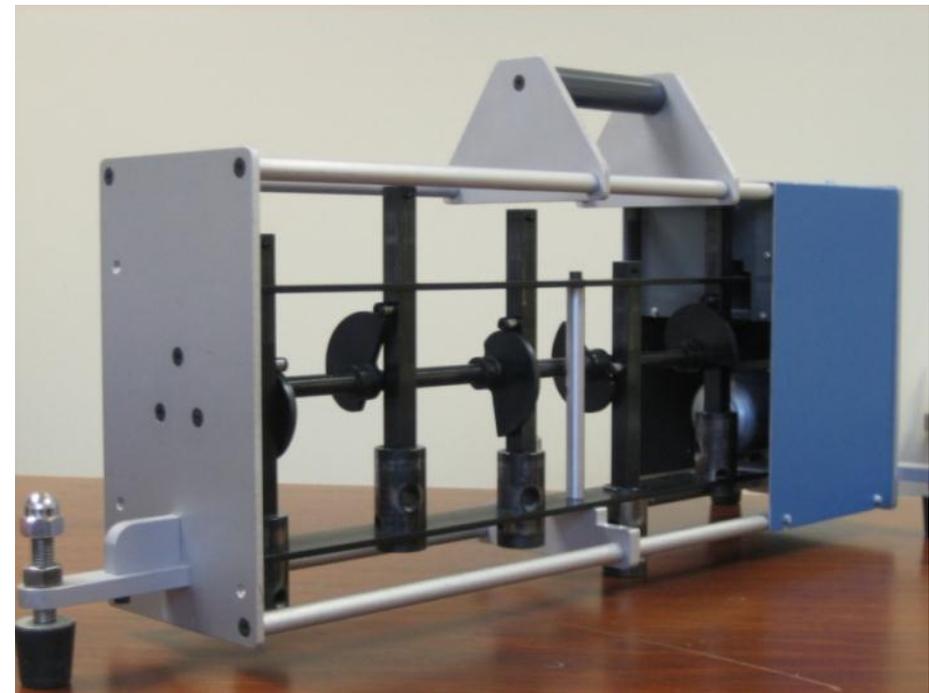
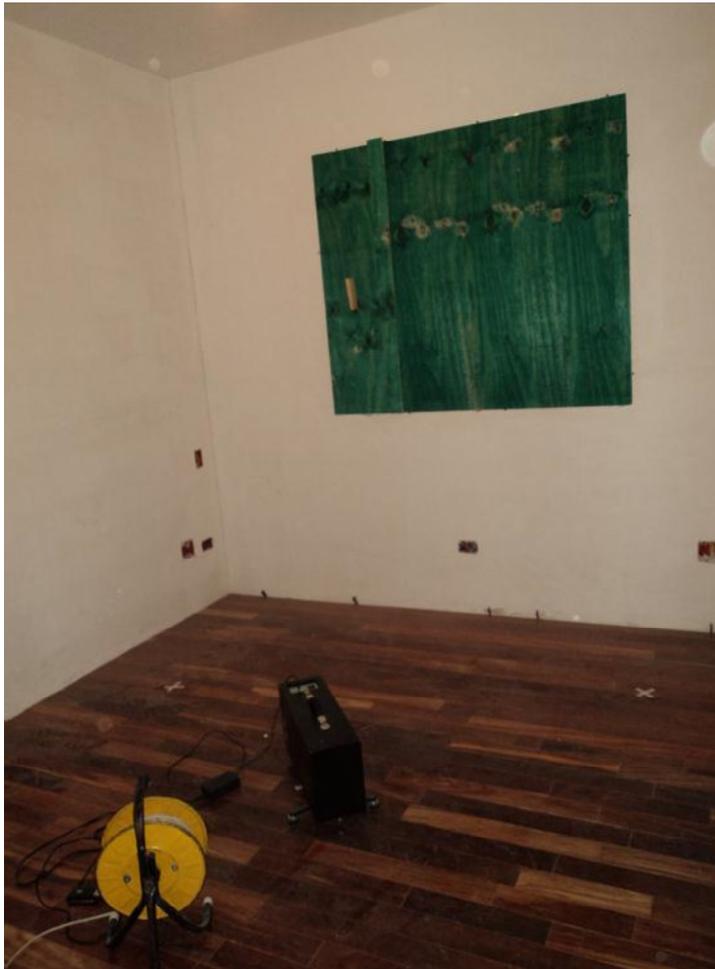
- Irradiação direta, decorrente da vibração da própria laje de piso/teto de separação entre as unidades habitacionais (T1); e
- Vibrações transmitidas da laje para as paredes de vedação do ambiente de recepção (T2).



$$L'_{nT} = L_R - 10 \cdot \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

- L_R = Nível sonoro no ambiente de recepção
- T = Tempo de reverberação do Ambiente;
- T_0 = Tempo padrão = 0,5 s

Vistas da máquina de impacto padronizado



Ruído de impacto em piso

Comportamento em Campo

O valor de L'_{nTW} depende de vários fatores:

- Rigidez da laje:
 - Espessura;
 - Densidade do material;
 - Módulo de Young;
 - Armaduras (bitola e malha).
- Forma de vinculação das 4 bordas da laje na estrutura (interligação de armaduras);
- Vãos nas duas direções;
- Forma de vinculação ou contato com as paredes.

— Aplicabilidade dos métodos

- O **método de precisão**, realizado em **laboratório**, determina a isolação sonora de **componentes** construtivos (parede, janela, porta, etc), **isoladamente**.
- Os resultados obtidos são **informados por fabricantes** de componentes e de sistemas construtivos a projetistas de edificações.
- Os projetistas compõem os resultado individuais de cada **componente** (parede com janela, com porta etc.), para calcular o isolamento global do conjunto.

— Aplicabilidade dos métodos

- Os **métodos de campo (engenharia ou simplificado)**, determinam:
 - o Isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e fachada, nos edifícios multipiso);
 - o Isolamento sonoro global entre ambientes no caso de paredes internas; e
 - o Isolamento sonoro ao ruído de impacto de piso.
- O resultado obtido caracterizando de forma direta o comportamento acústico do elemento construído.
→ **Como o consumidor recebe o produto edifício.**
- O resultado **se restringe à situação avaliada.**

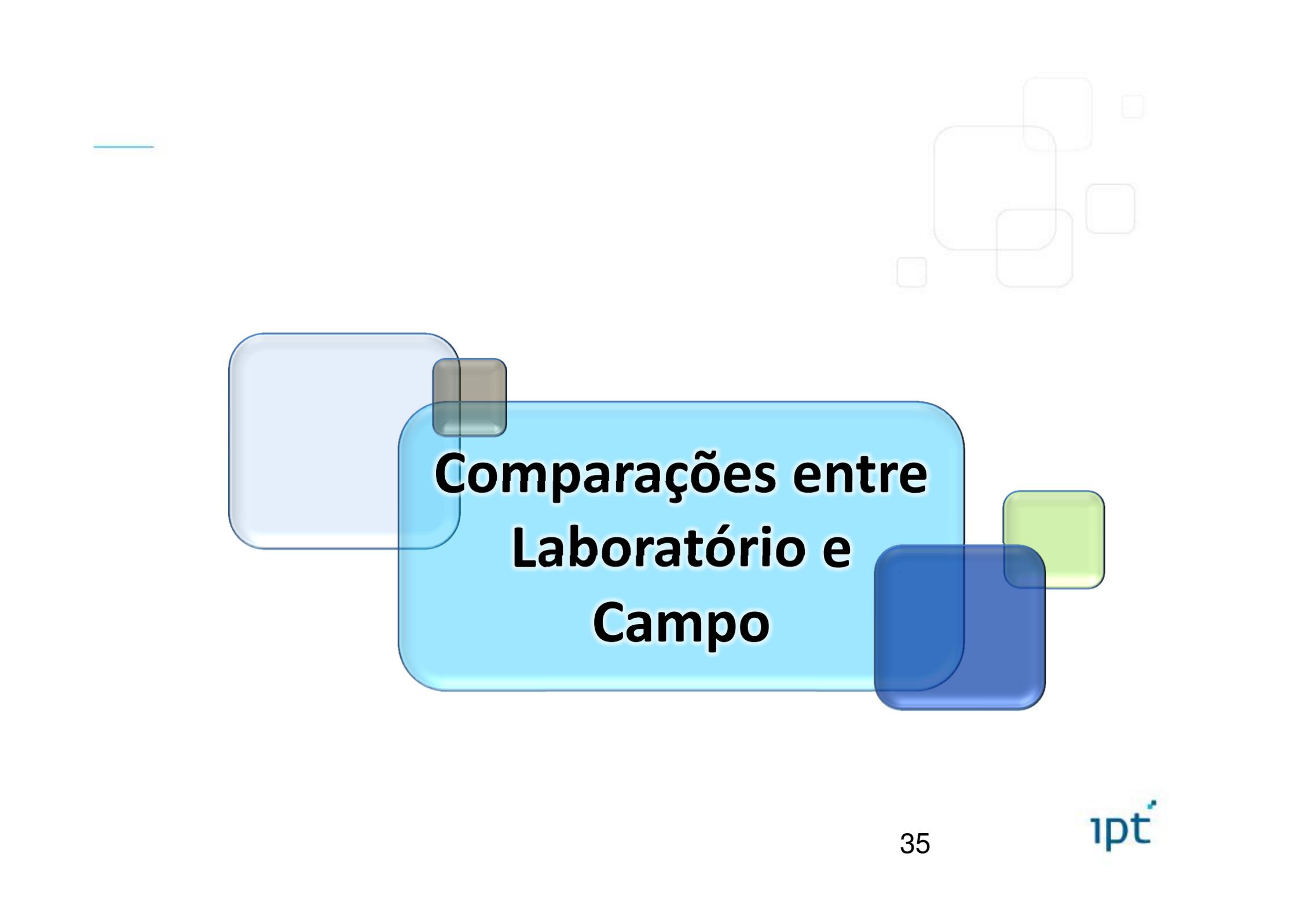
Aplicabilidade dos Métodos

De Engenharia – ISO 140

- Determina, em campo, **de forma rigorosa**, o isolamento acústico global da vedação.
 - Faz a medição do tempo de reverberação.
 - Medições por 1/3 de oitava.
- 
- Dentre as medições de campo, o método de engenharia é mais recomendável.

Simplificado - ISO 10052

- Este método permite obter **uma estimativa do isolamento acústico**.
- Medições em oitavas.
- Usado em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído ambiente não permitem obter este parâmetro.



Comparações entre Laboratório e Campo

Fontes de Diferença Laboratório x Campo

- Falhas de execução no elemento sob ensaio ou nos demais elementos que compõem a fachada;
- Acoplamento acústico e propagação periférica;
- Incerteza Metrológica:
 - Equipamentos;
 - Procedimentos;
 - Formação do campo sonoro.

Comparação Laboratório x Campo

- Sistema construtivo inovador “pesado” - 1
- Fachada

Laboratório Parede cega R_w [dB]	Campo Parede e janela $D_{2m,nTw}$ [dB]
37	24



Fortíssimo impacto da caixilharia na redução do R_w de 37 dB para um $D_{2m,nTw}$ de 24 dB.

Comparação Laboratório x Campo

- Sistema construtivo inovador “pesado” - 2
- Parede de geminação

Medição	Campo D_{nTw} [dB]	Laboratório R_w [dB]
1	41	41
2	43	



Diferenças pouco significativas: Combinação de todos os efeitos anteriormente citados.

Comparação Laboratório x Campo

Paredes em alvenaria de blocos cerâmicos de 140 mm de espessura, com:

- Revestimento de argamassa ou gesso, em campo (10 mm); e
- Revestimento de argamassa no laboratório (15 mm)

Medição	Campo $D_{nTw} (C; C_{tr})$ [dB]	Laboratório $R_w (C; C_{tr})$ [dB]
1	41 (0; -2)	39 (-1; -4)
2	41 (0; -2)	
3	42 (-1; -2)	
4	44 (-2; -5)	
5	44 (-2; -4)	
6	44 (-1; -4)	

Fonte: NETO, M.F.F.; BERTOLI S.R. Barry, P. J.. Diferença entre Testes de Desempenho Acústico em Laboratório e Campo em Paredes de Alvenaria. In Anais 39 do XXIII encontro da SOBRAC.

— Acoplamento Acústico

- Parte da energia é transmitida por outros caminhos e parte é propagada para outros ambientes do edifício, que não o ambiente de recepção.



- Sistemas pesados podem ter valores de isolamento melhores para a situação em campo do que em laboratório, compensando a montagem tipicamente mais cuidadosa, no teste de laboratório.
- Estes fenômenos têm efeitos atenuados em sistemas construtivos leves, nos quais o corpo de prova tende a estar “desacoplado” da estrutura.

Formação do campo reverberante

- Segundo a norma ISO 140-14: 2004, o valor de medições de nível de pressão sonora em **ambientes com volumes < 25 m³** está sujeito a um desvio padrão elevado devido às pequenas dimensões dos recintos. → Impacto nas baixas frequências (abaixo de 500 Hz).
- **Recomendação da ISO 140-14** : usar os resultados para análises comparativas e não como representativo do desempenho acústico do sistema.
- Volume da câmara de Emissão do IPT = 225m³
- Volume da câmara de Recepção do IPT = 217m³

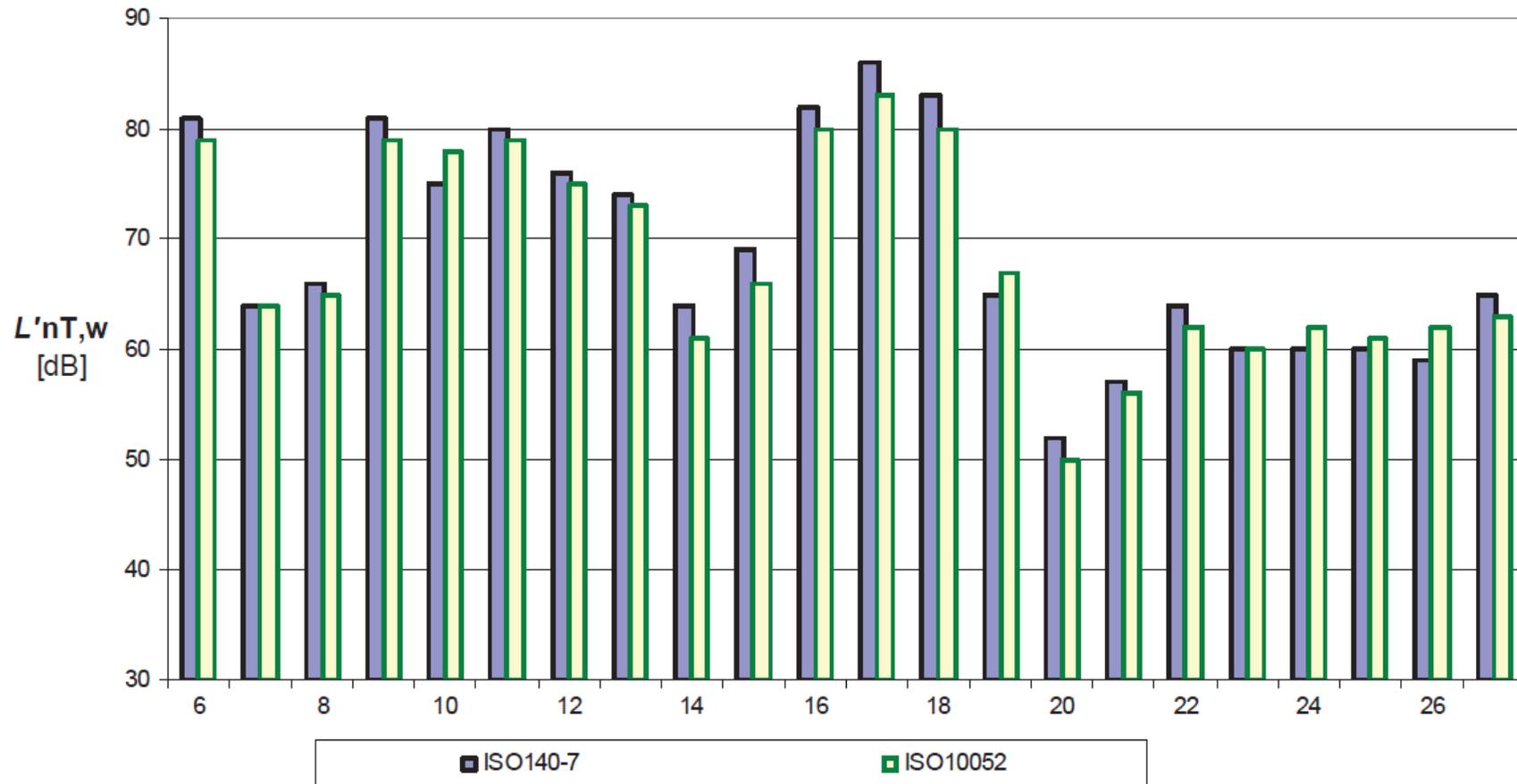
Estudo: Método Simplificado x Método de Engenharia

- Comparação de 34 resultados de ensaios de Isolamento ao ruído de impacto de piso.
- Vários sistemas de laje e contrapiso.
 - Mesmos valores medidos. → Para comparação os valores medidos em terço de oitava foram combinados em oitavas, conforme ISO 10052
 - Diferença na determinação do tempo de reverberação: Medido x estimado conforme ISO 10052.

Fonte: Barry, P. J. e Ikeda, C. Y. K. Desempenho acústico em edificações: Análise Comparativa dos Resultados das Normas ISO 140 e ISO 10052.

In Anais do XXIV encontro da SOBRAC.

Alguns resultados



- Dormitórios sem mobília com volumes entre 15 e 35 m³
- Diferenças de até 3 dB.

Fonte: Barry, P. J. e Ikeda, C. Y. K. Desempenho acústico em edificações: Análise Comparativa dos Resultados das Normas ISO 140 e ISO 10052.

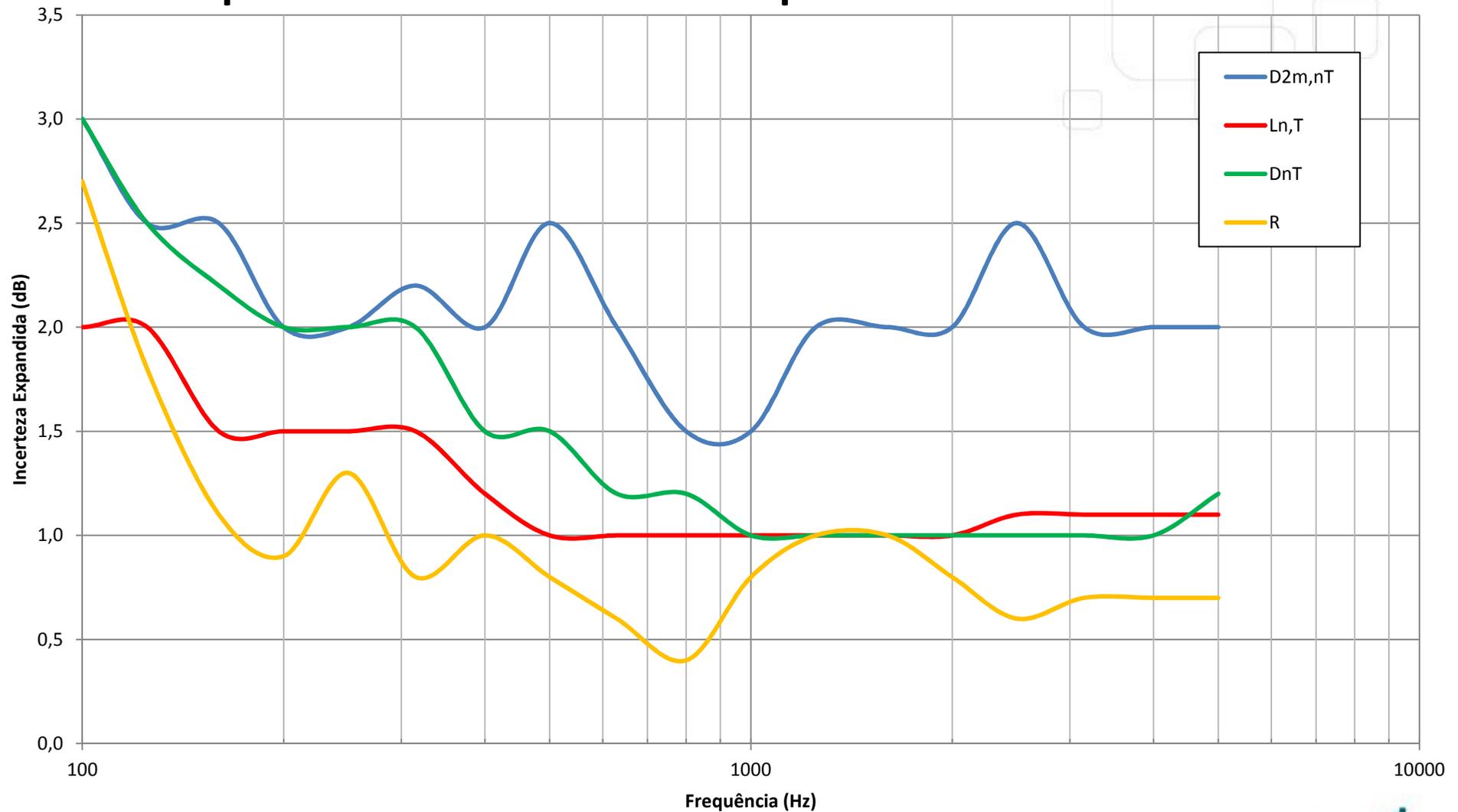
In Anais do XXIV encontro da SOBRAC.

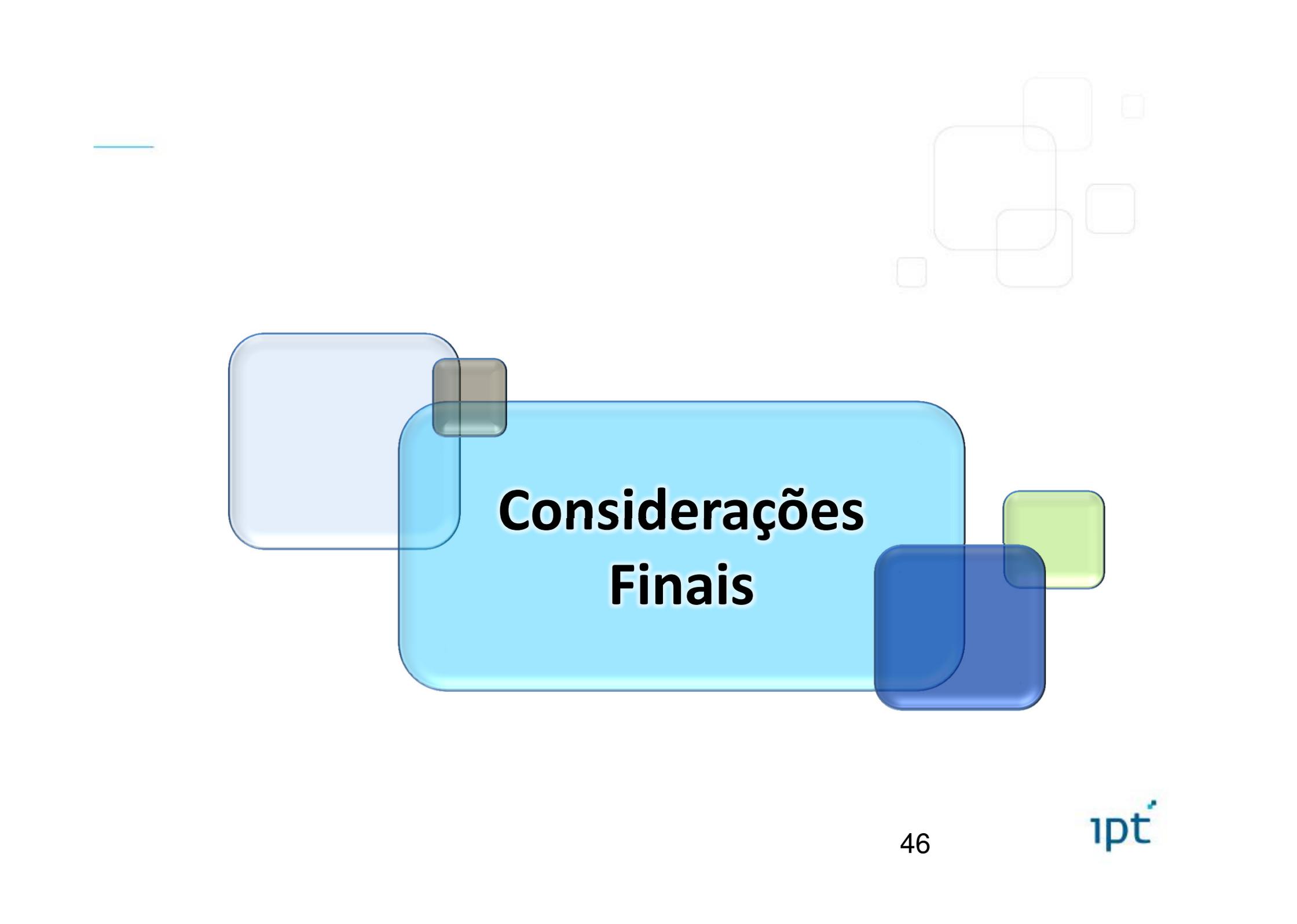
Estudo: Método Simplificado x Método de Engenharia - Conclusões

- Na maioria dos casos, o desempenho apresentado com o método simplificado é superestimado em relação ao apresentado pelo método de engenharia, devido a valores maiores do índice de reverberação para o padrão tabelado do que para o índice medido.
- Os valores do índice de reverberação da norma ISO 10052 são de edificações na Europa, obtidos entre 1960 e 1980 e não representam adequadamente as características típicas de edifícios no Brasil.

Fonte: Barry, P. J. e Ikeda, C. Y. K. Desempenho acústico em edificações: Análise Comparativa dos Resultados das Normas ISO 140 e ISO 10052.
In Anais do XXIV encontro da SOBRAC.

Incerteza Metrológica por faixa de frequência – Valores típicos IPT





Considerações Finais

Impacto do Ruído Urbano

- A norma associa valores de $D_{2m,n,Tw}$ às condições de ruído ambiental.
- Assumir, generalizadamente, a hipótese de atendimento aos limites da NBR 10.151 é arriscado. → Como evitar o aumento do ruído de tráfego em vias que darão acesso a grandes novos condomínios?
- Necessidade de se fazer mapeamentos sonoros urbanos.

Investimentos em laboratórios no IPT

- Implantação de método de ensaio para determinação de rigidez dinâmica de materiais para piso, para estimar a atenuação de mantas.
→ Boa concordância com valores medidos em campo.
- Construção de 2 novas câmaras reverberantes:
 - Estudo de sistemas de Isolamento ao ruído de impacto em piso em escala real; e
 - Ruído gerado por instalações prediais.

Início das obras previsto para o 2º semestre de 2013.

Temas para discussões futuras

- Em medições em campo, qual o critério de escolha da unidade habitacional típica?
 - Vale a pena continuar se utilizando o método simplificado para medições em campo?
 - Qual é o efeito preponderante: acoplamento acústico ou falha de execução?
- 
- A EN 12354 representa adequadamente as formas de vinculação praticadas no Brasil e as falhas de execução?



Agradeço pela Atenção.

www.ipt.br