

CONDICIONAMENTO ACÚSTICO E VIBRÁTIL DE POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO INTEGRADOS EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO – CASOS DE ESTUDO

PACS: 43.50.Jn, 43.55.Qp

Mateus D.; Pereira A.

ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal, Tel. +351-239797189, diogo@dec.uc.pt; apereira@dec.uc.pt.

Palabras Clave: postos de transformação, vibrações, ruído, percussão, ligações rígidas

ABSTRACT

With the energy transition that is expected for the coming decades, the increase in electricity consumption, must increasingly result from renewable sources. This increase also implies an expansion of the power needs in buildings, and of course a growth in the installation of electrical power transformers, in the surroundings and inside of buildings with sensitive occupation, in multifamily housing buildings. In the past, these situations were outside of buildings, but today, and especially in large urban centers, a significant part of these facilities are placed in the buildings themselves. It is therefore recommended that the spaces for these installations should be prepared in advance, in order to minimize the noise and vibration transmission to the outside and, above all, to the interior of the building itself. In this context, some general rules provided by the Portuguese energy distributor (E-Redes) are discussed, with the aim of providing noise mitigation from electrical power transformers, and case studies are analyzed, focused essentially on the acoustic evaluation after construction of the building, performed by in situ measurements.

RESUMO

Com a transição energética que se perspectiva para as próximas décadas é espetável o aumento de consumo elétrico, que deve ser cada vez mais resultante de fontes renováveis. Este aumento implicará também uma crescente ampliação das necessidades de potência elétrica nos edifícios, e naturalmente um crescimento da instalação de postos de transformação, na envolvente e no interior de edifícios com ocupação sensível, nomeadamente em edifícios habitacionais multifamiliares. No passado estas instalações situavam-se, sobretudo, fora dos edifícios, mas, hoje em dia, e especialmente em grandes centros urbanos, uma parte significativa destas instalações são enquadradas nos próprios edifícios. Recomenda-se, por isso, uma prévia preparação dos espaços destinados a estas instalações, com vista a minimizar a transmissão de ruído e de vibrações para o exterior e, sobretudo, para o interior do próprio edifício. Neste contexto são analisadas no presente trabalho algumas regras gerais do distribuidor de energia em Portugal (E-Redes), com vista à mitigação de ruído em postos de transformação, e apresentados casos de estudo focados essencialmente na avaliação acústica pós construção do edifício, com base em medições acústicas efetuadas in situ.

1. INTRODUÇÃO

De uma forma geral, e do ponto de vista acústico, as instalações de postos de transformação (PT) são abrangidas, em Portugal, pelo Regulamento Geral do Ruído [1], podendo aplicar-se ainda o Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios [2], nos casos em que esta instalação corresponde a um equipamento coletivo do edifício. Contudo, tendo em conta a especificidade destas instalações, justifica-se a consideração de requisitos acústicos complementares/adicionais, em particular, no caso de PT integrados em edifícios e/ou quando os locais de ocupação sensível ficam muito próximos.

No âmbito da política de ambiente do distribuidor de energia em Portugal (E-Redes), anteriormente designado de EDP Distribuição, e com vista à mitigação do ruído gerado por instalações com PT, foi desenvolvido e publicado o “Guia para Controlo e Mitigação de Ruído em Postos de Transformação” [3], e posteriormente o documento técnico de “Requisitos de ruído para postos de transformação” [4], que pretende apoiar os projetistas no estudo do condicionamento acústico e vibrátil destas instalações. No presente artigo é apresentado um resumo destes requisitos e a sua aplicação a vários casos de estudo, quer em fase de projeto, através da utilização de modelos de previsão, quer após construção do edifício, com base em medições de isolamento acústico *in situ*.

Em fase de projeto, e para as situações habitualmente mais desfavoráveis, que correspondem a PT integrados em edifícios com espaços de ocupação sensível adjacentes (nomeadamente quartos), a previsão do isolamento, em particular para ruídos de percussão e vibrações, não é tarefa simples, principalmente na transmissão de ruídos de percussão de baixo para cima (com o local sensível situado sobre o PT), conforme se particulariza na secção seguinte deste artigo. Para situações de adjacência de espaços (emissor e recetor) no mesmo piso esta previsão poderá ser efetuada com base na norma de cálculo ISO 12354-2:2017 [5]. No caso da previsão do isolamento a sons aéreos, entre compartimentos adjacentes, do mesmo piso ou de pisos diferentes, a metodologia a aplicar pode ser baseada na norma de cálculo ISO 12354-1:2017 [6].

2. REQUISITOS DE PROJETO E METODOLOGIA

Na Figura 1 são apresentadas de forma resumida e esquemática as regras técnicas indicadas pela E-Redes, para novas instalações de PT [3,4]. Os níveis sonoros indicados correspondem aos valores limite de LAeq devido apenas à contribuição do PT, que em geral são cumpridos, no caso de novos PT integrados, se forem garantidos os requisitos de isolamento indicados. Naturalmente, que para além do cumprimento destas regras, é fundamental a escolha criteriosa dos equipamentos a aplicar, dando preferência a equipamentos de menor potência sonora, e, sempre que possível, a escolha da localização mais apropriada, face aos locais de ocupação sensível vizinhos. Acrescenta-se, contudo, que por vezes, existem outras fontes de ruído relevantes, para além do transformador, que também deverão ser controladas, nomeadamente ventiladores, contactores de IP, células modulares e barramentos.

No caso específico dos PT integrados em edifícios, e em particular com espaços de ocupação sensível adjacente, a demonstração do cumprimento destes requisitos pode efetuar-se através da utilização do cálculo preconizado nas normas ISO 12354-1;2:2017 [6,5]. Contudo, no caso da transmissão de ruídos de percussão de baixo para cima (local sensível sobre o PT) a norma anterior (parte 2) não é aplicável e a previsão torna-se bastante difícil. Neste caso, poderá eventualmente utilizar-se o método SEA (“Statistical Energy Analysis”), mas, dada a complexidade deste método, sugere-se como alternativa um cálculo mais simples, admitindo que o compartimento recetor se encontra ao lado do PT (no mesmo piso), em vez de se localizar sobre o PT. Com esta simplificação

já se poderá aplicar o método previsto na norma ISO 12354-2 [5] e geralmente o resultado até fica ligeiramente do lado da segurança. Contudo, no caso da instalação de PT em edifícios já construídos, recomenda-se que a verificação dos requisitos anteriores seja efetuada através de ensaios *in situ*, com base nas normas ISO 16283-1,2 [7,8] e ISO 717-1,2 [9,10].

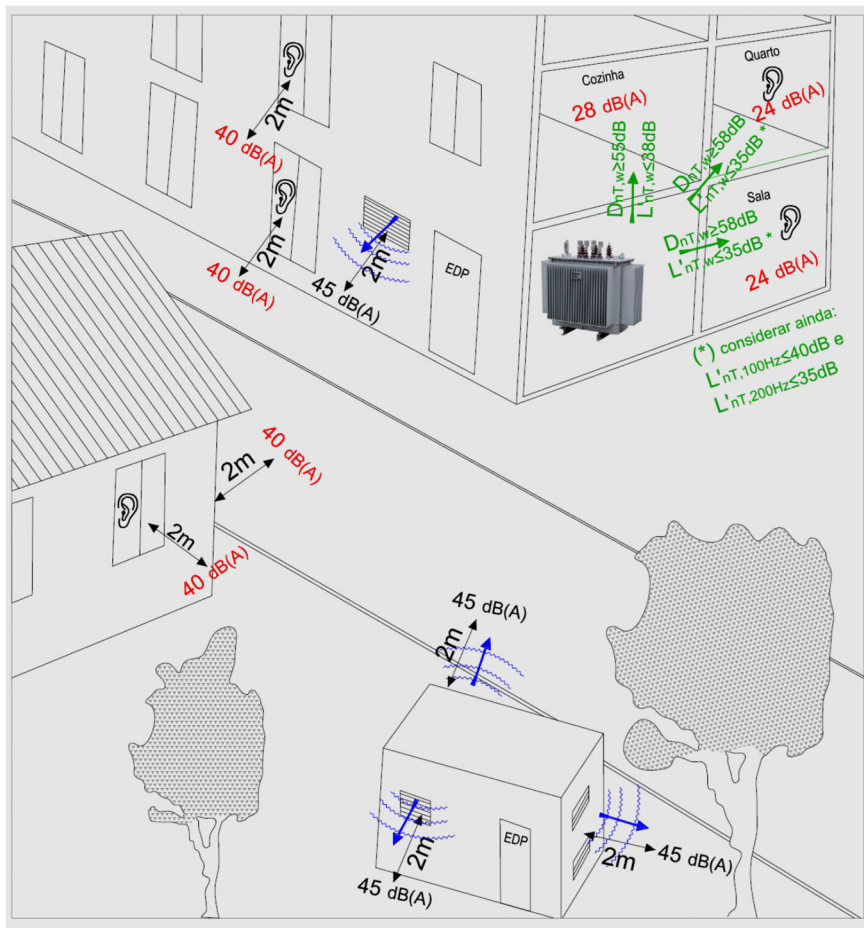


Figura 1: Requisitos acústicos recomendados pela E-Redes para a instalação de PT.

3. EXEMPLOS DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DE RUÍDO E VIBRAÇÕES

Tal como se verifica para outras aplicações, as medidas e soluções de condicionamento acústico a aplicar em PT devem ser estudadas em função das particularidades de cada caso, e podem ser muito diferentes em função da localização do PT, face aos locais de ocupação sensível a proteger, e das características do PT. Por exemplo, no caso de PT aéreos, sem obstáculos entre o PT e o recetor, a minimização do ruído fica essencialmente dependente das características do transformador e da forma como ele é montado, pelo que a solução passa geralmente por tentar afastar ao máximo o PT dos recetores sensíveis e por escolher um transformador de menor potência sonora.

No caso de PT em cabine, independente de edifícios vizinhos com ocupação sensível, a transmissão para o exterior depende sobretudo das grelhas de ventilação e das portas (com frinchas e/ou habitualmente com grelhas), pelo que, as soluções para minimização de ruído passam geralmente pela aplicação de grelhas acústicas (preferencialmente fora das portas), pela aplicação de portas “pesadas” com adequada vedação de frinchas e, em casos limites, pela aplicação de revestimentos fonoabsorventes no interior do PT (com classe de reação ao fogo A1).

Para o caso específico de PT integrados em edifícios, tipicamente mais desfavoráveis, a transmissão para os recetores do mesmo edifício pode ocorrer por via aérea (direta e/ou marginal), por percussão/vibração e até por via aérea indireta, através da propagação para o exterior e da fachada dos compartimentos recetores. Neste caso, a minimização de ruído pode passar também pela implementação das soluções anteriormente indicadas para PT em cabine, mas geralmente a componente de transmissão por vibração é mais relevante sendo essencial o controlo de vibrações, através de maciços/lajes de inércia antivibratórios ou de calços antivibratórios e eventualmente através da substituição de barramentos rígidos por trancas flexíveis. Para situações de fraco isolamento a sons aéreos justifica-se normalmente o reforço integral de isolamento sonoro da envolvente do PT, como se esquematiza na Figura 2. O esquema de principio representado nesta Figura 2 contempla esse reforço integral e ainda um revestimento fonoabsorvente sob o teto falso de reforço de isolamento (que corresponde à solução executada em obra no caso de estudo apresentados na secção seguinte).

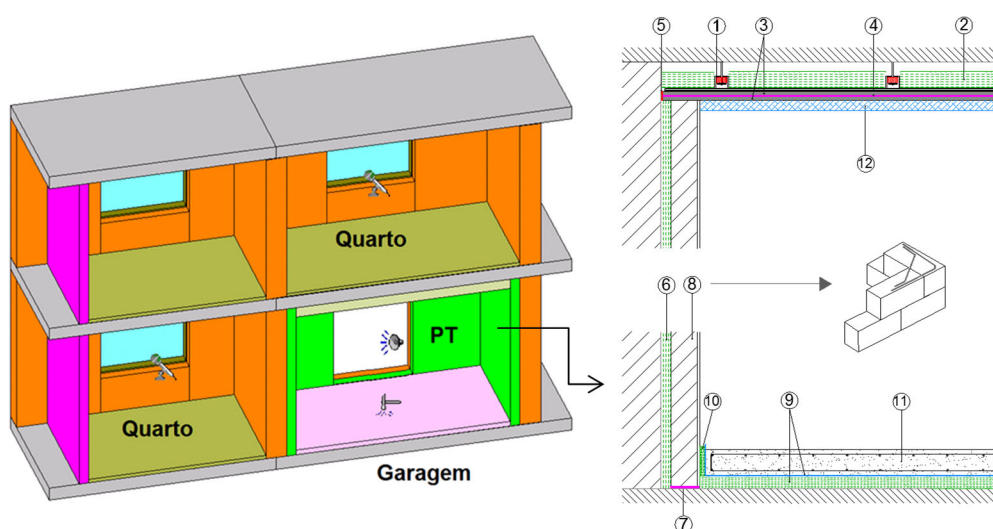


Figura 2: Esquema de separação e elementos de "reforço acústico" de um PT integrado num edifício de habitação, com quartos adjacentes (no mesmo piso e no piso superior).

Para compartimentos de PT em edifícios já existentes, e como já referido, a verificação dos requisitos indicados na secção anterior deverá ser preferencialmente efetuada através de ensaios in situ, nomeadamente ensaios de isolamento acústico, mas se o PT já se encontrar em funcionamento é também muito relevante a medição dos níveis de ruído ambiente no interior do PT bem como nos locais de ocupação sensível vizinhos. Nestes casos, e quando se verifica que a componente de transmissão por vibração é excessiva, não sendo viável a construção do maciço/laje de inércia flutuante, a solução poderá passar pela aplicação de calços antivibratórios e eventualmente "antissísmicos" (com fixação mecânica à laje de piso, mas com folgas e flexibilidade suficiente que permita evitar que em caso de sismo o PT deixe de funcionar), como se ilustra na Figura 3. Efetivamente, é fundamental que na eventual ocorrência de um sismo as instalações de PT continuem a funcionar, pelo que este apoio, para além de permitir resolver problemas de excesso de ruído, deve apresentar um comportamento dinâmico adequado em caso de sismo, em particular para as situações mais desfavoráveis de localização dos PT. Se o apoio for simplesmente apoiado, sem fixação ao piso, o transformador poderá tombar, em caso de sismo forte.



Figura 3: Possível solução de apoios antivibratórios (e antissísmicos), para substituição de um apoio convencional (geralmente com rodízio), em instalações de PT já existentes.

4. ANÁLISE DE CASO DE ESTUDO

Nesta secção são apresentados resultados para uma situação análoga à representada na Figura 2, com quartos adjacentes ao PT, quer no piso superior, quer lateralmente no mesmo piso, em que os elementos de separação diretos originais do edifício correspondiam a lajes maciças com cerca de 22 cm de espessura e paredes duplas de alvenaria de tijolo de 15+11 cm, no contorno do PT. Em fase de projeto, e com vista a garantir o cumprimento dos requisitos indicados na Figura 1, foi proposto um reforço de isolamento integral do tipo “Box in Box” no interior do compartimento do PT e ainda um revestimento fonoabsorvente sob o teto falso de reforço, tudo com materiais de classe de reação ao fogo A1. Para o reforço integral do compartimento do PT foi proposto um teto falso de reforço de isolamento, com suspensão antivibratória, de forma a garantir um índice $\Delta R_w \geq 12$ dB; uma forra de parede, rigidamente desligada do edifício, com $\Delta R_w \geq 15$ dB; e uma laje flutuante armada, sobre camada resiliente com 50 mm de espessura, de forma a garantir $\Delta R_w \geq 8$ dB e $\Delta L_w \geq 37$ dB. Foi ainda recomendado em projeto que o nível de potência do transformador não ultrapassasse 60 dB(A).

A título de exemplo são apresentados na Figura 4 os índices de isolamento obtidos entre o PT e dois quartos adjacentes, um sobre o PT e outro lateral ao PT, quer os resultados previstos em fase de projeto, quer os resultados finais obtidos após construção, através de ensaios *in situ*. Os resultados correspondentes à fase de projeto foram obtidos a partir da aplicação das normas ISO 12354-1;2 [6,5], mas para o caso específico da transmissão ascendente por percussão foi utilizado uma metodologia alternativa baseada no método SEA (“Statistical Energy Analysis”).

Da comparação entre resultados teóricos (previstos) e os resultados experimentais, verifica-se que para o isolamento a sons aéreos existe uma grande aproximação para baixas e médias frequência, em particular na transmissão entre espaços do mesmo piso. Na transmissão ascendente os desvios são significativos e provavelmente devem-se, por um lado à tendência de empolamento de resultados das metodologias de previsão na gama de altas frequências, e, por outro, a pequenos erros de execução. Por exemplo, na presente situação foram aplicados em obra apoios antivibratórios “comuns” com desempenho inferior ao dos apoios indicados em projeto. Na transmissão de ruídos de percussão verifica-se uma boa aproximação entre resultados teóricos e experimentais, com um desvio nos valores de $L'_{nT,w}$ de 2 dB. Contudo este desvio é favorável (do

lado da segurança) no caso da transmissão lateral e ligeiramente desfavorável no caso da transmissão ascendente.

Se compararmos os resultados da previsão utilizando a norma ISO 12354-2, assumindo transmissão lateral, com os resultados da medição, quando ocorre transmissão ascendente, verificamos que existe uma boa aproximação com um desvio nos valores de $L'nT,w$ de apenas 1 dB e do lado da segurança. Este resultado indica que a previsão da transmissão ascendente poderia ser simplificada, através da adoção da referida norma e admitindo que hipoteticamente o compartimento recetor se encontra ao lado do PT (no mesmo piso), em vez de se localizar sobre o PT.

De referir ainda que estes resultados experimentais permitem também verificar o cumprimento dos requisitos isolamento acústico, previstos nas regras técnicas da E-Redes [4].

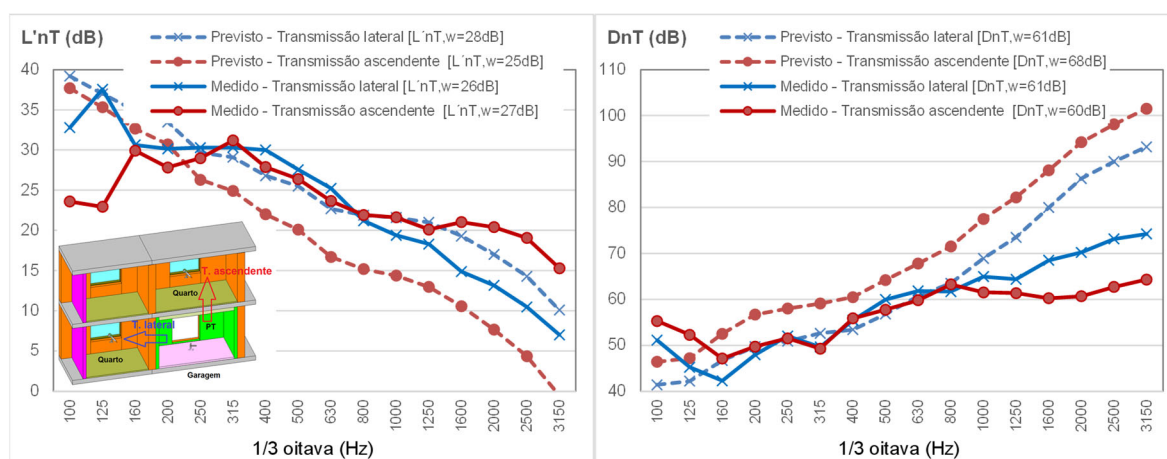


Figura 4: Isolamento a sons aéreos e de percussão entre o PT e os quartos adjacentes, na previsão em projeto e nas medições após conclusão das obras.

Os resultados experimentais apresentados anteriormente correspondem a resultados finais, após sucessivas correções em obra, no sentido de minimizar defeitos de construção, detetados a partir de ensaios realizados *in situ*. Apesar da sua pequena dimensão, e como acontece frequentemente [11], estes defeitos acabaram por ser decisivos no isolamento de ruídos de percussão. Na Figura 5 são ilustradas três fases de realização de ensaios, com resultados distintos: a primeira fase, ilustrada na imagem 1 desta figura, onde era visível a ligação da laje de inércia flutuante ao contorno das paredes; a segunda fase, representada na imagem 2, sem ligações rígidas aparentes da laje de inércia ao contorno, mas que, com a ajuda das medições *in situ*, se veio a verificar que num dos cantos do pavimento, onde tinha ficado embutido um tubo rígido para posterior passagem de cabos elétricos, ainda existia uma ligação rígida entre a lajeta e a parede lateral; e a terceira e última fase, ilustrada na imagem 3, após o corte total do canto da laje de inércia onde tinha ficado embutido o referido tubo rígido, que permitiu que a laje de inércia, que iria receber posteriormente o transformador de potência, ficasse rigidamente desligada de todo o contorno.

Na Figura 6 são apresentadas, para as três fases de ensaios *in situ* anteriormente indicadas, as respetivas curvas com o nível de pressão sonora padronizado, avaliado na transmissão entre espaços do mesmo piso (transmissão lateral entre o PT e o quarto adjacente). Numa primeira fase de ensaios o valor de $L'nT,w$ obtido foi de 56 dB, o que indicava uma eficácia quase nula da redução da laje flutuante, quando se previa um valor final de $L'nT,w$ da ordem de 28 dB. Após a primeira correção, na fase 2, voltou a repetir-se o ensaio, obtendo-se um valor de $L'nT,w$ de 44 dB, que apesar de francamente melhor, ainda se encontrava muito afastado do valor esperado. Na última fase, após conseguir desligar a laje de inércia de todo o contorno, o valor de $L'nT,w$ baixou para 26

dB, que correspondia a um valor até mais favorável que o inicialmente previsto de 28 dB, e que permitiu verificar que efetivamente tinha sido atingido o objetivo pretendido.

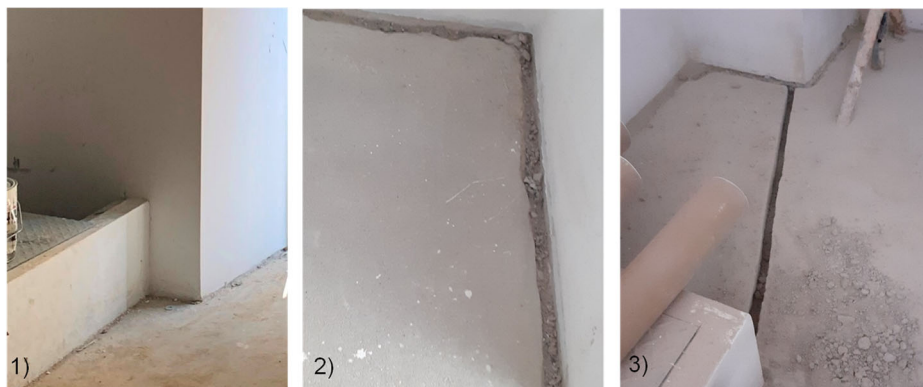


Figura 5: Imagens ilustrativas de três fases de ensaios realizados in situ: 1) inicialmente com erros na execução do contorno do pavimento; 2) após correção dos erros mais visíveis; e 3) após corte total do contorno.

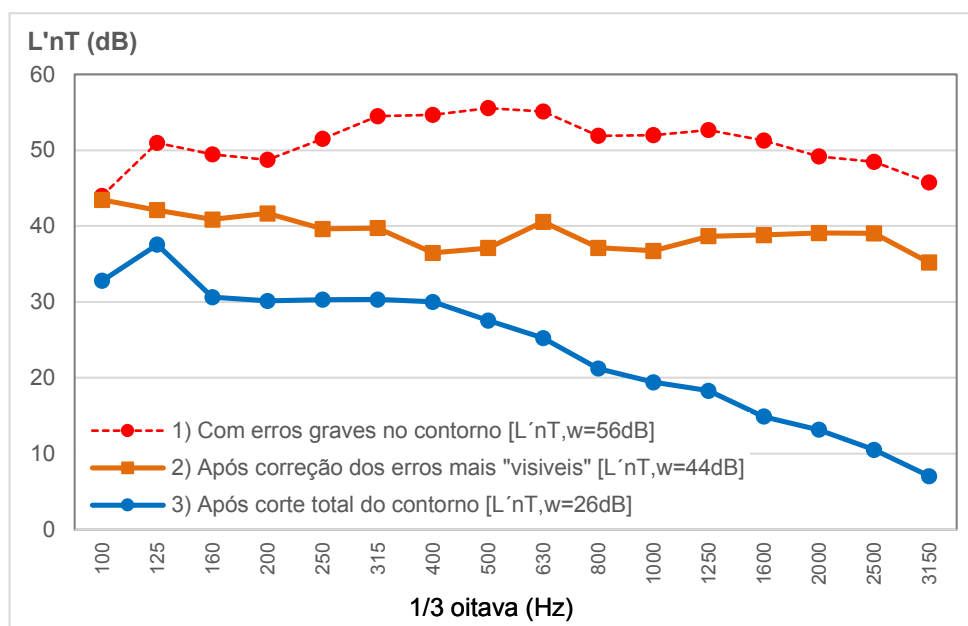


Figura 6: Resultados do nível de pressão sonora padronizado, avaliado na transmissão entre espaços do mesmo piso, obtidos nas três fases (1, 2 e 3) ilustradas na Figura 5.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma síntese das regras gerais indicadas pelo distribuidor de energia em Portugal (E-Redes), com vista à mitigação de ruído em postos de transformação, uma possível metodologia de verificação (uma de previsão para a fase de projeto e outra de medição para a fase pós construção), um conjunto de exemplos de medidas e soluções gerais de minimização de ruído e de vibrações e, finalmente, um caso de estudo, com várias etapas, de verificação destas regras, quer numa fase de projeto, quer numa fase final, após a construção do edifício, durante a preparação do compartimento destinado a receber o posto de transformação.

Apesar do caso de estudo não poder representar a generalidade dos postos de transformação integrados em edifícios, este caso corresponde a uma das situações mais desfavoráveis na prática, com ocupação sensível adjacente ao PT, quer no piso superior, quer o nível do mesmo piso. Com este exemplo, foi possível verificar que, com exceção da transmissão de ruídos de percussão de baixo para cima (local sensível sobre o PT), é viável a previsão dos índices de isolamento através das normas ISO 12354-1;2. No entanto, também se verificou que na determinação da transmissão ascendente, por percussão, se poderia simplificar a metodologia de cálculo, admitindo que hipoteticamente o compartimento recetor se encontra ao lado do PT (no mesmo piso), em vez de se localizar sobre o PT. Com esta simplificação, que facilita bastante o cálculo, foi possível verificar que o resultado obtido fica do lado da segurança, com 1 dB de folga, em relação aos resultados experimentais. Na transmissão lateral, entre o PT e o quarto adjacente do mesmo piso, existe também uma folga no valor de $L'nT,w$ previsto, do lado da segurança, neste caso de 2 dB, em relação aos resultados experimentais.

Com este caso de estudo, foi ainda possível verificar que efetivamente o sucesso da construção, do ponto do isolamento acústico, em particular na percussão, está muito dependente do processo construtivo. Por vezes pequenos erros de execução, quase impercetíveis depois da obra concluída, conduzem a um enorme fracasso, com desvios muito superiores aos decorrentes dos modelos de previsão.

REFERENCIAS

- [1] RGR (2007): Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei nº 9/2007 de 17/01, 2007.
- [2] RRAE (2008): Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº 129/2002 de 11/05, com a nova redação dada pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 09/06, 2008.
- [3] Almeida, T.; Mateus, D.; Vicente, R.; Rodrigues, F., (2016) Guia para Controlo e Mitigação de Ruído em Postos de Transformação. Edições EDP Distribuição.
- [4] D00-C13-030/N NOV 2016 - INSTALAÇÕES AT E MT: Requisitos de ruído para postos de transformação, EDP Distribuição, 2016.
- [5] ISO 12354-2 (2017): Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 2: Impact sound insulation between rooms
- [6] ISO 12354-1 (2017): Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms
- [7] ISO 16283-1 (2014). Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation.
- [8] ISO 16283-2 (2015). Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation.
- [9] NP EN ISO 717-1 (2013). Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea (ISO 717-1:2013).
- [10] NP EN ISO 717-2 (2013). Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão (ISO 717-2:2013).
- [11] Mateus, D.; Pereira, A. (2011). Influência de pequenos erros de execução em obra no desempenho acústico de edifícios - Exemplos típicos. Tecniacústica 2011, Cáceres, Spain, October 26-28, 2011, In CD-ROM.