



# **PLANOS DE AÇÃO**

## **DA**

# **REDE FERROVIÁRIA NACIONAL**

**PLANO DE AÇÃO DA LINHA DE SINTRA**

**Março 2020**

# PLANOS DE AÇÃO DA REDE FERROVIÁRIA NACIONAL

## PLANO DE AÇÃO DA LINHA DE SINTRA

### Equipa de trabalho principal:

**Alexandre M. Silva Pereira**, *Eng., DFA Eng. Acústica*

**António José Ferreira**, *DFA Eng. Acústica*

**Aline Ventura Nardi**, *Arq, MArq.*

**J. L. Bento Coelho** *Eng., MSc., PhD., IIAV Fellow (Coordenador)*

## CONTEÚDO

<b>RESUMO</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ÂMBITO E OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>2. ENQUADRAMENTO LEGAL</b> .....	<b>11</b>
<b>3. O RUÍDO FERROVIÁRIO DA LINHA DE SINTRA</b> .....	<b>16</b>
<b>4. METODOLOGIA DO PLANO DE AÇÃO</b> .....	<b>21</b>
4.1. PRINCÍPIOS.....	21
4.2. METODOLOGIA GERAL.....	21
<b>5. ENVOLVENTE ACÚSTICA DA LINHA DE SINTRA</b> .....	<b>24</b>
5.1. ANÁLISE ACÚSTICA.....	24
5.2. MEDIDAS JÁ IMPLEMENTADAS E EM CURSO.....	25
5.3. MAPAS DE CONFLITO.....	26
<b>6. ZONAS DE INTERVENÇÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>7. AÇÕES PARA GESTÃO E REDUÇÃO DO RUÍDO FERROVIÁRIO</b> .....	<b>36</b>
<b>8. TIPOLOGIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS</b> .....	<b>40</b>
<b>9. REDUÇÃO DO RUÍDO: INTERVENÇÕES E MEDIDAS</b> .....	<b>55</b>
9.1 SOLUÇÕES TÉCNICAS.....	55
9.2 ANÁLISE DE EFICÁCIA.....	56
9.3 INFORMAÇÕES FINANCEIRAS.....	77
<b>10. PLANEAMENTO DAS AÇÕES</b> .....	<b>79</b>
10.1 HIERARQUIZAÇÃO TEMPORAL.....	79
10.2 AÇÃO ESTRATÉGICA A MÉDIO/LONGO PRAZO.....	80
10.3 MONITORIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PA.....	82
<b>11. QUADRO RESUMO</b> .....	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>84</b>

## Resumo

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha de Sintra é elaborado pela entidade responsável, nomeadamente a INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, SA, (IP), com o objetivo de dar cumprimento ao enquadramento legal que se impõe a esta entidade, no âmbito dos requisitos do Decreto-Lei n.º 146/2006 (DL146/2006), de 31 de Julho, que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a gestão e avaliação de ruído ambiente, mais especificamente a elaboração de estudos no âmbito dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e elaboração do correspondente PA para as zonas expostas ao ruído gerado pelo tráfego ferroviário da Linha de Sintra.

Esta infraestrutura apresenta um volume de tráfego ferroviário superior a 30 000 passagens de comboios por ano, sendo como tal considerada uma Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário (GIF) à luz do estipulado no artigo 3º do Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, retificado pela Declaração de Rectificação n.º 18/2007, de 16 de Março, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.

Este, no ponto 9 do seu Artigo 19.º estabelece ainda que “As grandes infra-estruturas de transporte ... ferroviário ... elaboram mapas estratégicos de ruído e planos de ação, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho”.

Os objetivos do presente Plano são alcançados através de estratégias otimizadas para gestão, controlo e redução da exposição ao ruído das populações eventualmente afetadas pela exploração da Linha de Sintra. O presente PA destina-se assim a gerir os problemas e efeitos do ruído, gerados pela referida GIF (Grande Infraestrutura de transporte Ferroviário), incluindo a redução do ruído, onde necessário.

O PA da Linha de Sintra foi desenvolvido na sequência da elaboração dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) daquela Linha.

A abordagem metodológica utilizada baseia-se na análise dos mapas de conflitos para os indicadores de ruído ambiente regulamentares  $L_{den}$  e  $L_n$  bem como os limites de ruído legais vigentes, os quais contemplam a carta de classificação acústica do território municipal.

O grau de conflito foi codificado segundo os intervalos de 0 a 3 dB, de 3 a 5 dB e acima de 5 dB. De entre os dois indicadores de ruído ambiente regulamentares, foi escolhido o indicador  $L_n$  para se proceder à análise dos conflitos, por ser aquele que verifica o maior grau de conflito.



As zonas que apresentam valores de conflito até 3 dB, foram consideradas como de vigilância, tendo em conta as incertezas associadas a todo o processo de avaliação, quer experimental quer de cálculo, que pode assumir valores daquela ordem de grandeza. Tais valores poderão, contudo, indiciar desvios marginais que devem ser vigiados para não aumentarem. Não justificam, no entanto, na presente fase, qualquer ação concreta.

Para valores de desvio (conflito com valor limite legal) superiores, foram estudadas e desenvolvidas estratégias e ações com vista ao controlo e redução do ruído com origem ferroviária.

A análise das áreas em conflito identificou dezoito zonas de intervenção na envolvente da Linha de Sintra e sobre as quais incide o presente PA:

- Zona 1, entre o pk 3+800 e o pk 4+150, no Município de Lisboa.
- Zona 2, entre o pk 4+270 e o pk 5+100, no Município de Lisboa.
- Zona 3, entre o pk 6+030 e o pk 6+140, no Município de Lisboa.
- Zona 4, entre o pk 6+500 e o pk 6+990, nos Municípios de Lisboa/Amadora.
- Zona 5, entre o pk 9+020 e o pk 9+420, no Município de Amadora.
- Zona 6, entre o pk 9+560 e o pk 11+030, no Município de Amadora.
- Zona 7, entre o pk 11+590 e o pk 12+120, no Município de Sintra.
- Zona 8, entre o pk 12+300 e o pk 12+460, no Município de Sintra.
- Zona 9, entre o pk 15+320 e o pk 15+430, no Município de Sintra.
- Zona 10, entre o pk 18+430 e o pk 18+720, no Município de Sintra.
- Zona 11, entre o pk 19+070 e o pk 19+250, no Município de Sintra.
- Zona 12, entre o pk 19+930 e o pk 20+590, no Município de Sintra.
- Zona 13, entre o pk 20+770 e o pk 21+370, no Município de Sintra.
- Zona 14, entre o pk 21+550 e o pk 21+730, no Município de Sintra.
- Zona 15, entre o pk 22+030 e o pk 22+150, no Município de Sintra.
- Zona 16, entre o pk 22+710 e o pk 24+090, no Município de Sintra.
- Zona 17, entre o pk 25+910 e o pk 26+040, no Município de Sintra.

- Zona 18, entre o pk 26+390 e o pk 26+850, no Município de Sintra.

Podem ser definidas distintas tipologias de intervenções direcionadas para gestão, controlo, minimização e redução do ruído de origem ferroviária. As ações consideradas para a boa gestão do ambiente acústico podem ser do tipo (i) comunicação, sensibilização e participação pública, (ii) vigilância e monitorização, (iii) gestão de fontes emissoras de ruído e (iv) controlo e redução de ruído ferroviário.

As estratégias para a redução do ruído passam por criar perdas de transmissão no meio, quer por introdução de uma qualquer solução atenuadora no sistema roda-carril (em qualquer das suas componentes), quer por introdução de barreiras acústicas, dispositivos de atenuação de ruído interpostos no percurso de transmissão entre o emissor (linha ferroviária) e o recetor.

Privilegiaram-se, sempre que possível, as intervenções que atuem na redução de ruído na fonte (linha/material circulante).

Não foram consideradas, por questões de exequibilidade prática, operacional ou económica, ou por não se julgarem justificadas, outras medidas tais como a limitação de velocidades de circulação, alteração ao uso dos solos ou o reforço de isolamento sonoro de fachada.

Para a Linha de Sintra, foi preconizado um conjunto de intervenções diversas, sob a designação de situação futura, em que a alteração do material circulante e ações diretas na via e/ou no percurso da transmissão sonora, constituem as medidas de controlo e redução de ruído: (i) modernização/renovação, a cargo do operador CP, do material circulante da Linha de Sintra (composições UQE 2300/2400), (ii) adoção de atenuadores sintonizados de carril, (iii) implantação de barreiras acústicas, em função dos conflitos identificados. É ainda recomendado um programa regular de esmerilagem da via de modo a minimizar o desgaste ondulatório do carril.

As medidas de minoração sonora são as que se afiguram como exequíveis do ponto de vista prático, bem como económica e socialmente viáveis, encontrando-se também contempladas nas orientações estratégicas da IP em matéria de políticas de ambiente.

Para a situação futura, são consideradas medidas que, embora não diretamente relacionadas com as ações de engenharia acústica, são importantes, a médio e longo prazo, para a eficácia real e percebida das mesmas, tal como a elaboração de um plano de manutenção/monitorização de medidas de minoração implementadas bem como ações a desenvolver junto do público, de modo a promover a

*goodwill*. Estas podem incluir a comunicação de intervenções na via relevantes para a minoração do ruído, a manutenção da circulação de informação entre os vários *stakeholders* (operadores, câmaras, público) e a elaboração de inquéritos às populações afetadas sobre o grau de incomodidade sentida.

O resultado da análise de eficácia, em termos de redução das populações expostas e das medidas preconizadas mostra que o número de pessoas residentes quer na classe de maior conflito (> 5 dB), quer na classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 100%, ou seja, deixa de haver residentes expostos aos níveis sonoros mais elevados.

Os benefícios em termos da redução do número de residentes, expostos a níveis excessivos de ruído, demonstram que as ações de intervenção preconizadas para a Linha de Sintra revelam-se 100% eficazes. Considera-se uma excelente eficácia para um plano de curto prazo (cinco anos).

A otimização do conjunto das propostas e seus resultados passa por uma hierarquização das intervenções, cuja adoção tem de ser balizada não só pelos benefícios esperados e pelos aspetos práticos e económicos da sua execução mas igualmente por eventuais aspetos funcionais que envolvam sequências de operação bem como pelos resultados de novas avaliações, tendo em conta o curto prazo (cinco anos) de um plano que envolve ações cuja execução pode revelar-se complexa para tal período de tempo.

O período de cinco anos do plano será dividido em duas fases. A primeira, correspondente aos primeiros três anos, compreenderá (i) preparação/execução do plano de renovação/modernização, a cargo do operador CP, das composições UQE 2300/2400, (ii) instalação das medidas adicionais preconizadas, nomeadamente atenuadores sintonizados de carril e barreiras acústicas, (iii) ações de verificação, monitorização e manutenção das medidas de controlo de ruído já implementadas e (iv) ações de sensibilização e informação sobre o ruído para a comunidade em geral.

Numa segunda fase, nos dois anos seguintes, prossegue a execução do plano de modernização/renovação das composições UQE 2300/2400. Também será dado início ao programa de esmerilagem periódica de carris e ao programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril. Será, ainda, dada continuidade às ações de sensibilização e informação.

A execução do presente PA resultará numa substancial diminuição da extensão das linhas isofónicas correspondentes ao ruído de circulação ferroviária, e, como tal, da população exposta ao ruído ferroviário. As zonas de vizinhança da Linha de Sintra exibem numa considerável parte da sua extensão uma

concorrência com outras fontes sonoras contribuintes para o ruído ambiente, especificamente devido à circulação rodoviária. O objetivo do PA constitui-se na diminuição da contribuição ferroviária para o ruído global. A estimação do número de pessoas expostas a tal contribuição a efetuar no âmbito da elaboração dos MER do próximo ciclo permitirá avaliar os benefícios recolhidos com a execução do PA.

## 1. Âmbito e Objetivos

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha de Sintra é elaborado pela entidade responsável, nomeadamente as INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, SA, (IP), com o objetivo de dar cumprimento ao enquadramento legal que se impõe a esta entidade, no âmbito dos requisitos do Decreto-Lei n.º 146/2006 (DL146/2006) de 31 de Julho que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a gestão e avaliação de ruído ambiente, mais especificamente a elaboração de estudos no âmbito dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e a elaboração do correspondente PA para as áreas territoriais expostas ao ruído gerado pelo tráfego ferroviário da Linha de Sintra.

O Plano de Ações da Linha de Sintra, que vigora para o período 2020-2025, foi desenvolvido na sequência da elaboração dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) daquela Linha.

A elaboração de um Plano de Ação (PA) de uma Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário (GIF) é um trabalho complexo, envolvendo diversas tarefas especializadas da área de engenharia acústica, tais como estudo, especificação e otimização de medidas de controlo e de redução do ruído, modelação e simulação de cenários alternativos e/ou complementares, bem como análise de benefícios.

Os objetivos do presente Plano são atingidos, então, através de estratégias otimizadas para gestão, minimização e/ou compensação da exposição ao ruído das populações eventualmente afetadas pela exploração da Linha de Sintra.

O Anexo V do Decreto-Lei n.º 146/2006 especifica os requisitos mínimos que deverão enformar estes planos, nomeadamente:

- “Uma (...) identificação de problemas e situações que necessitem de ser corrigidas;
- Eventuais medidas de redução do ruído já em vigor e projetos em curso;
- Estratégia a longo prazo;
- Informações financeiras (se disponíveis): orçamentos, avaliação custo-eficácia, avaliação custo-benefício;
- Medidas previstas para avaliar a implementação e os resultados do plano de ação”.

Neste contexto, o presente PA contempla diversas fases de trabalho objetivadas para:

1. Estudo analítico do MER da Linha de Sintra;
2. Integração de medidas de minoração de ruído entretanto implementadas na infraestrutura;
3. Avaliação das zonas de conflito, face às disposições legais vigentes e tendo em conta a classificação acústica do território, fornecida pelas Câmaras Municipais cujos territórios são percorridos pela GIF;
4. Definição das zonas de incidência do PA;
5. Estabelecimento de benefícios objetivos de intervenção;
6. Definição de soluções, procedimentos e estratégias típicas e aplicáveis;
7. Estimativa orçamental das medidas propostas;
8. Estudo de benefícios e otimização de intervenções por métodos iterativos;
9. Plano de intervenção com hierarquização e faseamento das ações, contemplando a visão a longo prazo;
10. Monitorização da implementação do PA.

O presente PA vigora para o período 2020-2025.

## 2. Enquadramento Legal

Os trabalhos para a elaboração do PA da Linha de Sintra seguiram os critérios constantes da legislação sobre ruído ambiente aplicável, em particular o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de 16 de Março e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto, o qual remete para o Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho (DL146/2006), que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. O Decreto-Lei n.º 146/2006 foi alterado no seu Anexo II pelo Decreto-Lei n.º 136-A/2019, de 6 de setembro, o qual transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2015/996, da Comissão, de 19 de maio de 2015.

O RGR tem por objeto a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, tendo em vista a salvaguarda da saúde e do bem-estar das populações. Os seus princípios destinam-se a incidir, essencialmente, sobre as fases de planeamento e de ordenamento do território, mas, também, como critérios de correção e redução de ruído.

Em termos de ruído ambiente, o RGR define no seu Artigo 3.º três períodos de referência: o diurno, entre as 7h00 e as 20h00, o entardecer, entre as 20h00 e as 23h00, e o noturno, entre as 23h00 e as 7h00. Como os níveis sonoros são normalmente expressos pelo índice  $L_{Aeq}$ , nível sonoro contínuo equivalente, correspondente à sensação com que efetivamente o ser humano percebe o fenómeno sonoro, os indicadores de ruído ambiente para aqueles períodos são designados, respetivamente, por  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$ . Em consonância com as disposições europeias, a alínea j) do artigo 3º do RGR define ainda o indicador  $L_{den}$  como uma média ponderada de  $L_d$ ,  $L_e$  e  $L_n$  com penalizações para os períodos de entardecer e noturno:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[ 13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

As infraestruturas de transporte são genericamente contempladas no seu Artigo 19.º, “Infra-estruturas de transporte”, o qual estabelece, no seu ponto 1, que “As infra-estruturas de transporte, novas ou em exploração à data da entrada em vigor do presente Regulamento, estão sujeitas aos valores limite fixados

no artigo 11.º. Este artigo, “Valores limite de exposição”, define no seu n.º 1 o critério para os valores limites de exposição:

- a) *As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*
- b) *As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ ;*
- c) *As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infraestrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ .*

O ponto 3 deste artigo, estabelece que “*até à classificação das zonas sensíveis e mistas ..., para efeitos de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos recetores sensíveis os valores limite de  $L_{den}$  igual ou inferior a 63 dB(A) e  $L_n$  igual ou inferior a 53 dB(A)*”.

A delimitação das áreas do território com a atribuição da classificação de zonas sensíveis e mistas é endossada à competência das respetivas câmaras municipais, no caso as Câmaras Municipais de Lisboa, Amadora, Oeiras e Sintra, devendo tais zonas ser inscritas, delimitadas e disciplinadas no respetivo Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT).

No Artigo 3.º, é definido:

**“zona sensível”** como “*área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros*



*estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno”;*

*“**zona mista**” como “a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível”.*

O ponto 9 do Artigo 19.º estabelece que “As grandes infra-estruturas de transporte ... ferroviário ... elaboram Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e Planos de Acção (PA), nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho”. No Artigo 3.º, é definida “Grande infra-estrutura de transporte ferroviário” o troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional identificada como tal pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes, onde se verifique mais de 30 000 passagens de comboios por ano. Ora, tal é o caso da Linha de Sintra o que remete para as disposições do Decreto-Lei n.º 146/2006.

O Decreto-Lei n.º 146/2006, publicado em 31 de Julho de 2006, transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, alterado no seu Anexo II pelo Decreto-Lei nº 136-A/2019, de 6 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) n.º 2015/996, da Comissão de 19 de Maio de 2015:

O Decreto-Lei n.º 146/2006 determina no seu artigo 1.º:

- a) *“a elaboração de mapas estratégicos de ruído que permitam quantificar a exposição ao ruído ambiente exterior, com base em métodos de avaliação harmonizados ao nível da União Europeia”.*
- b) *“a prestação de informação ao público sobre o ruído exterior e seus efeitos”.*
- c) *“a aprovação de planos de ação baseados nos mapas estratégicos de ruído a fim de prevenir e reduzir o ruído”.*

*ambiente sempre que necessário e em especial quando os níveis de exposição sejam suscetíveis de provocar efeitos prejudiciais para a saúde humana e de preservar a qualidade do ambiente acústico”.*

O âmbito de aplicação do DL146/2006 é definido no seu artigo 2.º como sendo “*aplicável ao ruído ambiente a que os seres humanos se encontram expostos em zonas que incluam usos habitacionais, escolares, hospitalares ou similares, espaços de lazer, em zonas tranquilas de uma aglomeração, em zonas tranquilas em campo aberto e noutras zonas cujo uso seja sensível ao ruído e que seja produzido nas aglomerações ou por grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo”.*

Este Decreto-Lei determina então que, na sequência da elaboração dos MER, têm as entidades gestoras ou concessionárias das infraestruturas de transporte visadas de desenvolver Planos de Ação destinados a gerir os problemas e efeitos do ruído e a reduzir os níveis de ruído nas áreas respetivas onde tal seja necessário.

O DL 146/2006 mais estabelece no seu artigo 11.º que “os planos de acção são reavaliados e alterados de cinco em cinco anos a contar da data da sua elaboração” (ponto 1), ou “sempre que se verifique uma alteração significativa relativamente a fontes sonoras ... com efeitos no ruído ambiente” (ponto 2).

Este quadro legal, tanto na sua componente nacional como na europeia, estabelece estratégias claras e definidas no sentido da proteção e da melhoria da qualidade do ambiente sonoro exterior.

Estas estratégias passam pelo mapeamento de ruído e pela elaboração dos planos de ação e de redução de ruído como instrumentos importantes para, tendencialmente, reduzir o ruído nos aglomerados populacionais e junto às grandes infraestruturas de transportes e desta forma, reduzir a incomodidade das populações e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

O atual enquadramento legal em vigor, nacional e europeu, considera a cartografia de ruído como forma privilegiada de diagnóstico para a avaliação da incomodidade das populações ao ruído e como um instrumento fundamental para a definição e elaboração dos planos de ação e de redução de ruído.

É neste enquadramento que foi elaborado o presente Plano de Ação da Linha de Sintra.

### 3. O ruído ferroviário da Linha de Sintra

O ruído produzido pela circulação das composições ferroviárias constitui um dos desafios ambientais que a IP enfrenta. Esta empresa, resultante da fusão da REFER com as Estradas de Portugal, gere toda a infraestrutura de transporte terrestre (estradas e caminhos de ferro) em Portugal.

No âmbito europeu, o *Livro Branco da Comissão Europeia - Roteiro do espaço único europeu dos transportes* (2011), estipulou objetivos de sustentabilidade que implicam a minoração do impacte ambiental das operações ferroviárias. Esta inclui não só a emissão de gases de estufa e o consumo de energia, mas também o ruído emitido. A minoração destes impactes é crucial para manter a favorável posição ambiental do modo de transporte ferroviário – e como tal promover a sua maior utilização a nível europeu.

A gestão do ruído das GIF sob gestão da IP, quer através da elaboração dos MER, quer através de ações mitigadoras preconizadas nos subseqüentes PA é assim um desafio incontornável para esta empresa.

As GIF servem zonas urbanas, peri/suburbanas e interurbanas. A elevada concentração de atividades sociais, económicas e de meios de transporte torna estes territórios como espaços de vivência onde a preservação do ambiente se revela particularmente delicada. Esta situação tem-se agravado nos últimos dois séculos, sobretudo na era pós-revolução industrial.

O ruído de origem mecânica torna-se omnipresente, como resultado quer dos meios de transporte quer de equipamentos coletivos ou pessoais que fazem parte das atividades profissionais, de lazer ou, mesmo, da vivência normal. O cidadão tem-se tornado, crescentemente, mais consciente do ruído que o rodeia nas suas atividades e vivências quotidianas. Aqui, o ruído dos transportes, nomeadamente ferroviário, revela-se determinante. As exigências de qualidade de vida requerem das autoridades locais uma vigilância apertada do ruído nos espaços habitados.

No entanto, a ferrovia foi, historicamente, a primeira infraestrutura de transporte mais ou menos massificado a ser implantada no território nacional. De facto, as grandes construções de vias férreas iniciaram-se mundialmente nos meados do Séc. XIX e apesar dos avultados investimentos requeridos, Portugal não foi alheio a esta revolução no transporte terrestre. A partir do final do Séc. XIX, com a entrada ao serviço das várias vias férreas em território nacional (a Linha de Sintra entra em exploração em 1888), rapidamente estes eixos se tornaram estruturantes do território. Novas áreas se expandiram

a partir das zonas das estações (devido à maior mobilidade e acesso), consolidando-se um contínuo urbanístico em redor dos eixos ferroviários.

Isto implica que a via-férrea, como componente modificadora da paisagem sonora, faça parte de uma longa memória das populações. Se bem que se tenha registado alguma hostilidade no início (especialmente por questões de intrusão visual e paisagística), a assinatura sonora da via-férrea está definitivamente ancorada na memória das populações quer as que habitam na proximidade quer do público em geral.

Tal facto é corroborado pelos vários estudos sobre a relação dose-resposta entre o ruído gerado por meios de transporte e a incomodidade das populações nos quais é realçado o facto do ruído de tráfego ferroviário ser considerado como menos incómodo em relação ao ruído gerado por outros meios de transporte, como se pode observar na figura 1 (Ferreira, A., Bento Coelho, J. L. 2009, a partir de Miedema 2001).

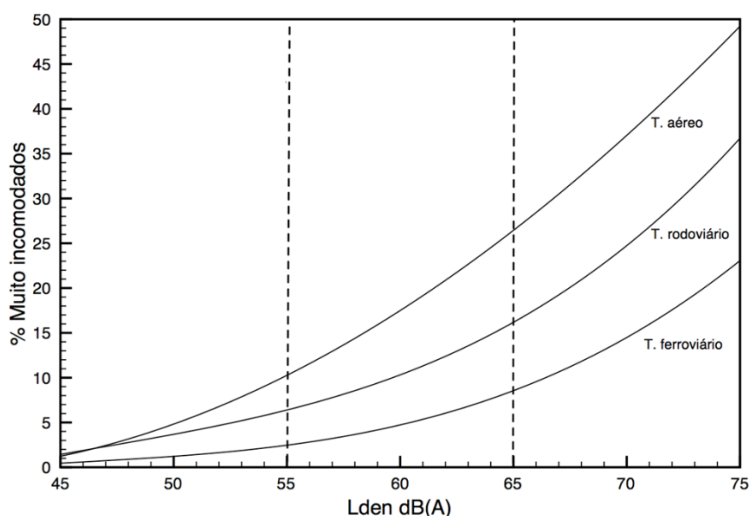


Figura 1. Percentagem de indivíduos “muito incomodados” para ruído de tráfego aéreo, rodoviário e ferroviário.

Embora estudos recentes apontem para a supressão deste “bónus” (em termos de ruído ferroviário) em determinadas condições específicas (alta intensidade de tráfego/percentagem de comboios de mercadorias), um estudo recente com base em inquéritos realizado pela SNCF (2018), atribui ao tráfego ferroviário 8% da incomodidade total devida ao ruído de transportes – em contraste com 67% para as rodovias e 14% para o tráfego aéreo.

A ferrovia é, apesar de tudo, considerada como um modo de transporte seguro, confortável e ecologicamente mais sustentável (menor consumo de energia e menor emissão de gases de estufa). No entanto, os problemas de ruído persistem e têm sido alvo de ações mitigadoras e de controlo e redução de ruído. A adoção destas não deverá colocar em causa a competitividade do transporte ferroviário para não se incorrer no risco de anular os benefícios desta modalidade de transporte.

É todo este contexto que enforma o presente PA de Redução de Ruído para a GIF Linha de Sintra.

Este é um eixo ferroviário com cariz suburbano e periurbano, que estabelece a ligação entre o centro da cidade de Lisboa (Estação do Rossio) e a Vila de Sintra (Estação de Sintra). É uma via de bitola larga (1688 mm), quádrupla entre Campolide e Agualva-Cacém, com cerca de 27 km de extensão. Na foto esquerda da figura 2 pode-se observar uma composição da série UQE 2300, característica do material circulante que predomina na Linha de Sintra, estando esta inserida maioritariamente numa densa malha urbana/suburbana.



*Figura 2. Composição UQE 2300 na Linha de Sintra (esq.); Estação de Sintra (dir.) (fonte: WikiCommons).*

No presente PA é considerado, no traçado da Linha de Sintra em consideração, o troço entre Agualva/Cacém e Mira Sintra/Meleças (Linha do Oeste, com uma extensão de 2,476 km) e também parte da Concordância de Sete-Rios (entre o pk 0+580 e Benfica). É excluído o troço entre o Túnel do Rossio e o pk 3+750 da Linha de Sintra, o qual fará parte do PA da Linha de Cintura.

No Concelho de Lisboa, a linha atravessa as freguesias de Campolide, São Domingos de Benfica e Benfica. No Concelho da Amadora são atravessadas as freguesias de Buraca, Damaia, Reboleira e Venteira. No Concelho de Sintra, são atravessadas as freguesias de Queluz, Monte Abraão, Massamá, Agualva, Mira Sintra, Cacém, Rio de Mouro, Algueirão – Mem Martins e Santa Maria. Finalmente, entre

aproximadamente o pk 13+800 e o pk 15+500, a Linha de Sintra bordeja, no seu lado sul, o Concelho de Oeiras.

O tráfego médio anual é de 100 000 passagens de comboios por dia nos troços com maior volume, nomeadamente entre Sete-Rios e Agualva-Cacém. Este valor traduz-se em aproximadamente 320 comboios por dia útil nos dois sentidos de circulação e em cerca de 48 milhões de passageiros transportados por ano.

O valor do tráfego médio anual coloca a Linha de Sintra na categoria de Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário segundo a definição do artigo 3.º “Definições” do Decreto-Lei n.º 146/2006.

Nesta via circulam, maioritariamente, as automotoras elétricas (UQE) das séries 2300/2400, a 25 kV AC. Estas composições efetuam a ligação Rossio-Sintra/Meleças e também a ligação Sintra-Gare do Oriente-Alverca via a Linha de Cintura. Circulam também na Linha de Sintra as automotoras diesel (UDD 450) do serviço Regional da Linha do Oeste (Lisboa/Santa Apolónia-Caldas da Rainha), também via Linha de Cintura, embora a números residuais. A tabela 1 resume algumas das características do principal material circulante ao serviço de passageiros nesta via.

*Tabela 1. Características do material circulante na Linha de Sintra.*

Material circulante	Veículo	V max (km/h)	Nº bogies	Nº rodados	Tipo de freio
Série 2300/2400 (urbano)	Automotora eléctrica (UQE)	120	8	16	Rodados motores: 50% cepos Rodados livres: 50% discos

A fonte de ruído ferroviário cuja contribuição normalmente se prefigura como mais relevante é constituída pelo sistema de rolamento. O ruído de rolamento tem origem na interação do sistema roda-carril, devido às rugosidades (corrugação) criadas nas superfícies de contacto entre o rasto da(s) roda(s) e a cabeça do carril, sendo que a energia das vibrações geradas é, em boa parte, transmitida ao meio ambiente circundante sob a forma de re-radiação das ondas sonoras (ruído aéreo).

As características de vibração/oscilação do próprio carril também são determinantes para o nível de ruído total. A importância da contribuição do carril para o ruído total depende também da rigidez/resiliência dos sistemas de fixação do carril/travessa e das características do solo.



Em curvas do traçado com curvatura mais apertada (raio < 200 m), a interação do sistema roda-carril pode gerar ruído com acentuadas características tonais (entre 250 Hz e 5 kHz) designado como “*curve noise squeal*”.

A intensidade do ruído de rolamento depende da velocidade da composição ferroviária, sendo que um aumento para o dobro da velocidade corresponde a um acréscimo de cerca de 8-10 dB(A) do ruído de rolamento. Esta é a fonte de ruído dominante para velocidades entre 40 km/h e cerca de 250 km/h. A baixas velocidades (< 40 km/h) predominam outras fontes (tais como o ruído do sistema de tração térmica ou de sistemas de arrefecimento nas motorizações elétricas) e a velocidades superiores a 250 km/h predomina o ruído de origem aerodinâmica.

Note-se que nas linhas férreas geridas pela IP, a velocidade máxima permitida é de 220 km/h pelo que o ruído de origem aerodinâmica não se considera preponderante ou mesmo relevante. Na Linha de Sintra, a velocidade máxima de circulação, imposta pelo traçado da via-férrea, é de 100 km/h.

Os vários componentes do sistema roda-carril apresentam contribuições relativamente distintas para o ruído de rolamento total:

- Até cerca de 120 km/h, o carril é ligeiramente mais preponderante (+ 2 dB) em relação à roda, diminuindo de importância até esta velocidade; aqui a contribuição das emissões sonoras da roda e carril é mais ou menos equivalente;
- para velocidades superiores a 120 km/h a emissão sonora da roda torna-se ligeiramente mais preponderante (+2 dB).
- A energia de vibração das rodas concentra-se nas frequências superiores a 1500 Hz; a energia da emissão sonora do carril distribui-se por uma banda larga de frequências entre 250-1250 Hz enquanto as travessas contribuem com emissões sonoras em frequências inferiores a 400 Hz. A intensidade de vibração das travessas depende principalmente do grau de isolamento oferecido pelas palmilhas, o qual é fator direto da rigidez vertical das mesmas.

A totalidade das emissões sonoras resultantes das várias fontes acima mencionadas constituem o ruído devido à circulação ferroviária na Linha de Sintra. A consideração destes mecanismos é importante no sentido da otimização das intervenções para redução do ruído.



## 4. Metodologia do Plano de Ação

### 4.1. Princípios

Os Planos de Ação destinam-se, segundo a legislação aplicável, a definir ações e medidas de minimização de ruído no sentido de melhorar a qualidade do ambiente sonoro e de repor, tanto quanto possível e/ou razoável, os níveis vigentes de ruído ambiente dentro de limites estipulados. Estes limites referem-se, na legislação nacional, a zonas sensíveis e mistas, e consideram os distintos períodos de referência: diurno (entre as 7h00 e as 20h00), entardecer (entre as 20h00 e as 23h00) e noturno (entre as 23h00 e as 7h00).

O PA da Linha de Sintra tem por objetivo estabelecer um programa de atuação com vista à redução, controlo e gestão do ruído de origem ferroviária eliminando, tanto quando possível, conflitos com valores limite e ser conducente a uma melhoria geral do ambiente sonoro na área envolvente da GIF. Assim, o presente PA estabelece uma metodologia de intervenção faseada, com base nas tipologias de medidas de controlo de ruído e na análise de benefícios e de viabilidade técnica, operacional e económica.

Tal envolve (i) a análise de zonas, onde se verificam níveis sonoros excessivos em conflito com os valores limite estipulados na legislação aplicada sobre ruído ambiente, bem como a apreciação e a hierarquização de intervenções, (ii) a consideração de distintas tipologias de medidas de minimização de ruído, o estudo da sua viabilidade e correspondente eficácia e (iii) o faseamento das diversas ações preconizadas. O faseamento é ditado tanto pelos benefícios a colher como pela viabilidade prática da implementação.

### 4.2. Metodologia geral

O presente PA resulta da avaliação da situação acústica na envolvente da Linha de Sintra (faixa lateral de 300 m de ambos os lados em relação ao eixo da via) patente nos mapas de ruído elaborados e da confrontação com os valores limite dos níveis sonoros expressos para aquele território (classificação acústica dos municípios em zonas sensíveis e mistas) bem como dos critérios de qualidade atualmente aceites a nível internacional e das boas práticas seguidas.

O MER da Linha de Sintra, para os indicadores de ruído ambiente  $L_{den}$  e  $L_n$ , mostra as áreas geográficas expostas ao ruído ambiente, caracterizado em intervalos de níveis sonoros (normalizados de 5 em 5 dB(A)), delimitadas pelas diferentes curvas isofónicas.

Foram elaborados os mapas de conflitos para toda a envolvente da Linha, considerando as emissões sonoras incidentes e os valores limite correspondentes a cada zona patente na carta de classificação acústica do território e/ou disposições legais aplicáveis.

O grau de conflito foi codificado segundo os intervalos de 0 a 3 dB, de 3 a 5 dB e acima de 5 dB. De entre os dois indicadores de ruído legais vigentes, foi escolhido, para esta Linha, o indicador  $L_n$  para se proceder à análise dos conflitos, por ser aquele que verifica os maiores graus de conflito.

As zonas que apresentam valores de conflito até 3 dB foram consideradas como de vigilância, tendo em conta as incertezas associadas a todo o processo de avaliação, quer experimental quer de cálculo, que pode assumir valores desta ordem de grandeza. Tais valores poderão, contudo, indiciar desvios marginais que devem ser vigiados para não aumentarem. Não justificam, no entanto, na presente fase, qualquer ação.

Para valores de desvio (conflito com valor limite legal) superiores, foram estudadas e desenvolvidas estratégias e medidas de controlo e redução de ruído.

Foram contabilizadas, para as zonas de intervenção, o número de residentes e de edificado com uso sensível ao ruído, expostos a níveis de ruído com valores de desvio superiores ao valor limite legal. Para o cálculo das populações expostas foi efetuado o cruzamento dos dados de população por subsecção estatística do Censos 2011 considerando a população distribuída proporcionalmente pelo volume do edifício, para a fachada mais exposta ao ruído, de acordo com o exposto no ponto 4 “Cálculo da população exposta a partir dos mapas estratégicos de ruído” do documento “Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído, Versão 3” de Dezembro 2011 da Agência Portuguesa do Ambiente. De notar, que ao atribuir toda a população residente num determinado edifício à fachada mais exposta, esta metodologia pode sobrestimar a quantidade de população de facto exposta ao ruído.

As medidas de redução de ruído foram selecionadas utilizando os critérios de eficácia técnica e de razoável custo associado, seguindo as boas práticas de Engenharia Acústica, no sentido de reduzir a extensão das curvas isofónicas e, como tal, a exposição das populações ao ruído. As medidas foram

desenhadas no sentido de não interferir com o funcionamento e operacionalidade da infraestrutura ferroviária.

As estratégias e medidas encontradas encontram-se hierarquizadas e a sua adoção é faseada no plano geral de intervenções, numa opção metodológica de desenvolvimento harmonioso, tendo em conta a diversidade de *stakeholders* envolvidos (Gestor da Infraestrutura, Operadores/Concessionários, Municípios, Tutela).

## 5. Envoltente acústica da Linha de Sintra

### 5.1. Análise acústica

A área envolvente da Linha de Sintra apresenta características de ocupação do solo marcadamente urbanas e suburbanas, com uma elevada densidade ocupacional e populacional ao longo de toda a envolvente da via-férrea, dominando extensamente as tipologias de edifícios multifamiliares.

Refira-se que grande parte do edificado existente na envolvente da via-férrea deste troço corresponde a edifícios de habitação e prédios em banda com alturas variáveis, característicos de uma malha urbana citadina e por vezes muito próximos da via-férrea.

Numa primeira zona, que vai de Sete Rios ao Monte Abraão, a isofónica dos 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e a isofónica dos 55 dB(A), para o indicador  $L_n$ , encontram-se bastante confinadas a uma faixa da ordem dos 80 a 100 metros. Este facto advém da presença de edificado e/ou barreiras acústicas já existentes em torno da via-férrea que originam graus variáveis de proteção acústica.

Aqui pode-se constatar e em termos aproximados que as isófonas já referidas dos 65 dB(A) e dos 55 dB(A) se encontram próximo dos edifícios habitacionais que se situam na vizinhança imediata da via-férrea. Portanto, genericamente, alguns edifícios ou se encontram expostos a níveis inferiores aos limites legais, ou, nalguns casos, os limites são ultrapassados de forma não acentuada. Obviamente, existem exceções identificadas em que os limites legais são largamente ultrapassados.

Na zona que se estende do Monte Abraão a Sintra, as mesmas isófonas espraiam-se numa faixa mais alargada, da ordem dos 100 a 200 metros de largura, e que em situações de campo livre pode alcançar uma largura de 350 metros. Nesta zona, a densidade de ocupação do solo e populacional é mais baixa do que na primeira zona, excetuando-se a área do Algueirão e de Sintra.

Nesta segunda zona, existem, portanto, menos edifícios a servir como efeito de écran à propagação sonora. Existem também menos barreiras acústicas implantadas (estas encontram-se principalmente junto às Estações de Rio de Mouro e Mercês) que ofereçam proteção acústica. Em muitos casos, as referidas linhas isofónicas podem-se estender vários metros para além dos primeiros edifícios habitacionais mais próximos da via-férrea. Isto significa que se verificam situações onde os valores limite de ruído são consideravelmente ultrapassados.

Finalmente, salienta-se que em toda a extensão da Linha de Sintra se verificam níveis sonoros de ruído elevados na sua proximidade. De facto, existem sempre vias de tráfego rodoviário com traçados muitas vezes paralelos à da Linha de Sintra na sua proximidade. Em alguns casos, trata-se de vias rodoviárias

com elevados fluxos de tráfego (e.g. Rua Conde de Almoester e Radial de Benfica, Av. Francisco Sá Carneiro no Monte Abraão, A9-CREL, etc.).

Estes importantes fluxos de tráfego rodoviário geram níveis sonoros bastante elevados nas suas proximidades. Deste modo, verifica-se uma significativa concorrência em termos de contribuições para o ruído ambiente global registado na envolvente da Linha de Sintra.

## 5.2. Medidas já implementadas e em curso

Observações e visitas técnicas bem como as informações recolhidas para esta linha permitiram identificar um conjunto de medidas de redução e controlo de ruído já implementadas na via e não contempladas nos MER, tais como:

- i) barreiras acústicas (painéis metálicos/transparentes),
- ii) revestimento de paredes com material absorvente sonoro, e
- iii) esmerilagem corretiva do desgaste ondulatório de carris, em vários troços (efetuada em 2018).

A tabela 2 resume estas medidas.

*Tabela 2. Medidas já implementadas na Linha de Sintra.*

Designação	início [pk]	fim [pk]	Extensão [m]	Altura [m]	Tratamento acústico de superfície	Sentido
<b>Barreira acústica</b>	13+435	13+800	365	3,0	Absorvente	Lado ascendente
<b>Barreira acústica</b>	13+755	13+990	235	3,0	Absorvente	Lado descendente
<b>Barreira acústica</b>	13+620	15+445	1825	4,0	Absorvente	Lado ascendente
<b>Barreira acústica</b>	14+815	15+050	235	4,0	Absorvente	Lado descendente
<b>Revestimento de Parede</b>	15+045	15+075	30	5,0	Absorvente	Lado descendente
<b>Revestimento de Parede</b>	15+165	15+375	210	5,0	Absorvente	Lado descendente
<b>Barreira acústica</b>	17+205	17+550	345	4,0	Absorvente	Lado ascendente
<b>Barreira acústica</b>	17+210	17+320	110	4,0	Absorvente	Lado descendente
<b>Barreira acústica</b>	17+380	18+510	1130	4,0	Absorvente	Lado descendente
<b>Barreira acústica</b>	17+650	18+510	860	4,0	Absorvente	Lado ascendente
<b>Esmerilagem da via</b>	Vários troços		18620	-	-	Ambos

### 5.3. Mapas de conflito

Foi solicitada a todas as Câmaras Municipais, cujas áreas territoriais sejam de algum modo percorridas pela GIF, informação relativa ao zonamento acústico do Município sob a sua responsabilidade, o que corresponde à classificação do território pela(s) autarquia(s) em função da sua sensibilidade ao ruído – zonas sensíveis ou zonas mistas ou, objetivamente, sem classificação acústica, na determinação regulamentar.

A tabela 3 resume a informação utilizada, de acordo com os dados disponibilizados pelas várias Câmaras Municipais.

Tabela 3. Classificação acústica da zona envolvente.

Câmara Municipal	Classificação acústica envolvente da Linha	$L_{den}$ dB(A) valor limite	$L_n$ dB(A) valor limite
LISBOA	Zona Mista	65	55
AMADORA	Zona Mista		
OEIRAS	Zona Mista		
SINTRA	Zona Mista		

Esta informação foi cruzada com a área geográfica da envolvente da Linha de Sintra, de modo a obter-se a informação relevante para o cálculo do respetivo mapa de conflitos. Foi, no entanto, tido em conta que, tratando-se de uma grande infraestrutura de transportes, qualquer que seja a classificação atribuída pelo município, os limites estabelecidos no RGR apontam para valores limite de 65 dB(A) para o indicador de ruído ambiente  $L_{den}$  e 55 dB(A) para o indicador  $L_n$  como valores limite para as áreas vizinhas (100 m) desta linha ferroviária.

A partir dos MER da Linha de Sintra procedeu-se à elaboração dos mapas de conflitos associados à classificação acústica territorial com base nas zonas sensíveis e mistas. Os mapas de conflitos permitem uma análise e quantificação cuidada dos desvios em relação aos limites legais e a elaboração de estratégias e intervenções com vista à sua minimização.

Os mapas de conflitos, para ambos os indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , são apresentados nas figuras 3 a 8. O código de cores utilizado em todas as figuras reflete a divisão entre os vários graus de conflito: 0 a 3 dB, 3 a 5 dB e superiores a 5 dB, providenciando uma visão global da hierarquização das intervenções.

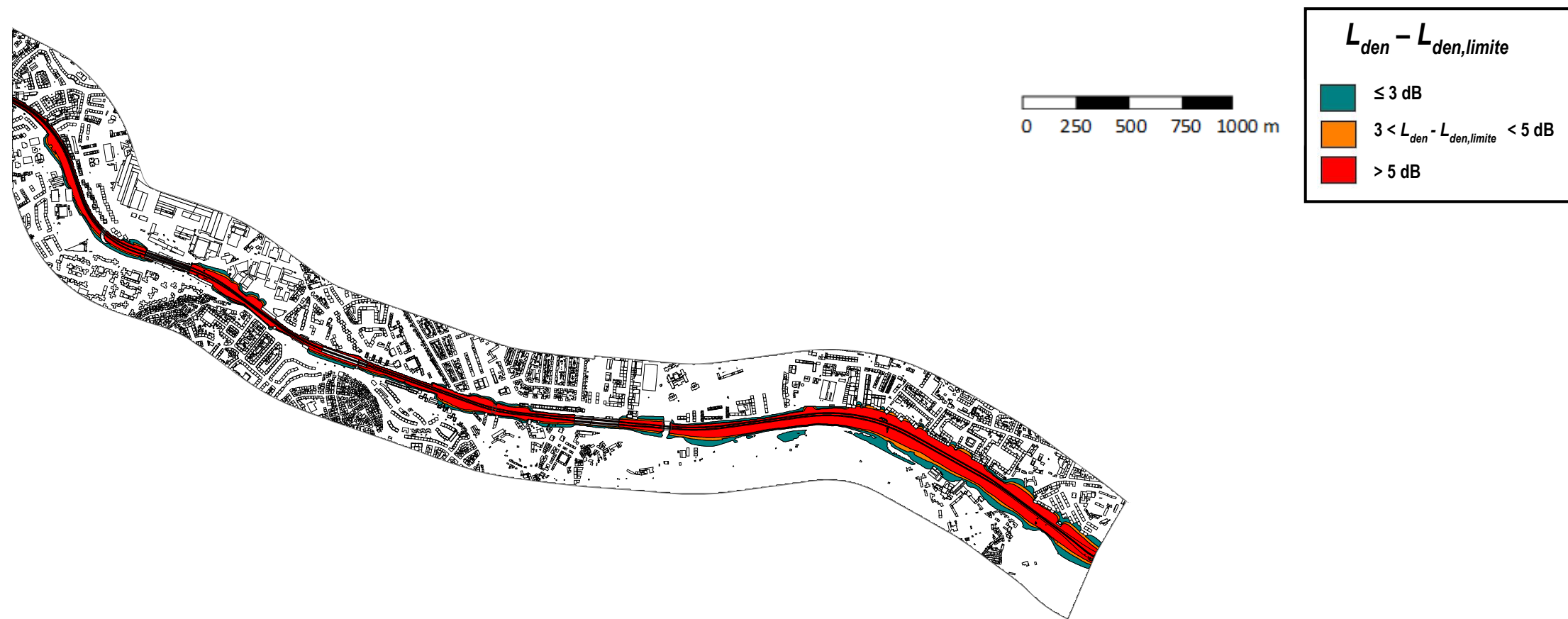


Figura 3. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Sintra (Concordância de Sete Rios – Reboleira) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_{den}$



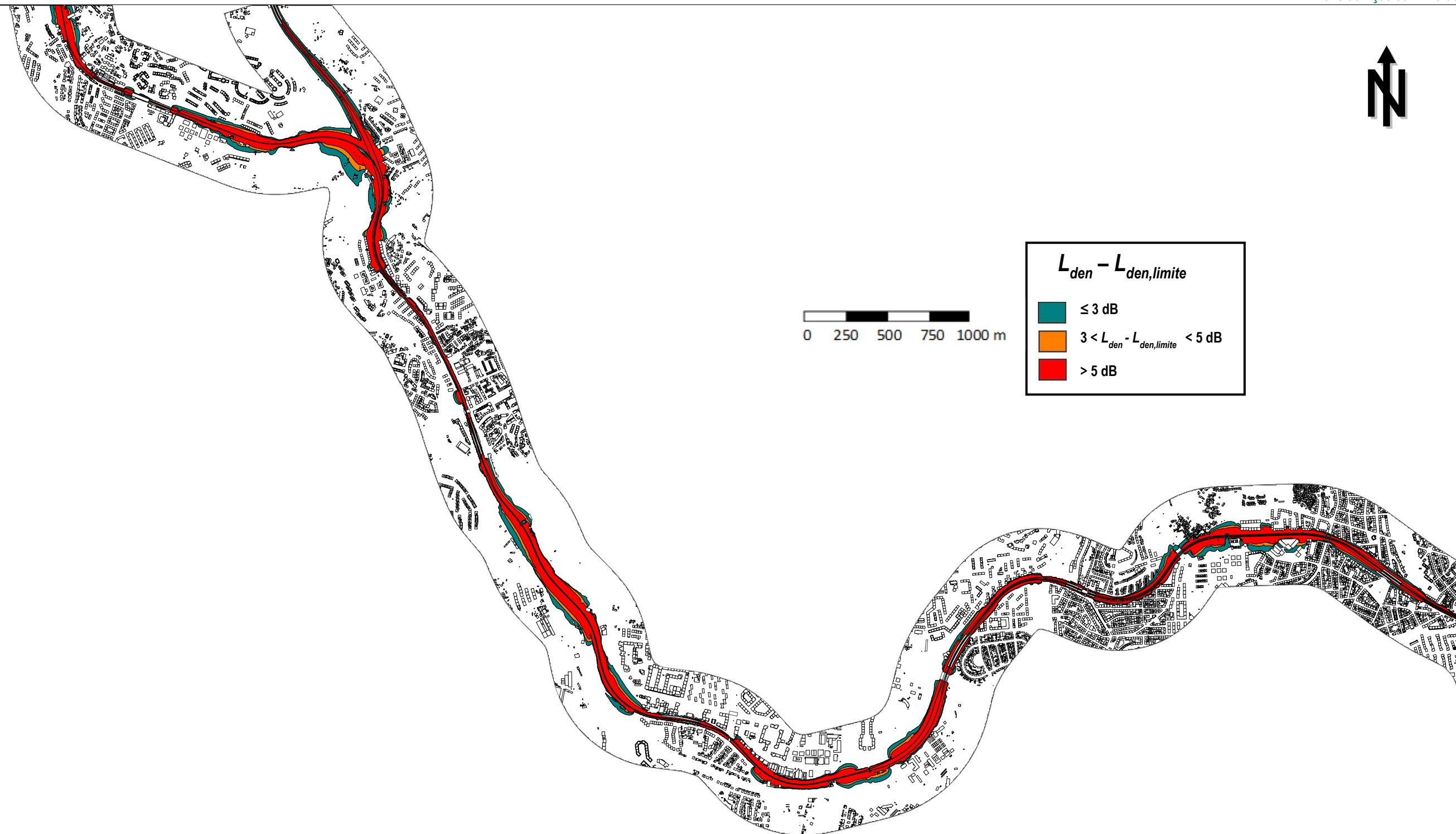


Figura 4. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Sintra (Reboleira/Amadora - Rio de Mouro) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_{den}$



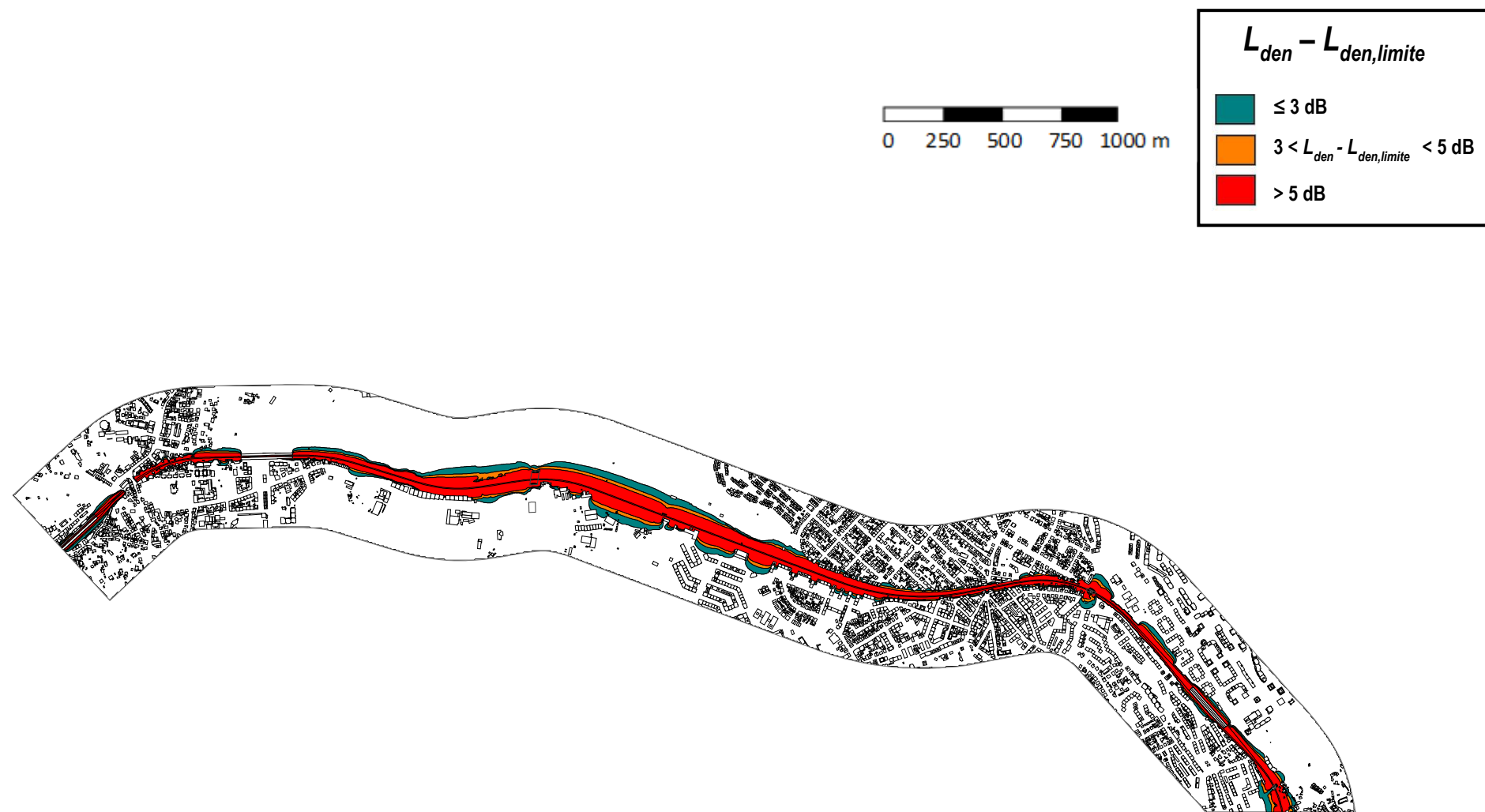


Figura 5. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Sintra (Rio de Mouro/Mercês - Sintra) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_{den}$



Figura 6. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Sintra (Concordância de Sete Rios - Reboleira) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_n$

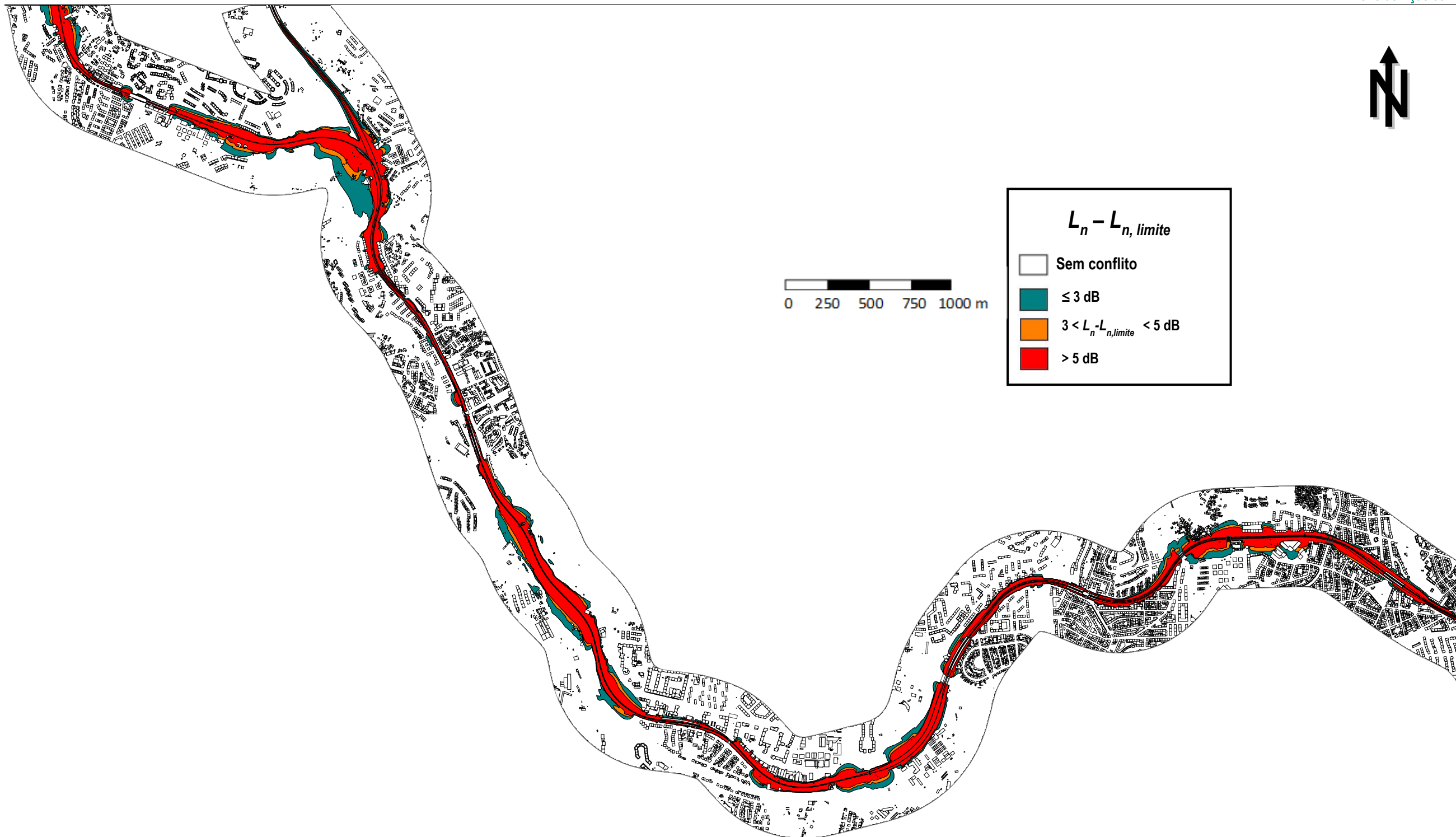


Figura 7. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Sintra (Reboleira/Amadora - Rio de Mouro) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_n$

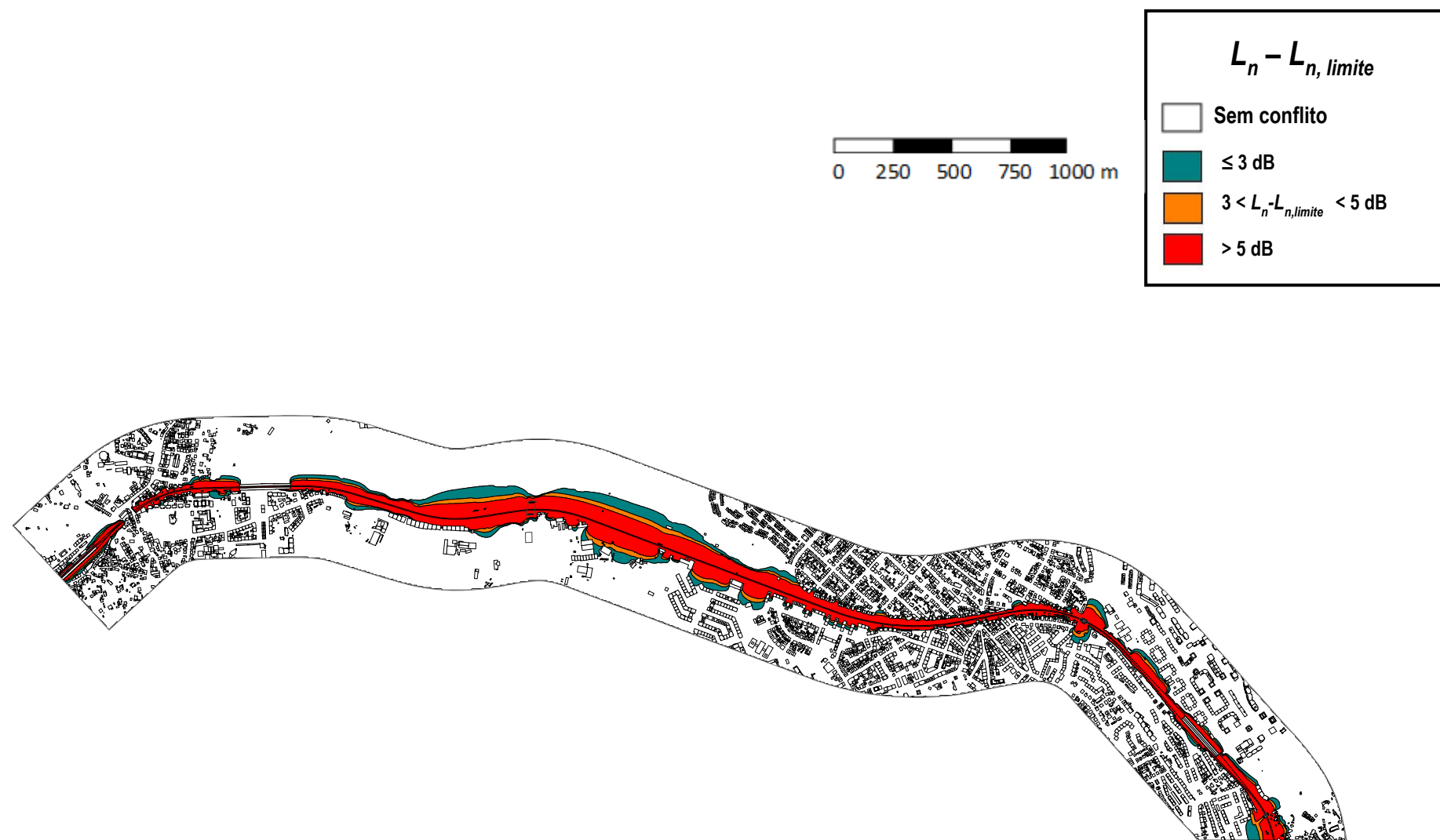


Figura 8. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Sintra (Rio de Mouro/Mercês - Sintra) e na classificação acústica territorial - Indicador  $L_n$

## 6. Zonas de intervenção

Numa análise global dos mapas de conflito, podemos verificar que as zonas em que se observam conflitos com os limites regulamentares abrangem várias áreas com grande densidade urbanística na envolvente muito próxima da linha (< 50 m), em grande parte da sua extensão, nomeadamente entre Benfica, Amadora, Queluz-Belas, Massamá-Barcarena e Algueirão-Mem Martins. Estas áreas contêm edifícios de habitação com diversas tipologias, principalmente prédios de apartamentos residenciais com um número de andares variável.

Uma análise mais detalhada das áreas em conflito permite identificar dezoito zonas na envolvente da Linha de Sintra e sobre as quais incide o presente PA. Estas zonas identificam áreas territoriais onde existe implantado edificado com uso sensível ao ruído (identificados como edifícios de habitação e edifícios escolares) e onde se observam conflitos com os limites regulamentares.

As diferentes zonas podem ser observadas esquematicamente nas figuras 9 a 11.

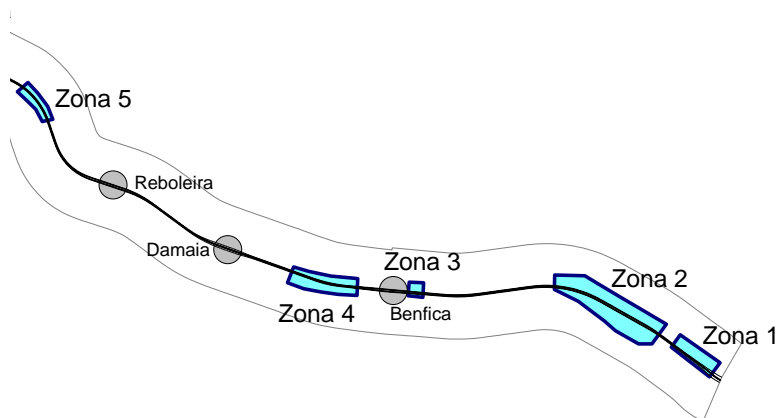


Figura 9. Troço Concordância de Sete Rios – Amadora. Zonas de intervenção que englobam edifícios expostos com uso sensível ao ruído.

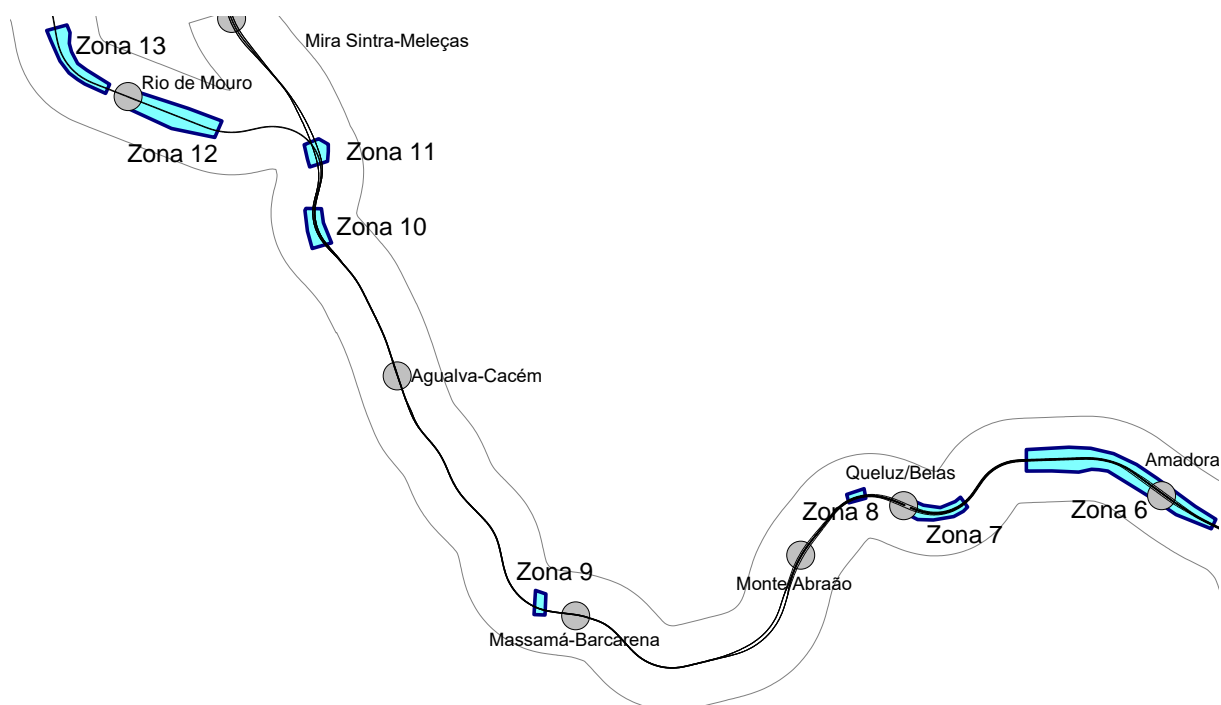


Figura 10. Troço Amadora – Rio de Mouro. Zonas de intervenção que englobam edifícios expostos com uso sensível ao ruído.

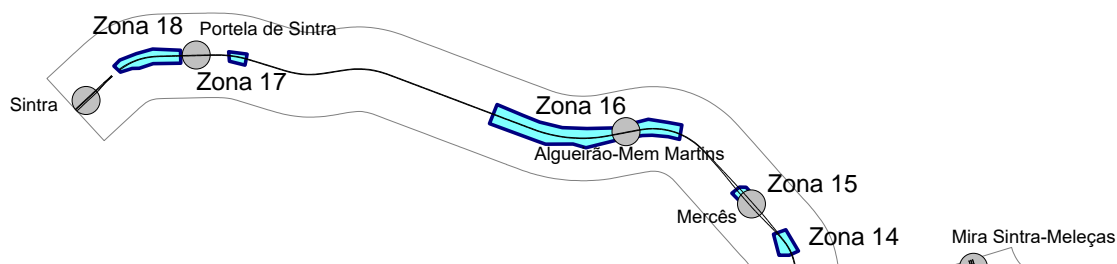


Figura 11. Troço Rio de Mouro – Sintra. Zonas de intervenção que englobam edifícios expostos com uso sensível ao ruído.

As zonas consideradas para intervenção encontram-se descritas na Tabela 4.

*Tabela 4. Zonas de intervenção na Linha de Sintra.*

<b>Zona</b>	<b>Município</b>	<b>Início (pk)</b>	<b>Fim (pk)</b>	<b>Localização recetores</b>
1	Lisboa	3+800	4+150	sentido descendente
2	Lisboa	4+270	5+100	predominantemente descendente
3	Lisboa	6+030	6+140	sentido descendente
4	Lisboa/Amadora	6+500	6+990	ambos os sentidos
5	Amadora	9+020	9+420	predominantemente descendente
6	Amadora	9+560	11+030	ambos os sentidos
7	Sintra	11+590	12+120	ambos os sentidos
8	Sintra	12+300	12+460	sentido descendente
9	Sintra	15+320	15+430	ambos os sentidos
10	Sintra	18+430	18+720	ambos os sentidos
11	Sintra	19+070	19+250	ambos os sentidos
12	Sintra	19+930	20+590	ambos os sentidos
13	Sintra	20+770	21+370	ambos os sentidos
14	Sintra	21+550	21+730	ambos os sentidos
15	Sintra	22+030	22+150	ambos os sentidos
16	Sintra	22+710	24+090	ambos os sentidos
17	Sintra	25+910	26+040	sentido ascendente
18	Sintra	26+390	26+850	ambos os sentidos

## 7. Ações para gestão e redução do ruído ferroviário

Podem ser definidas distintas tipologias de intervenções direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído de origem ferroviária. As ações consideradas para a boa gestão do ambiente sonoro podem ser do tipo (i) comunicação, sensibilização e participação pública, (ii) vigilância e monitorização, (iii) gestão de fontes emissoras de ruído e (iv) controlo e redução dos níveis sonoros de emissão ferroviária.

O plano de intervenções deve considerar uma combinação racional e integrada das diferentes tipologias de ações, numa perspetiva de abordagem equilibrada, conforme as boas práticas de engenharia acústica. De facto, a otimização, em termos técnicos e financeiros, passa pela adoção combinada de distintas estratégias e medidas permitindo benefícios acrescidos sem criar ruturas ou perceção de dificuldades por parte quer das populações (tanto utilizadores da GIF como dos espaços da envolvente da linha) quer dos operadores de transporte, sem incorrer em custos incomportáveis, sendo a análise operacional, técnica e económica parte fundamental da tomada de decisão das estratégias a adotar.

O ruído percebido num determinado recetor sensível pode ser minorado recorrendo a ações que atuem na fonte do ruído, no caminho da transmissão sonora (caso das barreiras acústicas) ou atuando no isolamento do edificado. No entanto, a redução de ruído na fonte é, em geral, mais eficaz por atuar diretamente na redução das emissões sendo que em termos económicos se revela também frequentemente mais favorável.

Por outro lado, a redução de ruído na fonte é uma ação complexa que implica um bom conhecimento dos mecanismos de geração sonora. Numa primeira aproximação é necessário identificar a fonte ou mecanismo dominante de geração de ruído, tendo em conta que o ruído total de uma composição ferroviária em movimento será, naturalmente, o somatório das contribuições das diversas fontes de ruído em presença.

De modo a minimizar o ruído nas áreas envolventes de circulação ferroviária, podem considerar-se diversas estratégias de intervenção de controlo de ruído, com destaque para intervenções em várias componentes do ruído total, conforme esquematizado na figura 12.



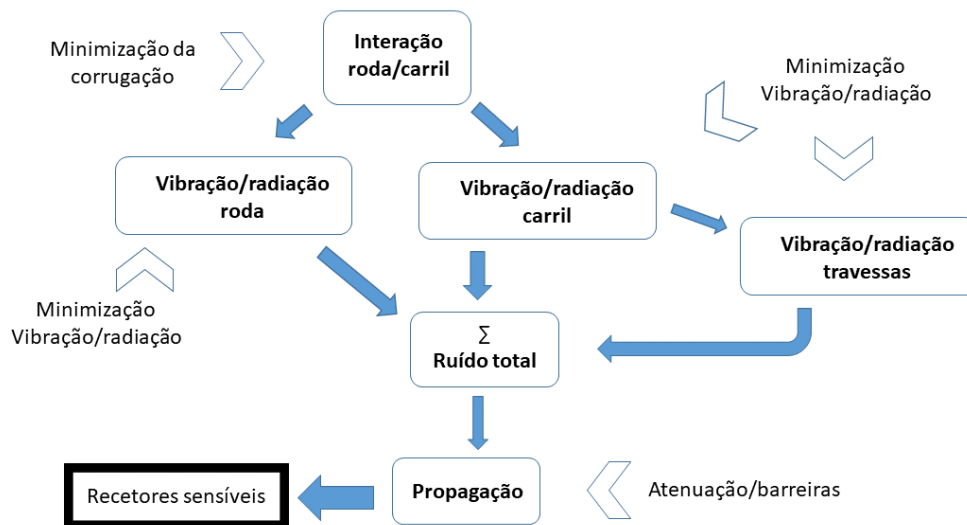


Figura 12. Componentes do ruído ferroviário e respetivas áreas de ação.

As soluções a adotar em cada caso são, naturalmente, função das situações e problemas concretos em presença, bem como dos objetivos a atingir. O sistema de propagação dos estímulos vibráteis do comboio é uma linha de transmissão complexa em que, quer a fonte (composição ferroviária), quer o transmissor (infraestrutura ferroviária, incluindo as travessas da linha), quer a carga (terreno em que se encontra instalada a linha ferroviária) desempenham um papel integrado.

As estratégias para a redução do ruído passam por criar perdas de transmissão no meio, tanto por introdução de uma determinada solução atenuadora no sistema roda-carril (em qualquer das suas componentes), como por introdução de barreiras acústicas, dispositivos de atenuação de ruído interpostos no percurso de transmissão entre o emissor (linha ferroviária) e o recetor.

Finalmente, podem ser equacionadas intervenções no próprio recetor o que, em geral, implica o reforço do isolamento da fachada do edifício em causa. No entanto, esta medida é de delicada implementação tanto mais que embora reduza os níveis sonoros no interior de um edifício específico, em nada contribui, em contraste com as outras estratégias mencionadas, para uma redução global e generalizada do ruído ferroviário. Esta solução é apenas considerada no leque de soluções últimas ou de recurso.

As principais metodologias e soluções de controlo de ruído com interesse e de potencial aplicação no âmbito do PA de uma GIF podem então incluir:

### **Interven es na linha**

- Renova o/beneficia o integral da ferrovia (RIV) com substitui o da superestrutura;
- Solu es para minimiza o da vibra o/radia o do carril
  - palmilhas/mantas resilientes;
  - Minimiza o da corruga o do carril por meio de esmerilagem ac stica;
  - atenuadores sintonizados/*tuned rail dampers* (que atenuam a intensidade da vibra o ao longo do carril, idealmente nas bandas de frequ ncias dominantes).
- Lubrifica o de via/modificadores de fric o (*curve squeal noise*);

### **Interven es no material circulante**

- O material circulante existente pode ser substituído por composi es renovadas/novas. Estas, em geral, apresentam substanciais redu es de emiss o de ruído, devido a melhoramentos a n vel das *bogies*, suspens es, freios e rodado.
- Minimiza o da corruga o das rodas por meio de esmerilagem;
- Modifica es no sistema de frenagem (cepos sint ticos K, L e LL ou sistema de discos);
- rodas perfuradas com an is de absor o;
- sistemas de absor o sintonizados;
- escudos de blindagem ac stica nas rodas;
- modificadores de fric o/lubrifica o embarcados (*curve squeal noise*).

### **Interven es no percurso de transmiss o sonora**

- Introdu o de barreiras ac sticas - dispositivos de atenua o de ruído interpostos no percurso de transmiss o. S o apenas eficazes para atenua o do mecanismo de transmiss o por via a rea. O valor da atenua o sonora induzida pela interposi o de uma determinada barreira ac stica   fun o n  s  das suas caracter sticas f sicas como da posi o relativa entre os elementos intervenientes fonte - barreira ac stica - recetor.

### **Manutenção/monitorização de medidas de minoração implementadas**

- Todas as medidas de minoração do ruído, tanto as já existentes ou a implementar decorrentes das propostas do presente PA, necessitam de um programa de verificação, monitorização e manutenção regular para garantir a conservação das suas características de perda de inserção ao longo da sua vida útil. As eventuais atividades corretivas de manutenção deverão ser calendarizadas e efetuadas, de modo a garantir a eficácia das medidas ao longo de todo o seu ciclo de vida.

### **Ações junto ao público**

- As medidas consideradas deverão ser contextualizadas numa visão global da gestão da incomodidade e perturbações sentidas pelas populações devido ao ruído ferroviário. Tal implica um planeamento de um conjunto de ações comunicacionais, de sensibilização e participação pública, que se destinam não só a gerir as emissões de ruído, mas igualmente a perceção do ruído pelas populações equacionada com as vantagens da vizinhança de uma infraestrutura de mobilidade de elevado valor para a vivência quotidiana.

A solução final otimizada revela-se, frequentemente, como resultante da combinação de diferentes alternativas combinadas. Através da acumulação de benefícios parcelares poderão conseguir-se benefícios significativos, a custos porventura razoáveis.

Algumas medidas terão um benefício a curto prazo, na medida em que os seus resultados se farão sentir quase imediatamente após a sua implementação, enquanto que a outras estarão associados benefícios que apenas serão quantificáveis a médio ou, mesmo, a longo prazo.

Como tal, é pertinente considerar um conjunto de ações de comunicação, sensibilização e até participação pública. Estas ações destinam-se não só a comunicar as medidas de minoração/gestão das emissões de ruído, a implementar pela gestora da linha férrea, mas igualmente a contextualizar a perceção do ruído pelas populações. Deste modo, a sensibilização das populações e a comunicação com elas assume um papel fundamental na perceção do ambiente sonoro. Não só as expectativas das populações têm de ser geridas pelos vários *stakeholders* envolvidos (Gestor da Infraestrutura, Operadores/Concessionários, Municípios, Tutela) como os cidadãos têm de entender que o ruído é parte integrante de um ambiente próximo de uma GIF, podendo ser entendido como um indicador da sua atividade e dinâmica económica, se adequadamente gerido.

## 8. Tipologia das soluções propostas

Para a consecução dos objetivos propostos no âmbito do presente PA, redução tanto quanto possível, tendencialmente eliminação, de conflitos com graus de desvio superiores a 3 dB, foram estudadas diversas soluções tendo sido ensaiadas diversas simulações de intervenções na linha. Privilegiaram-se, sempre que possível, as intervenções que atuem na redução de ruído na fonte (via / material circulante).

Neste PA, não foram consideradas, por questões de exequibilidade prática, operacional ou económica, ou por não se justificarem, outras medidas tais como a limitação de velocidades de circulação, alteração ao uso dos solos ou o reforço de isolamento sonoro de fachada.

Foi encarado um conjunto de intervenções diversas, em que as alterações no material circulante e ações diretas na via e/ou no percurso da transmissão sonora, constituem as medidas de controlo e redução de ruído:

- Modernização/renovação do material circulante (UQE 2300/2400),

com atuação adicional e pontual na via em casos identificados e justificados, introduzindo:

- Atenuadores sintonizados de carril (TRD),
- Barreiras acústicas.

Foi ainda considerada a execução de:

- Programa regular de esmerilagem da via de modo a minimizar o desgaste ondulatório do carril.

Estas medidas são de âmbito global/local.

As medidas de minoração sonora preconizadas são as que se afiguraram como mais exequíveis do ponto de vista prático, bem como económica e socialmente viáveis, encontrando-se também contempladas nas orientações estratégicas da IP em matéria de política de ambiente.

Para além destas medidas, o plano contempla, ainda

- (i) verificação e monitorização das medidas existentes e a implementar,
- (ii) manutenção de soluções de redução de ruído, conforme apropriado, e

(iii) comunicação com o público em geral e com os *stakeholders*.

As medidas propostas encontram-se detalhadas de seguida.

### ***Intervenção no material circulante: modernização/renovação***

O grande potencial na redução dos níveis de ruído ferroviário reside na redução do ruído ao nível da fonte, pelo que uma intervenção em grande escala no material circulante é um dos componentes que se afiguram como óbvios, se viáveis, desta estratégia. Tal implica uma renovação profunda do material circulante (interior e exterior) ou até uma substituição do material circulante atual por novas composições.

O material circulante novo, em geral, apresenta substanciais reduções de emissão de ruído, devido a melhoramentos a nível das *bogies*, suspensões, freios e rodado, com uma consequente melhoria do conforto dos passageiros.

No caso da Linha de Sintra, a modernização/renovação da Série UQE 2300/2400 integrará os planos do operador CP e consiste numa intervenção muito profunda no material (tecnicamente, de nível R2), visando a reposição do potencial de vida das composições. Esta intervenção incluirá a verificação e reparação, quer da caixa do veículo (estrutura e interiores), quer dos elementos rotáveis (*bogies* e seus componentes, rodados, compressores, motores de tração, etc.), bem como outros equipamentos, tais como o sistema de frenagem.

Como tal, os benefícios da modernização/renovação da Série UQE 2300/2400 são potencialmente significativos, no que respeita à redução do nível de ruído ferroviário gerado pela operação da Linha de Sintra.

Uma análise dos resultados de extensas campanhas de medição e caracterização do material circulante nas vias férreas geridas pela IP, efetuadas de modo a adaptar o método de cálculo de ruído ferroviário RMR96/SRMII ao material circulante português (Alarcão D., Bento Coelho J. L., 2008 e 2009) permite comparar os níveis sonoros gerados pela circulação de composições ferroviárias como se mostra no gráfico da figura 13, no qual foi apenas considerado material circulante que efetua serviço de passageiros. Para efeitos comparativos, a velocidade das composições foi normalizada a 90 km/h (velocidade máxima das UTE/UQE 3150/3250), a distância à via considerada foi de 7,5 metros, em troços com carris de barra longa soldada. O material circulante UME 3400, em serviço desde 2002 na Área Metropolitana do Porto, foi considerado como “referência” em termos de emissões de ruído aéreo na

medida em que exibe valores mais baixos, sendo o restante material circulante, atualmente ao serviço de passageiros, comparado com aquela referência.

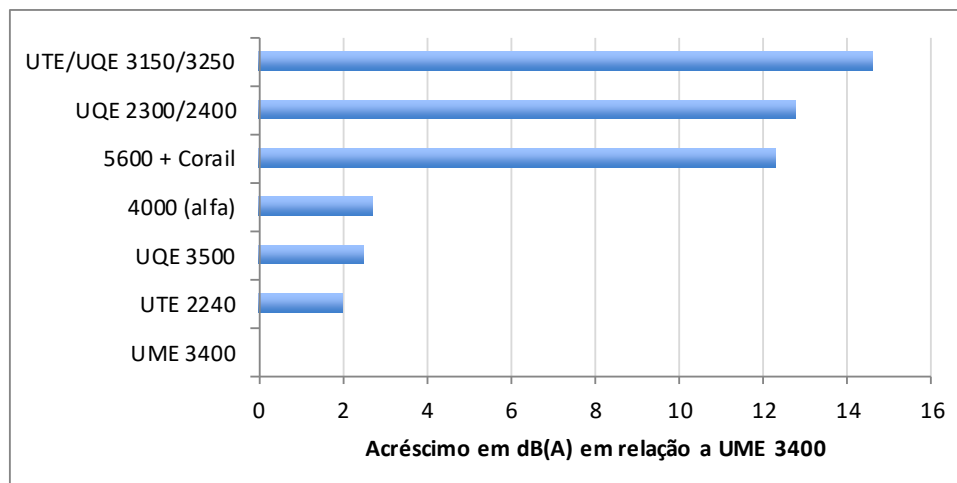
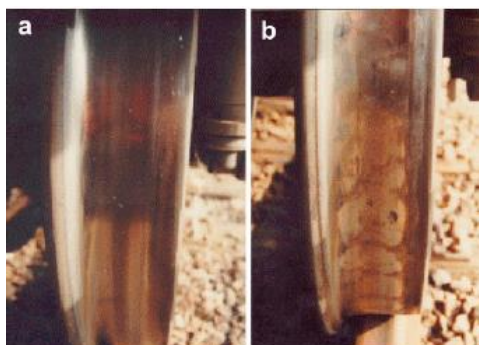


Figura 13. Gráfico ilustrativo dos acréscimos relativos, em termos de emissão de ruído aéreo, do material circulante de passageiros.

O gráfico da figura 13 ilustra a diversidade do material circulante atual, em termos de emissões de ruído aéreo, em dois grupos com magnitudes distintas em relação à “referência” UME 3400. Os acréscimos nos níveis emitidos de ruído correlacionam-se com características específicas do material circulante, nomeadamente o sistema de frenagem (discos vs. cepos).

De facto, no caso dos sistemas de frenagem que atuam na roda (cepos), observa-se o desenvolvimento de corrugação na superfície de contacto das rodas. A corrugação deve-se a vários fenómenos de transferência termoelástica, e tal faz com que os níveis de ruído de rolamento de composições com frenagem de cepos sejam superiores às das composições com frenagem de disco. Os acréscimos são tipicamente da ordem dos 10 dB(A), o que é confirmado no gráfico da figura anterior. Estes factos encontram-se estabelecidos desde 1980 (Thompson, 2009).

Na figura 14 (Thompson, 2009), pode ser observado o efeito de corrugação sobre a superfície de contacto da roda devido ao sistema de frenagem com cepos (b). O sistema de frenagem de discos mantém a superfície de contacto sem corrugação visível (a).



*Figura 14. Superfície de rolamento de roda com (a) sistema de frenagem de discos, (b) sistema de frenagem de cepos atuantes no rodado.*

Sendo o nível do ruído de rolamento diretamente dependente do estado da roda e do carril, as reduções em termos de emissões sonoras são função direta da tipologia do sistema de frenagem das composições e do grau de desgaste ondulatorio apresentado pelo carril.

As UME 3400, UTE 2240 e Série 4000 (Alfa) apresentam um sistema de frenagem exclusivamente de discos, o qual não atuando na mesa de rolamento da roda, previne efeitos de corrugação/degaste ondulatorio nesta, com benefícios notórios no que respeita ao nível de ruído de rolamento. As UQE 3500 têm um sistema de frenagem electro-pneumático de discos e cepos sintéticos. As composições da série 3150/3250 ao serviço na Linha de Cascais apresentam um sistema de frenagem 100% de cepos, enquanto a série 2300/2400 apresenta uma mistura de 50% discos e cepos, que atuam diretamente na roda, com conseqüente desgaste e corrugação da roda. Utilizadas no serviço Intercidades, as locomotivas da série 5600 também utilizam um sistema de frenagem 100% cepos, sendo que as carruagens CORAIL/Sorefame têm um sistema combinado de discos e cepos nas rodas. Tal reflete-se num maior nível de ruído emitido por estas composições em relação às composições “referência” UME 3400.

A modernização/renovação do material circulante na Linha de Sintra (séries UQE 2300/2400) oferecerá, assim, reduções significativas, não só no que respeita à redução do nível de ruído ferroviário gerado pela operação da linha, mas também melhorias no conforto e comodidade dos passageiros. Podem admitir-se benefícios (ou seja, reduções) realistas, nas emissões de ruído aéreo, da ordem de pelo menos 5 a 6 dB(A). Estes valores são suportados pelos valores de emissão constantes do modelo de ruído de tráfego holandês SRMII/RMR96, através da substituição de comboios da categoria 2 (UQE 2300/2400) por comboios da categoria 8 (UME 3400) (Alarcão, D., Bento Coelho, J. L., 2008, 2009).

Ambos os componentes responsáveis pelo ruído de rolamento (carril e roda) devem ser devidamente controlados em termos da corrugação, pelo que há que manter em bom estado os rodados do material circulante. Um método que pode ser aplicado é a troca de freios de cepo de ferro fundido por freios de cepos de material compósito, com coeficientes de fricção alto (K), baixo, (L) e muito baixo (LL). Assim, existem freios de cepos LL que são expressamente desenvolvidos para comboios de passageiros e que permitem frenagens com reduzida corrugação do rodado. Neste caso, admitem-se reduções em relação a rodas atuadas por freios de cepo em ferro fundido (CI), que podem chegar aos 8 dB(A) (Thompson, 2009).

Tal pode ser observado, a título ilustrativo, na figura 15, a qual apresenta resultados previsionais dos diferentes níveis de ruído de rolamento emitidos por composições ferroviárias em função do tipo de frenagem, a partir do método previsionais de ruído ferroviário CNOSSOS (2012). Para esta simulação, considerou-se um carril com manutenção regular e corrugação típica, combinados com rodas pertencentes a composições com frenagem por cepos de ferro fundido, cepos compósitos (L ou LL) e discos. A distância à via considerada foi de 7,5 m e a velocidade das composições normalizada a 80 km/h.

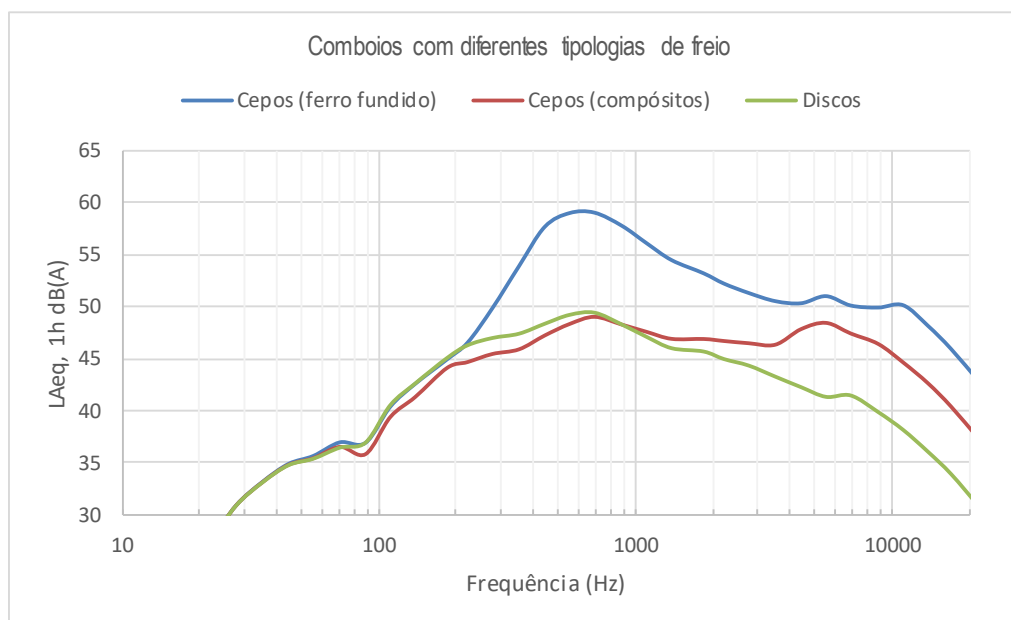


Figura 15. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversas tipologias de freios dos comboios (CNOSSOS, 2012).

Os valores totais obtidos para o ruído de rolamento das composições (a 7,5 m) são de 67 dB(A), para o sistema de frenagem por cepos de ferro fundido, 60 dB(A) para o sistema de frenagem por cepos



compósitos e 59 dB(A) para o sistema de frenagem por discos. As reduções, em relação a rodas atuadas por freios de cepo em ferro fundido, são da ordem dos 7 a 8 dB. Note-se, no entanto, que estes valores assumem um carril em bom estado, isto é, com uma magnitude de corrugação/desgaste ondulatório reduzida e uma manutenção regular por meio de esmerilagem. Caso o carril apresente magnitudes de corrugação/desgaste ondulatório mais elevadas, a utilização de sistemas de frenagem por discos ou cepos sintéticos não oferece valores de redução, em termos de ruído aéreo emitido, tão significativos podendo-se assumir ganhos marginais, inferiores a 3 dB (Thompson, 2009).

No âmbito da intervenção de nível R2 no material circulante UQE 2300/2400, a cargo do operador CP, a renovação do sistema de frenagem das composições, por substituição do material dos cepos, ao minimizar a corrugação/desgaste ondulatório quer da roda quer do carril, pode, deste modo, trazer benefícios em termos da redução do ruído total emitido pelas atuais composições, mas tal nível de redução dependerá fortemente da magnitude do desgaste ondulatório da cabeça dos carris.

Admitem-se benefícios (ou seja, reduções) realistas, nas emissões de ruído aéreo, da ordem dos 6 dB(A). No entanto, estes ganhos em termos de redução de ruído devidos à renovação (substituição de cepos) do material circulante UQE 2300/2400, que circula atualmente pela Linha de Sintra, são contingentes à sua efetiva aplicação na totalidade da frota de material circulante.

### ***Intervenção na linha: atenuadores sintonizados de carril (Tuned Rail Dampers)***

O carril comporta-se como uma barra vibrante (barra “infinita”), apresentando modos de oscilação verticais e horizontais. O decaimento da magnitude dos modos vibratórios induzidos no carril é quantificado pela medição do *track decay rate* do carril em questão, valor que varia com a frequência, expresso em dB/m e medido de acordo com a norma ISO EN-3095.

O decaimento/amortecimento do carril e o grau de acoplamento travessas/carril, determinam a intensidade das vibrações do carril. Estas serão menores num sistema mais rígido, enquanto um sistema com palmilhas/fixadores mais resilientes permite maior intensidade de vibração do carril e, por consequência, maiores emissões sonoras por condução aérea. Na prática, são utilizadas palmilhas de rigidez média, pelo que para minimizar as emissões sonoras devido à vibração do carril, recorre-se a atenuadores sintonizados de carril.

Os atenuadores sintonizados de carril (TRD) são sistemas massa-mola, desenhados de modo a atenuarem a amplitude dos modos de vibração do carril, dissipando energia em determinadas bandas

de frequência e como tal reduzindo a emissão sonora resultante das vibrações induzidas no carril. Tal corresponde a um aumento do amortecimento, ou seja, do valor do *Track Decay Rate* do carril. Um aumento para o dobro do *Track Decay Rate* corresponde a uma diminuição em 3 dB do ruído de condução aérea emitido pelo carril.

A Figura 16 ilustra o desempenho deste tipo de solução, ao comparar a emissão sonora (medições a três metros de distância) de um carril não tratado com um carril equipado com TRD (Thompson, 2009).

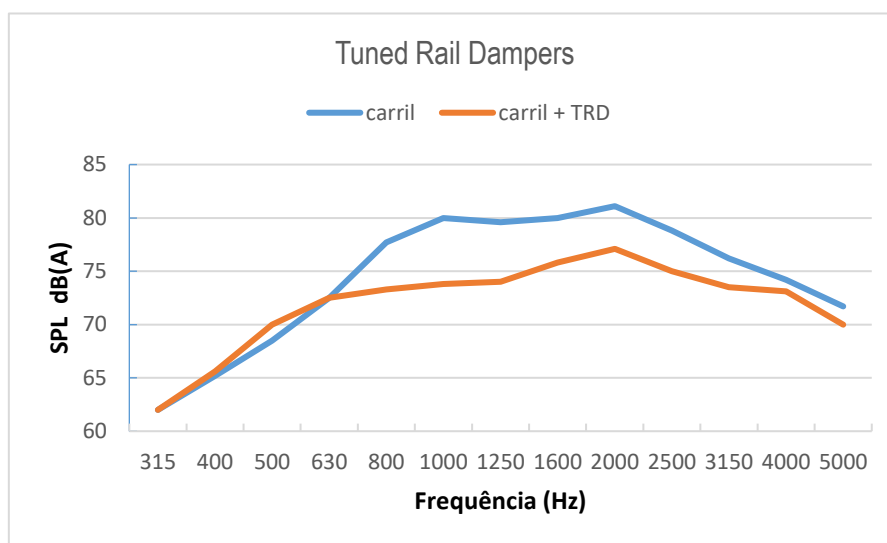


Figura 16. Desempenho de um carril com TRD em relação a um carril não tratado. Atenuação total de 3,8 dB(A).

Na figura 17 podemos observar várias propostas de construtores que seguem o mesmo princípio básico: uma massa rodeada de um elastómero, cujo conjunto é aplicado ao carril.



Figura 17. Atenuadores sintonizados de carril (TRD); esq. TATA/Corus, centro Schrey & Veit, direita STRAILastic\_A.

Os benefícios resultantes da implementação de atenuadores sintonizados nos carris apresentam ganhos variáveis de 3 a 4 dB(A). Os custos da implementação desta tipologia de solução podem considerar-se

como razoáveis. Estes valores são suportados por diversos estudos publicados (Thompson, 2008, 2009, 2014; Scossa-Romano, 2012; Dimitriu, 2017).

No presente trabalho, foi adotado um valor conservativo de 3 dB(A) para o ganho de redução de ruído.

Esta solução foi preconizada em troços da linha identificados de acordo com as necessidades locais de atenuação dos níveis sonoros nos recetores sensíveis.

### ***Intervenção na linha: esmerilagem do carril***

Sob a ação das cargas dinâmicas das várias composições ferroviárias, a cabeça do carril desenvolve vários tipos de desgaste, um dos quais, o desgaste ondulatorio ou corrugação, é maioritariamente responsável (juntamente com a corrugação da roda) pelo ruído de rolamento emitido.

A metalurgia do carril, dinâmica da via, *mix* de velocidades, cargas dinâmicas e forças de tração, todas parecem ter um efeito no aparecimento do fenómeno de corrugação. Não é realista monitorizar todas estas influências pelo que, a monitorização é efetuada por métodos indiretos (acústicos) e diretos (ao longo da cabeça do carril com equipamento especializado).

A esmerilagem preventiva/corretiva da via-férrea, a ser efetuada de um modo regular, é considerada como uma boa prática de manutenção, permitindo um bom contacto entre a roda/carril e impedindo o agravamento dos defeitos do carril que inevitavelmente decorrem da utilização normal e regular de uma via-férrea.



*Figura 18. Esmerilagem de carris (fonte: [www.fergrupo.pt](http://www.fergrupo.pt)).*

A esmerilagem acústica, com menores tolerâncias do que uma esmerilagem corretiva “normal”, é efetuada com um sistema embarcado de discos rotativos e acabamento com esmeril de banda contínua, a baixa velocidade (< 15 km/h).

A corrugação cresce no tempo e torna-se necessário uma planificação de ação regular de esmerilagem, como é sugerido na figura 19.

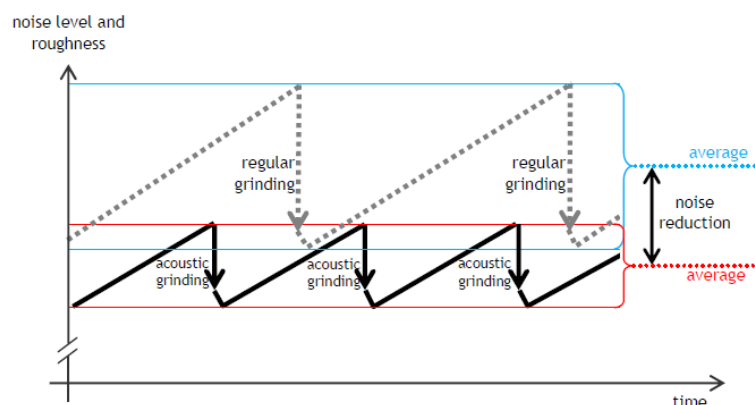


Figura 19. Efeito da esmerilagem de manutenção e da esmerilagem acústica em função do tempo (fonte UIC).

A experiência dos Gestores de Infraestrutura SBB (Suíça) (Scossa-Romano, E., Oertli, J., 2012) e NS (Países Baixos) (Dings, P. C., Dittrich, M. G., 1996), sugere que:

- O efeito máximo de redução do ruído emitido pelo sistema roda/carril proporcionado pela esmerilagem acústica mantém-se durante cerca de quatro semanas. A corrugação aumenta ao longo do tempo com a normal utilização da via.
- Para manter os carris com o mínimo de corrugação/desgaste ondulatório, são recomendados intervalos entre 2 a 4 anos para ações de esmerilagem, dependendo do mix de material circulante e velocidades praticadas.

Assim, em caso de esmerilagem de carril que apresente um elevado grau de desgaste ondulatório/corrugação, são admitidas reduções da ordem dos 15 a 10 dB(A) com a utilização de composições com frenagem exclusivamente de discos. Para composições com frenagem com cepos sintéticos L ou LL, os ganhos são da ordem dos 10 a 5 dB(A). Finalmente, para composições com frenagem efetuada por cepos normais, a ação de esmerilagem não é tão eficaz, podendo-se assumir ganhos da ordem dos 3 dB(A) ou inferiores.

Note-se que as dimensões do desgaste ondulatorio/corrugação relevantes para o ruído de rolamento são da ordem dos 5 aos 500 mm. Corrugação de nível inferior, apelidada de micro-corrugação, é importante para a própria aderência do sistema roda-carril (Thompson, 2009). A existência de corrugação de magnitude apreciável na cabeça do carril, negará o efeito, em termos de emissões sonoras, de um sistema de frenagem por discos, o qual ao não atuar na superfície de contacto da roda, mantém-na em bom estado. De facto, a combinação de uma roda apresentando baixa corrugação, na sua superfície de contacto, com um carril com elevada magnitude de corrugação pode majorar em cerca de 7 dB as emissões sonoras do sistema roda/carril. Isto em comparação com a situação em que ambos (superfície de contato da roda e cabeça do carril) apresentem valores de corrugação reduzidos (Thompson, 2009).

Tal pode ser observado, a título ilustrativo, na figura 20, a qual apresenta resultados previsionais dos diferentes níveis de ruído de rolamento emitidos por composições ferroviárias com frenagem de discos, mas em função do grau de desgaste ondulatorio da cabeça do carril, a partir do método previsionial de ruído ferroviário CNOSSOS (2012). Para esta simulação, consideraram-se dois carris representativos de duas situações: carril com manutenção regular e magnitude de corrugação pouco elevada e carril apresentando uma magnitude de corrugação elevada e com pouca manutenção. Ambos são combinados com rodas pertencentes a composições com frenagem por discos. A distância à via considerada foi de 7,5 m e a velocidade das composições normalizada a 120 km/h.

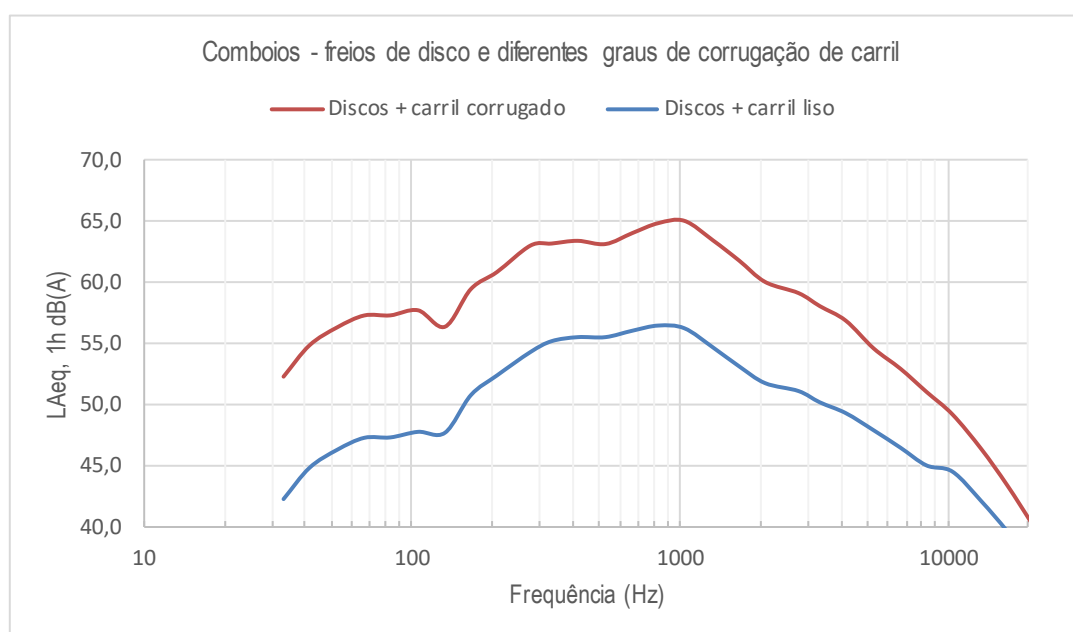


Figura 20. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversos graus de corrugação do carril (CNOSSOS, 2012).

Os valores totais obtidos para o ruído de rolamento das composições (a 7,5 m) são de 74 dB(A), para o sistema de frenagem por discos, com carril apresentando elevada magnitude de corrugação e 66 dB(A) para o sistema de frenagem por discos, mas com carril apresentando baixa magnitude de corrugação. As diferenças estimadas pelo modelo são da ordem dos 7 a 8 dB.

Os benefícios (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, encontram-se bem estabelecidos e confirmados (Thompson, 2008, 2009, 2014; Grassie, 2012; Scossa-Romano, 2012; Tumavice, 2017).

A magnitude da corrugação aumenta no tempo devido à utilização normal da via. Visto existir uma correlação direta entre a magnitude do desgaste ondulatorio e os níveis sonoros emitidos pelo conjunto roda/carril, as ações de esmerilagem corretiva do desgaste ondulatorio de carris deveriam ser efetuadas com alguma regularidade e inseridas em programas de manutenção das medidas de minoração.

Tal garantiria os benefícios oferecidos por este tipo de intervenção, em termos de redução do ruído de rolamento. Esta ação de manutenção periódica é sugerida para a totalidade da extensão da Linha de Sintra.

### ***Intervenções no percurso de transmissão sonora: sistemas de barreiras acústicas***

O valor da atenuação sonora resultante da interposição de uma determinada barreira acústica é função não só das suas características físicas como da posição relativa entre os elementos intervenientes fonte - barreira acústica - recetor. Estas soluções podem permitir reduções significativas nos níveis sonoros do ruído global percebido junto dos recetores situados nas suas zonas de sombra, geralmente com um limite prático de até cerca de 15 dB(A). Podem, no entanto, apresentar importantes impactes negativos a nível visual e paisagístico.

Existem várias barreiras acústicas implementadas ao longo da Linha de Sintra - algumas já contempladas nos MER e outras de instalação posterior. Estas barreiras reduzem, com eficácia variável, os níveis de ruído emitidos pela circulação ferroviária nesta Linha.

Na figura 21 podemos observar barreiras acústicas absorventes já existentes, em ambos os sentidos, na zona da Estação de Amadora. O edificado que se pode observar na envolvente da linha é característico de grande parte da envolvente desta linha, apresentando um grande desenvolvimento vertical (vários pisos) e situando-se muito próximo do traçado da via-férrea.



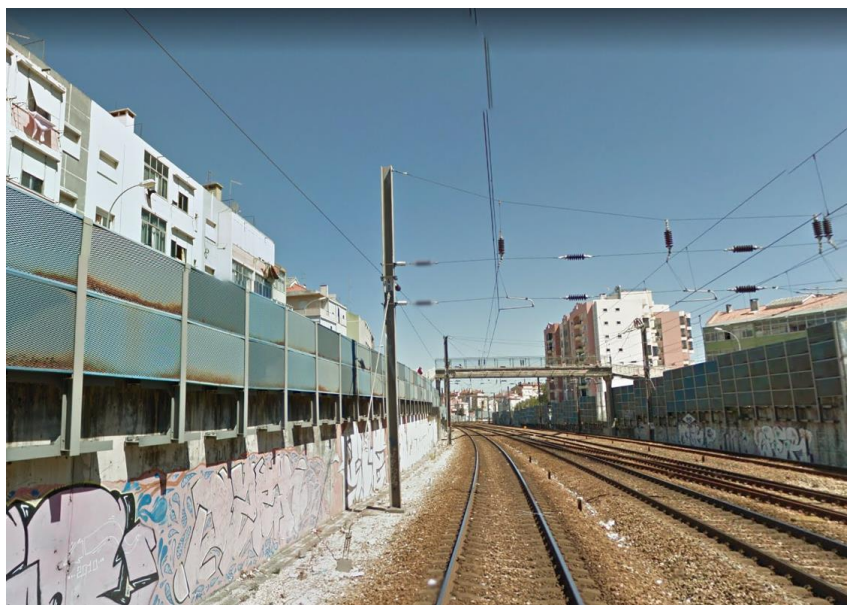


Figura 21. Barreiras acústicas já existentes na zona da Estação de Amadora (fonte: google).

Na figura 22 seguinte podemos observar barreiras acústicas absorventes na zona da Estação de Massamá-Barcarena, instaladas posteriormente à elaboração dos MER da Linha de Sintra e onde novamente o edificado existente, constituído por edifícios de habitação com vários pisos, se encontra posicionada muito próximo da via-férrea.

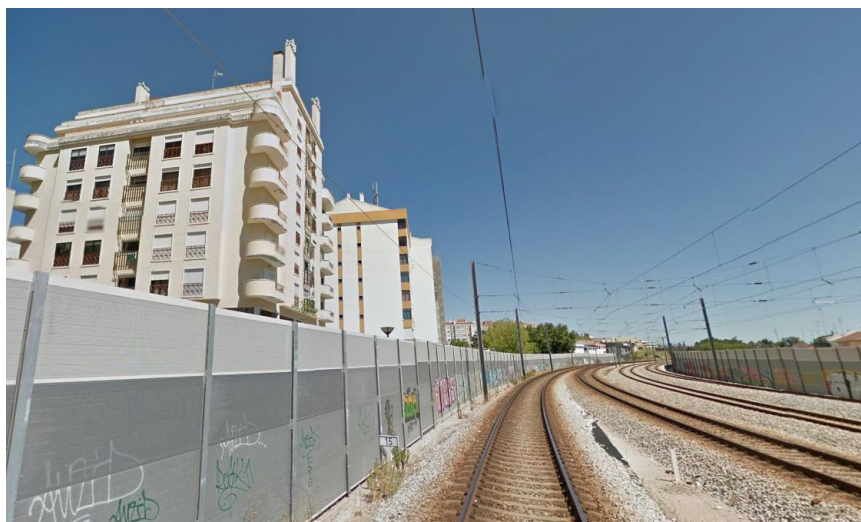


Figura 22. Barreiras acústicas já implementadas na zona de Massamá-Barcarena (fonte: google).

Daqui resultam geometrias complexas entre emissor e recetor, o que pode ter implicações negativas na eficácia, em termos de atenuação dos níveis sonoros, deste tipo de solução. Outro exemplo desta situação é exemplificado na figura 23, onde se pode observar uma barreira já existente na área da estação de Rio de Mouro, mas que, mesmo visualmente, se revela insuficiente para a proteção sonora

do edificado próximo. No entanto, a proteção da população é garantida pela ação combinada das outras medidas preconizadas nesta seção.



Figura 23. Barreira acústica existente na zona da estação de Rio de Mouro (fonte: google).

Como tal, a eficácia das barreiras acústicas pode ser muito variável, dependendo fortemente da geometria em causa e do local de implantação, apresentando reduções variáveis em termos de atenuação sonoras, em função das características e necessidades de projeto. A relação eficácia-custo varia de caso para caso.

Esta solução é aplicada na Linha de Sintra em função com as necessidades locais de atenuação dos níveis sonoros nos recetores sensíveis.

### **Outras ações e intervenções**

Finalmente, deverão ser consideradas medidas que se revelam importantes, a médio e longo prazo, para a eficácia real e percebida das mesmas, tal como a elaboração e execução de programas regulares de manutenção/monitorização das medidas de minoração implementadas (e a implementar) e de ações a desenvolver junto ao público, de modo a promover a *goodwill*.

Os programas de verificação, monitorização e manutenção das medidas de controlo de ruído permitirão mantê-las em bom estado de funcionamento e garantir a manutenção dos graus de perda de inserção



projetados. As ações de verificação justificam-se pela exposição das medidas às grandes variações de cargas dinâmicas e às condições meteorológicas exteriores em cada local.

O programa aplicado às barreiras acústicas deverá verificar a consistência da sua instalação, nomeadamente os seus pontos fracos em termos de isolamento sonoro como sejam as junções dos painéis com perfis de suporte ou entre painéis (se se tratar de barreira modular de painéis). Estas juntas são normalmente equipadas com materiais do tipo *neoprene* que se degradam com o tempo e com a exposição aos elementos atmosféricos. Tal degradação pode criar pontes fónicas que irão comprometer seriamente os valores de atenuação sonora que foram projetados. Esta ação de monitorização revestirá a forma de visita técnica e observação e análise pericial no sentido de verificar as juntas e identificar eventuais aberturas bem como painéis que possam necessitar de ser substituídos. A ação não tem de incluir quaisquer ensaios de acústica. Dado o alargado tempo de vida previsto para este tipo de solução (nunca inferior a 15-20 anos) julga-se suficiente a implementação do programa em cada ciclo de cinco anos.

No caso dos atenuadores de carril (TRD) deve ser previsto um programa anual de verificação e manutenção.

As ações comunicacionais podem incluir (i) a comunicação direta com o público em geral, não só para informar sobre intervenções na via relevantes para a minoração do ruído, mas também para gerir eventuais queixas e reclamações sobre o ruído, e (ii) a manutenção da circulação de informação entre os vários *stakeholders* (operadores, câmaras, público).

A Tabela 5 apresenta um resumo das tipologias de medidas e soluções propostas e dos correspondentes graus de eficácia esperados.

De notar que os valores de eficácia esperados são adicionados (cumulativamente) em termos de energia, a qual é quantificada por níveis (de forma logarítmica, em dB), pelo que os benefícios parcelares não podem genericamente ser adicionados de forma linear.

*Tabela 5. Tipologia e eficácia das medidas propostas.*

Soluções	Grupo	Intervenção	Medida de redução de ruído	Eficácia esperada
<b>Métodos diretos</b>	Na fonte	Linha	Atenuadores sintonizados do carril (TRD)	Até 3 dB(A)
			Esmerilagem acústica: (carril com manutenção regular)	Até 5 dB(A)
		Material circulante	Modernização/renovação do material circulante (UQE 2300/2400)	Até 6 dB(A)
	No percurso da transmissão sonora (aérea)	-	Barreiras acústicas	Limite prático: cerca de 15 dB(A)
<b>Métodos indiretos</b>	-	Verificação/ Monitorização de medidas Manutenção dos TRD	-	-
	Gestão de incomodidade	Comunicação com o público Informação de ações desenvolvidas	-	-

Constituindo-se o presente PA como um estudo de viabilidade de soluções minoradoras de ruído, as especificações das várias intervenções e medidas propostas (por ex. extensão, altura das barreiras acústicas) são meramente indicativas, devendo as respetivas soluções técnicas ser alvo de projeto de execução, em sede do qual serão devidamente otimizadas e detalhadas.

## 9. Redução do ruído: intervenções e medidas

### 9.1 Soluções técnicas

Na Tabela 6 são apresentadas as medidas de controlo e de redução do ruído preconizadas para as zonas de intervenção do PA da Linha de Sintra.

*Tabela 6. - Medidas de controlo e de redução do ruído para as zonas de intervenção do PA da Linha de Sintra.*






ID Zona	Município	Troço de Linha	Medida de redução de ruído	Obs.
1, 2, 3	Lisboa	Todos os troços	Modernização/renovação do material circulante	Intervenção de nível R2 nas UQE 2300/2400 (a cargo da CP)
		Todos os troços	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
		-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
4, 5, 6	Lisboa/Amadora	Todos os troços	Modernização/renovação do material circulante	Intervenção de nível R2 nas UQE 2300/2400 (a cargo da CP)
		Todos os troços	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
		-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
6	Amadora	10+500 / 10+960	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	Sintra	Todos os troços	Modernização/renovação do material circulante	Intervenção de nível R2 nas UQE 2300/2400 (a cargo da CP)
		Todos os troços	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
		-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
16	Sintra	22+745/ 22+820	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,5 m
16		23+840 / 24+060	Atenuadores sintonizados de carril (Tuned Rail Dampers)	Ambas as vias
18		26+550 / 26+770	Atenuadores sintonizados de carril (Tuned Rail Dampers)	Ambas as vias
-	-	-	Comunicação, informação	Gestão da incomodidade sentida pelas populações

## 9.2 Análise de eficácia

As figuras 24 a 39, que apresentam extratos dos mapas de conflitos para cada uma das zonas, mostram a exposição ao ruído dos edifícios implantados no território de cada zona envolvente da Linha de Sintra com usos do solo identificados como sensíveis ao ruído (edifícios de habitação, edifícios escolares e edifícios de serviços de saúde), ilustrando a situação existente e a situação futura prevista, após adoção das medidas identificadas para as diferentes zonas consideradas.

As figuras revelam os benefícios em termos de redução de ruído conseguida pela adoção das correspondentes medidas.

Foi adotado para o edificado o código de cores correspondente aos conflitos:

	Edifícios com usos não sensíveis ou de construção recente
	Edifícios com usos sensíveis sem conflitos
	Edifícios com usos sensíveis com conflito $\leq 3$ dB
	Edifícios com usos sensíveis com conflito entre 3 dB e 5 dB
	Edifícios com usos sensíveis com conflito $> 5$ dB

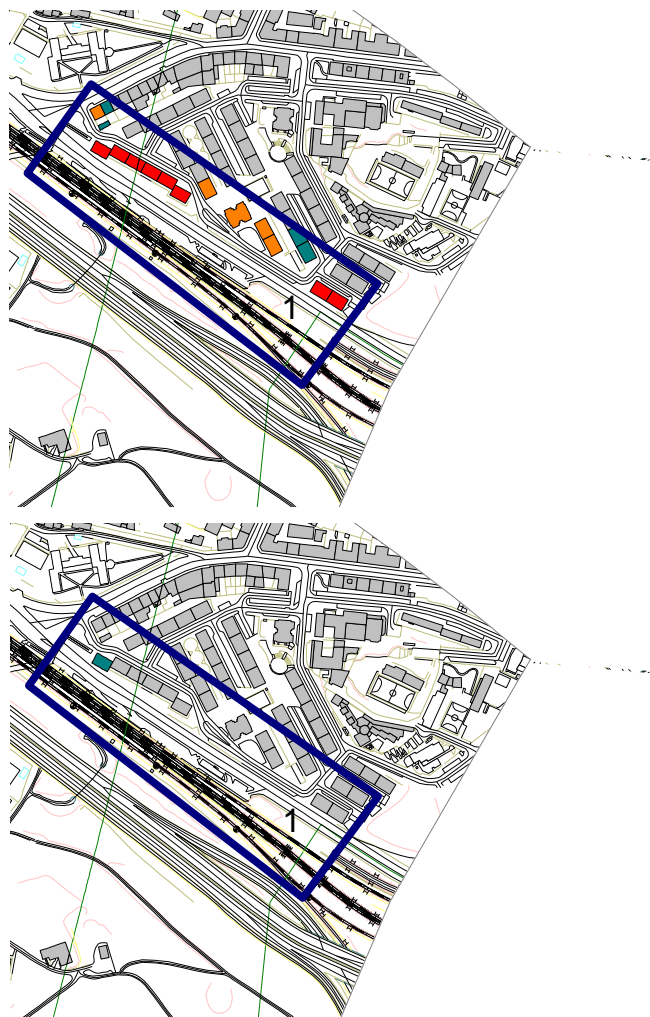


Figura 24. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 1 (Concordância de Sete Rios - Benfica).

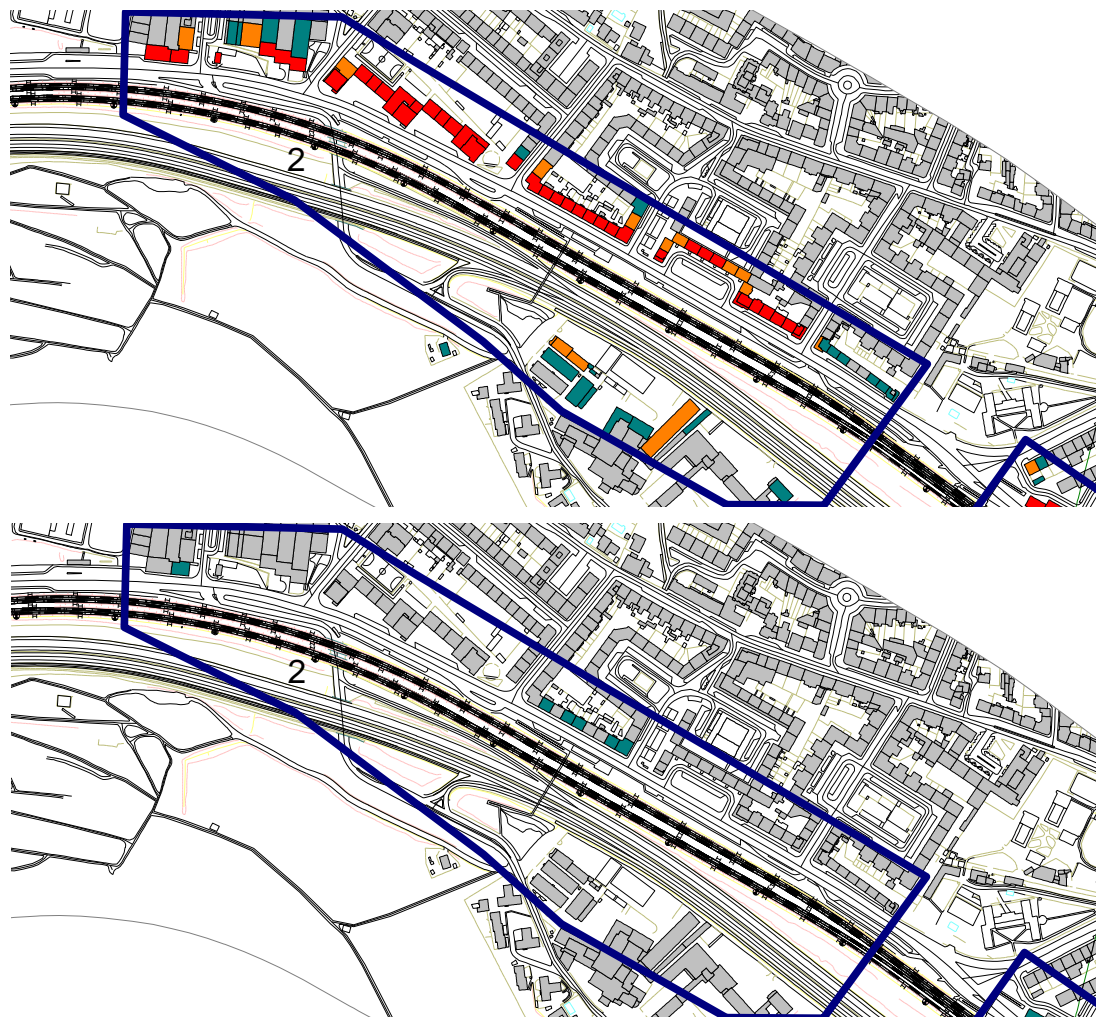


Figura 25. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 2 (Concordância de Sete Rios - Benfica).



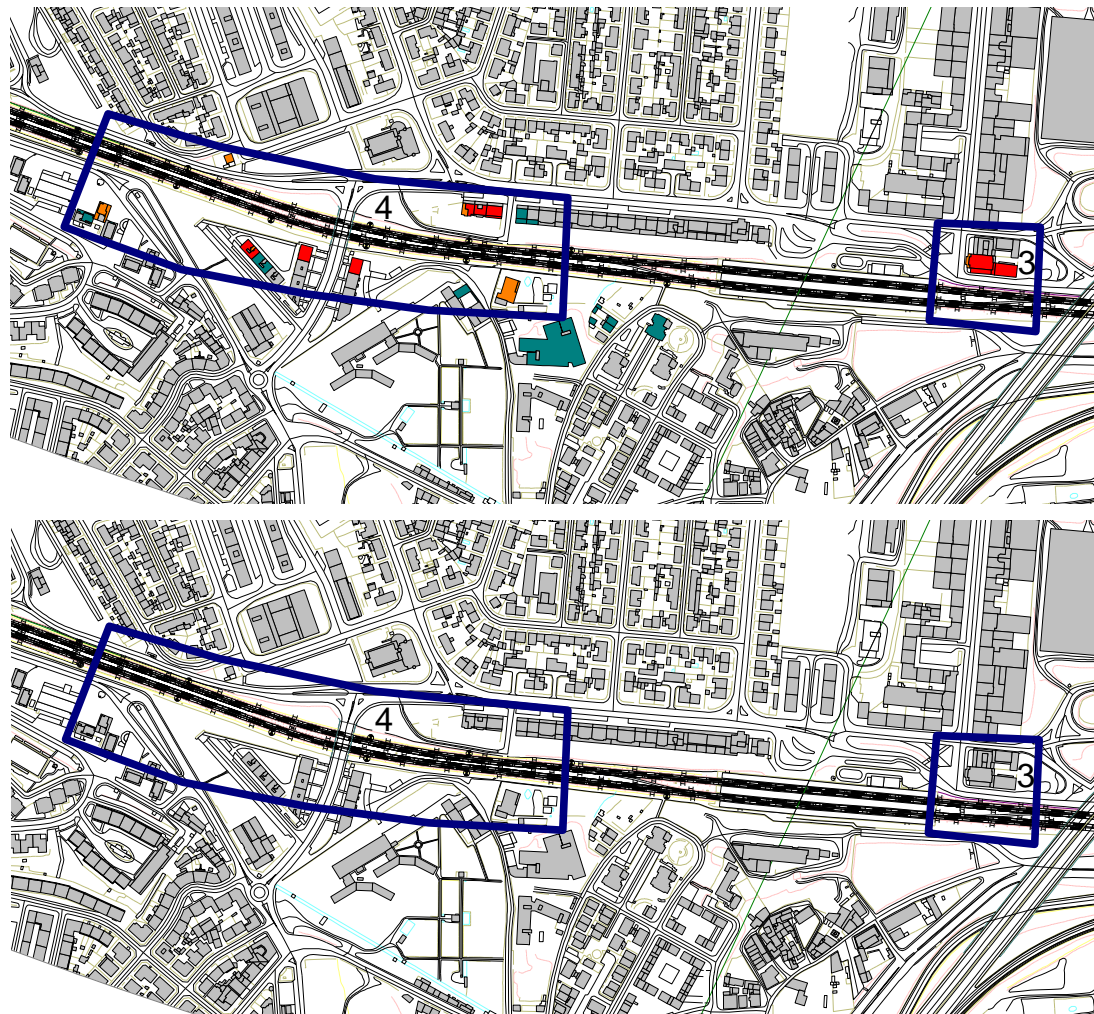


Figura 26. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 3 e Zona 4 (Benfica).

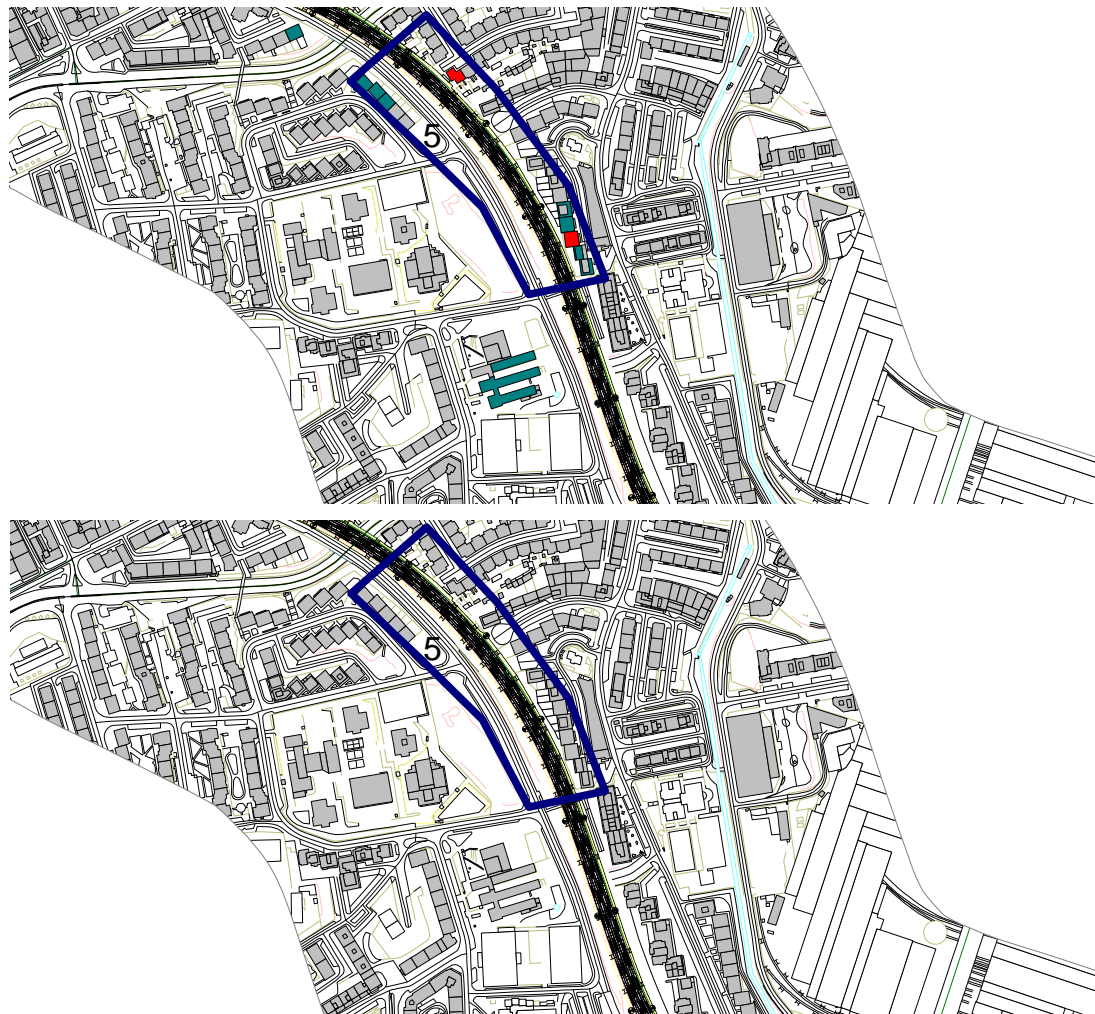


Figura 27. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 5 (Reboleira - Amadora)



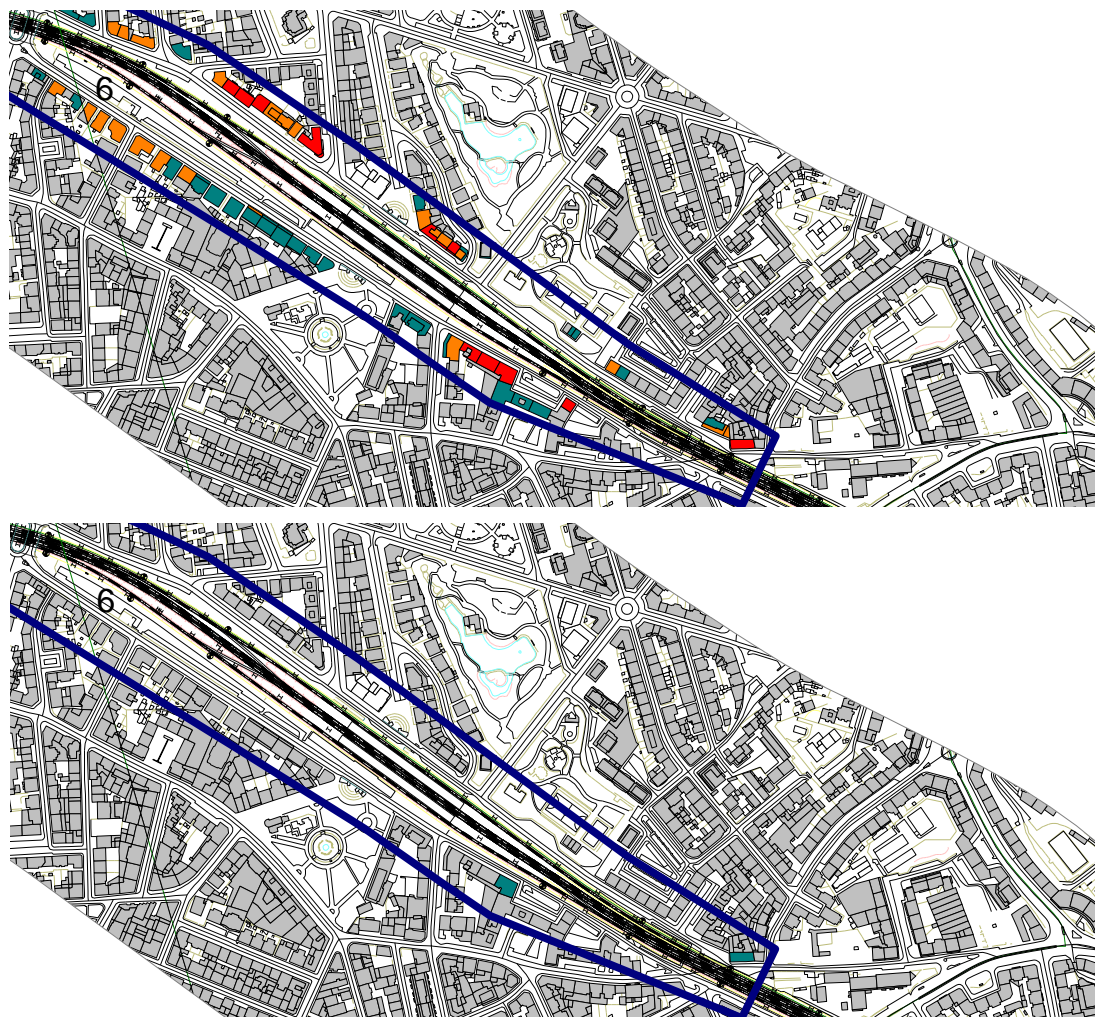


Figura 28. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 6 (Amadora)



Figura 29. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 6 (Amadora)



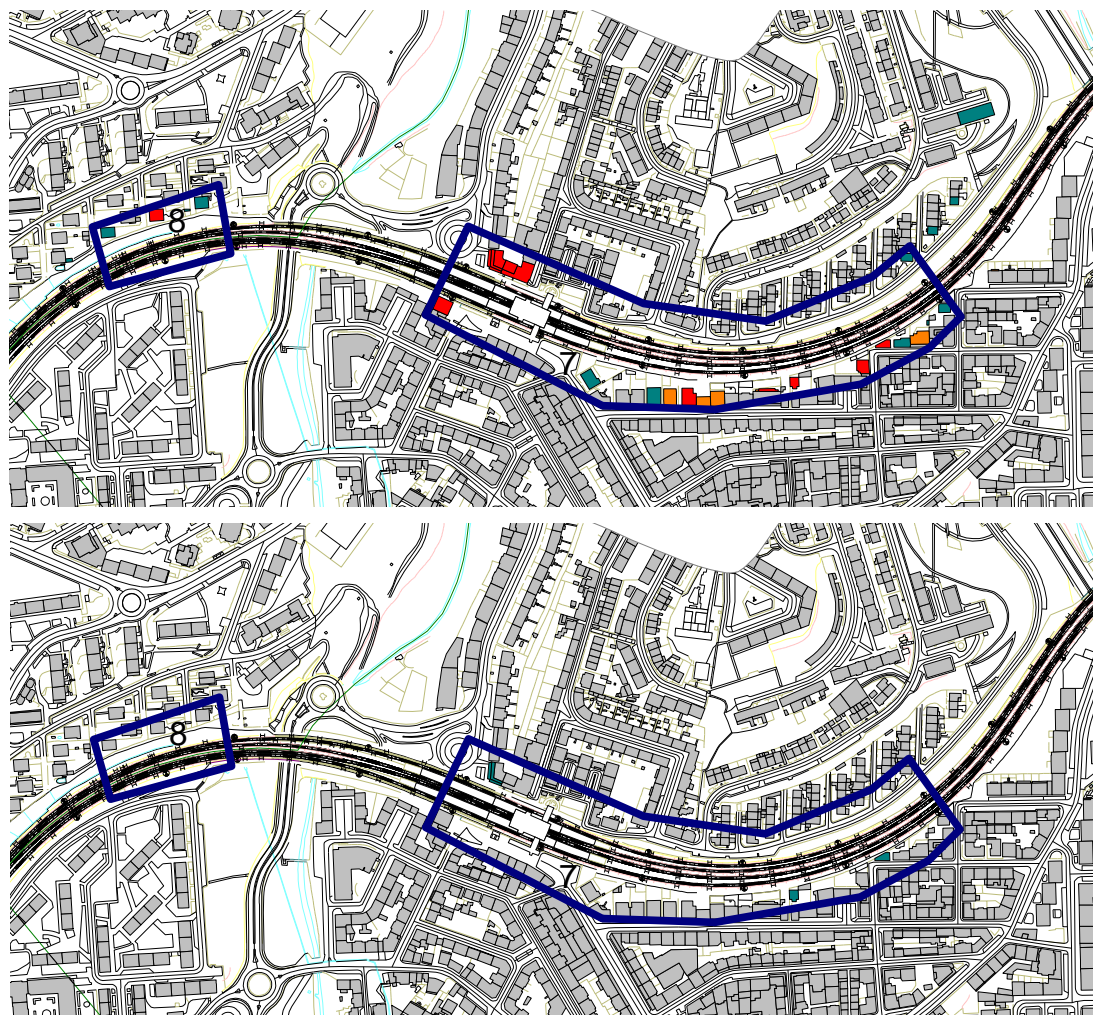


Figura 30. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 7 e Zona 8 (Queluz/Belas – Monte Abraão)



Figura 31. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 9 (Massamá/Barcarena)

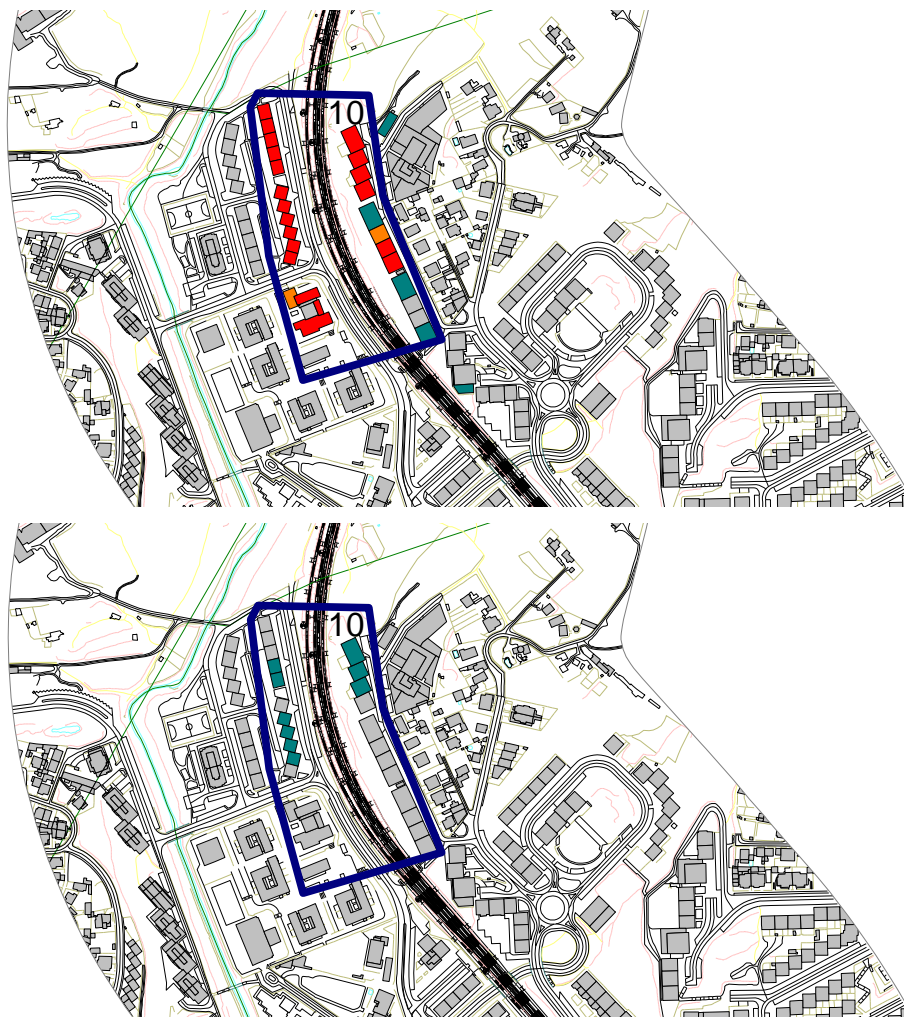


Figura 32. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 10 (Aqualva-Cacém)



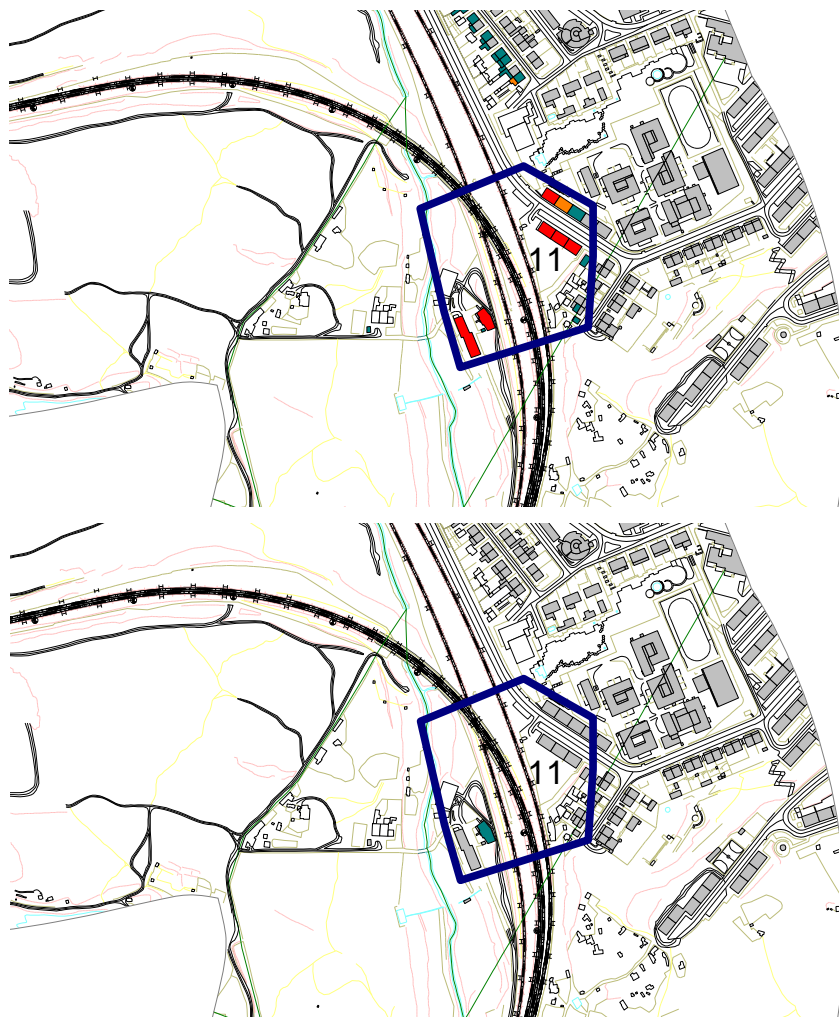


Figura 33. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 11 (bifurcação Mira Sintra - Meleças)



Figura 34. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 12 (Rio de Mouro)



Figura 35. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 13 (Rio de Mouro - Mercês)





Figura 36. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 14 e Zona 15 (Mercês)



Figura 37. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 16 (Algueirão – Mem Martins)



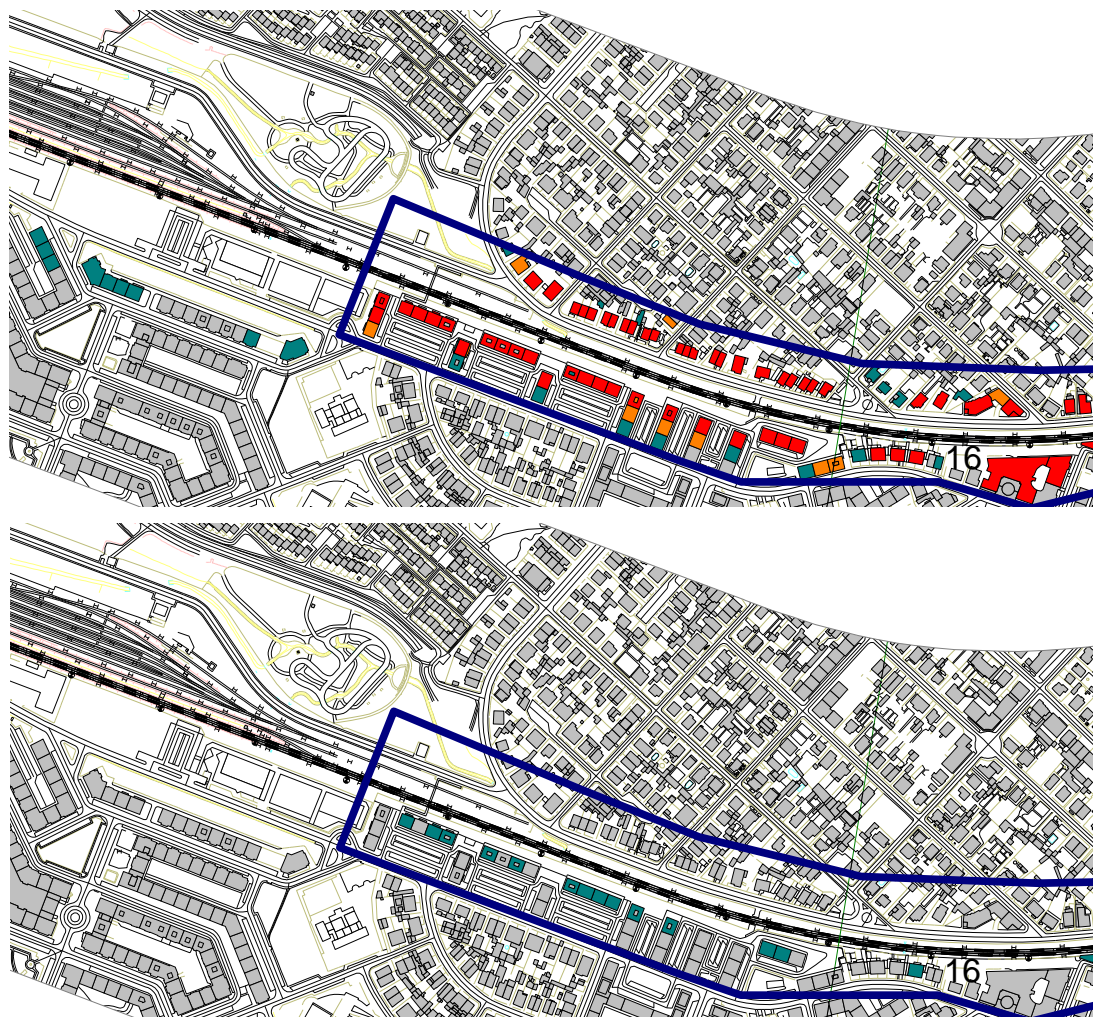


Figura 38. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 16 (Algueirão – Mem Martins)

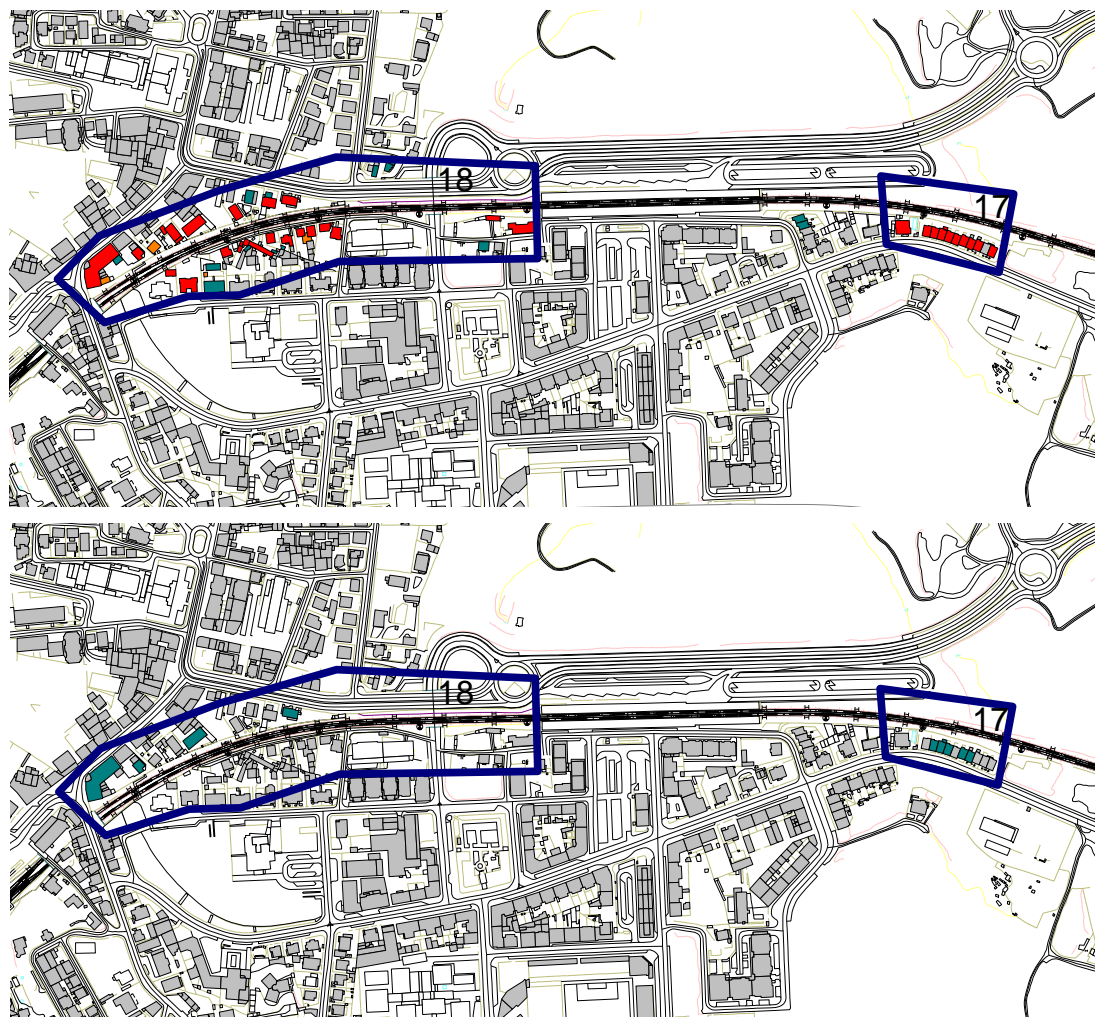


Figura 39. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 17 e Zona 18 (Portela de Sintra – Sintra I)

As Tabelas 7 e 8 revelam a eficácia das medidas preconizadas, em termos da redução do número estimado de população residente (unidades) e do edificado, com usos sensíveis ao ruído, expostos às três classes de conflito, com a adoção das medidas de redução de ruído relevantes. Os valores apresentados referem-se à população estimada e ao edificado com uso sensível contabilizados nas várias zonas de intervenção.

No caso da situação futura, como se pode constatar pelos números indicados nas tabelas, o número de pessoas residentes quer na área da classe de maior conflito ( $> 5$  dB), quer na área da classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 100%, ou seja, deixa de haver residentes expostos a níveis sonoros mais elevados. O número total de pessoas residentes nestas classes é, assim, reduzido de 5171 a zero (redução de 100%), sendo que o número de pessoas residentes na classe de menor conflito ( $\leq 3$  dB) se reduz em cerca de 30%. No total, o número de pessoas residentes nas três classes de conflito passa de 6679 para 1067, o que corresponde a uma redução de 84%.

Os benefícios em termos da redução dos números da população residente exposta a níveis sonoros excessivos demonstram que as ações de intervenção preconizadas podem considerar-se como 100% eficazes.

Em termos do edificado exposto ao ruído, o número estimado de edifícios quer na classe de maior conflito ( $> 5$  dB) quer na classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 100%, e o número estimado de edifícios na classe de menor conflito ( $\leq 3$  dB) passa de 194 para 93 (redução de 52%). No total, o número estimado de edifícios expostos em todas as três classes de conflito passa de 654 para 93, o que corresponde uma redução de 86%.

O gráfico da figura 40 ilustra a total eficácia das medidas de minoração preconizadas, em termos de redução do número total de população exposta a níveis de ruído ferroviário superiores em 3 dB em relação ao valor limite, quando comparada com a situação existente na Linha de Sintra.

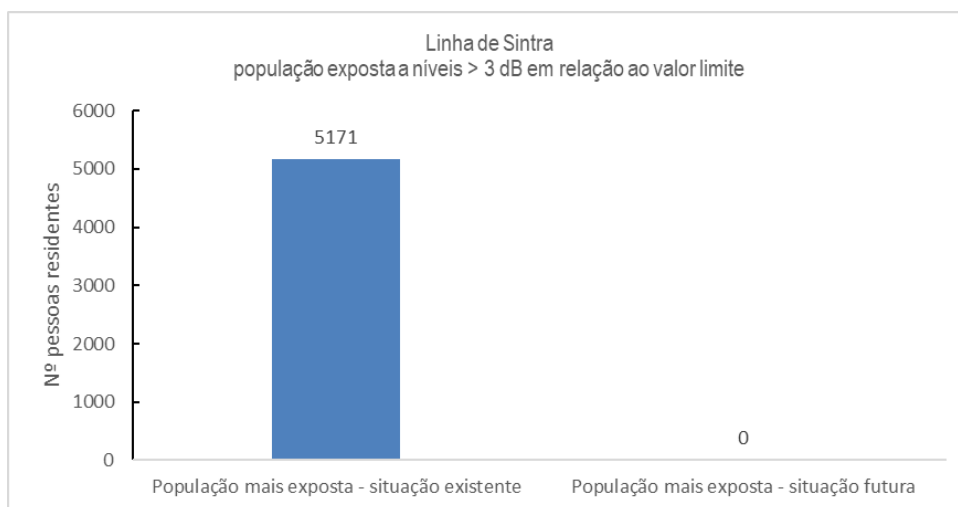


Figura 40. Redução do número da população residente exposta após implementação das medidas preconizadas. Contabilização para todas as zonas de intervenção.

Tabela 7. – População residente (em unidades), exposta às três classes de conflito, para a situação existente e para a situação futura com as medidas de redução de ruído.

ID Zona	Município	Início / fim (pk)	Situação Atual			Situação Futura		
			Popul. exist ≤ 3 db	Popul. exist > 3 - ≤ 5 dB	Popul. exist. > 5 dB	Popul. prev. ≤ 3 db	Popul. prev. > 3 - ≤ 5 dB	Popul. prev. > 5 dB
1	Lisboa	3+800/4+150	57	159	219	28	0	0
2	Lisboa	4+270/5+100	159	122	598	64	0	0
3	Lisboa	6+030/6+140	0	5	60	0	0	0
4	Lisboa/Amadora	6+500/6+990	70	41	83	0	0	0
5	Amadora	9+020/9+420	139	0	36	0	0	0
6	Amadora	9+560/11+030	564	333	906	313	0	0
7	Sintra	11+590/12+120	34	42	277	56	0	0
8	Sintra	12+300/12+460	10	0	2	0	0	0
9	Sintra	15+320/15+430	0	36	0	0	0	0
10	Sintra	18+430/18+720	115	23	511	271	0	0
11	Sintra	19+070/19+250	10	7	43	1	0	0
12	Sintra	19+930/20+590	54	236	202	0	0	0
13	Sintra	20+770/21+370	26	38	188	124	0	0
14	Sintra	21+550/21+730	29	14	80	0	0	0
15	Sintra	22+030/22+150	38	73	18	0	0	0
16	Sintra	22+710/24+090	187	117	612	177	0	0
17	Sintra	25+910/26+040	0	0	23	10	0	0
18	Sintra	26+390/26+850	16	2	65	23	0	0
Totais parciais			1508	1248	3923	1067	0	0
Totais globais			6679			1067		



Tabela 8. Número de edifícios, com usos sensíveis ao ruído, exposto às três classes de conflito para a situação existente e para a situação futura com as medidas de redução de ruído.

ID Zona	Município	Início / fim (pk)	Situação Atual			Situação Futura		
			Edif. exist ≤ 3 dB	Edif. exist > 3 - ≤ 5 dB	Edif. exist. > 5 dB	Edif. prev. ≤ 3 dB	Edif. prev. > 3 - ≤ 5 dB	Edif. prev. > 5 dB
1	Lisboa	3+800/4+150	4	5	9	1	0	0
2	Lisboa	4+270/5+100	22	16	42	6	0	0
3	Lisboa	6+030/6+140	0	1	4	0	0	0
4	Lisboa/Amadora	6+500/6+990	8	8	7	0	0	0
5	Amadora	9+020/9+420	10	0	2	0	0	0
6	Amadora	9+560/11+030	48	31	53	19	0	0
7	Sintra	11+590/12+120	6	5	11	4	0	0
8	Sintra	12+300/12+460	3	0	1	0	0	0
9	Sintra	15+320/15+430	0	1	0	0	0	0
10	Sintra	18+430/18+720	3	2	20	9	0	0
11	Sintra	19+070/19+250	5	1	6	1	0	0
12	Sintra	19+930/20+590	11	15	10	0	0	0
13	Sintra	20+770/21+370	13	6	27	19	0	0
14	Sintra	21+550/21+730	3	2	6	0	0	0
15	Sintra	22+030/22+150	3	4	1	0	0	0
16	Sintra	22+710/24+090	43	26	97	24	0	0
17	Sintra	25+910/26+040	0	0	11	6	0	0
18	Sintra	26+390/26+850	12	4	26	4	0	0
Totais parciais			194	127	333	93	0	0
Totais globais			654			93		



### 9.3 Informações financeiras

Para as medidas consideradas no conjunto de intervenções denominado de situação futura, não se dispõe de informação adequada à estimação de valores financeiros no que respeita à modernização/renovação das composições da Linha de Sintra (UQE 2300/2400). Acrescenta-se que, a renovação/substituição do material circulante é uma medida de âmbito global, que se aplica a toda a extensão da Linha de Sintra e que, por consequência, o seu custo não pode ser alocado na íntegra à resolução do problema do ruído pois a sua efetivação acontece cumulativamente por outras motivações, tais como, segurança, custos de manutenção, conforto do passageiro, frequência e velocidade do serviço de transporte, etc..

Para as medidas adicionais preconizadas, nomeadamente os (i) atenuadores sintonizados de carril (TRD) e (ii) barreiras acústicas, são apresentadas estimativas de custos de implementação na tabela 9. Não é apresentada estimativa correspondente à esmerilagem, por se não dispor de informação.

*Tabela 9. Estimativa financeira para implementação de medidas adicionais preconizadas.*

Medida de redução de ruído	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	Altura [m]	via	custo/m (€)	Custo total (€)
Atenuadores sintonizados de carril (TRD)	23+840	24+060	220	-	Ambas as vias (4 carris)	300	264 000
	26+550	26+770	220	-	Ambas as vias (4 carris)	300	264 000
<b>Total TRD</b>							<b>528 000 €</b>
Medida de redução de ruído	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	Altura [m]	via	custo/m <sup>2</sup> (€)	Custo total (€)
Barreira Acústica	10+500	10+960	460	3,0	Lado descendente	140	193 200
	22+745	22+820	75	3,5	Lado descendente	140	36 750
<b>Total Barreiras</b>							<b>229 950 €</b>
<b>Total Medidas adicionais de redução de ruído</b>							<b>757 950 €</b>

Estas soluções importam em, aproximadamente, 800 mil euros.

Para o programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril, com o ciclo de vida útil (LCC) esperado da ordem dos 20 anos (UIC 2013), prevê-se um custo de manutenção anual da ordem de 6 000€ para a extensão de via intervencionada.

Para o programa de verificação e monitorização das barreiras acústicas estima-se um valor para os cinco anos do plano de cerca de 3 000€.

Os valores apresentados serão acrescidos de Imposto de Valor Acrescentado (IVA) à taxa legal vigente na altura.

## 10. Planeamento das ações

### 10.1 Hierarquização temporal

As obrigações decorrentes do atual enquadramento legal levaram a IP a elaborar os MER da GIF Linha de Sintra com o objetivo de dispor de um diagnóstico da situação acústica existente. O presente PA vem definir um conjunto de ações concertadas para uma melhoria continuada e sustentada do ambiente sonoro na envolvente desta GIF.

A otimização do conjunto das propostas e seus resultados passa por uma hierarquização das intervenções, cuja adoção tem de ser balizada não só pelos benefícios esperados e pelos aspetos práticos e económicos da sua execução mas igualmente por eventuais aspetos funcionais que envolvam sequências de operação bem como pelos resultados de novas avaliações, tendo em conta o curto prazo (cinco anos) de um plano que envolve ações cuja execução pode revelar-se complexa para tal período.

O período de cinco anos do plano poderá ser dividido em duas fases: a primeira correspondente aos primeiros três anos e a segunda aos dois anos subsequentes. Nesta segunda fase, será realizada o próximo diagnóstico, através da execução do MER atualizado.

A primeira fase, nos primeiros três anos após a aprovação do PA, compreende as seguintes ações:

- a) Modernização/renovação do material circulante da Linha de Sintra, nomeadamente as composições UQE 2300/2400.

Esta ação resulta da intervenção de nível R2, a cargo da CP, nas referidas composições. Trata-se de uma ação complexa, a qual, segundo informações fornecidas pelo operador, irá implicar uma intervenção muito profunda no material, visando a reposição do potencial de vida das composições.

- b) Instalação das medidas adicionais preconizadas
  - Atenuadores sintonizados de carril (dois troços de via);
  - Barreiras acústicas (novas);
- c) Ações de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído já implementadas.
- d) Ações de sensibilização e informação sobre o ruído para a comunidade em geral.

A segunda fase, correspondente aos dois anos seguintes, compreenderá as seguintes ações:

- a) Continuação da execução do plano de modernização/renovação das composições UQE 2300/2400.
- b) Esmerilagem periódica dos carris.
- c) Programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril (anual).
- d) Continuidade das ações de sensibilização e informação.

## 10.2 Ação estratégica a médio/longo prazo

As ações propostas neste PA, aqui identificadas, detalhadas e planificadas resultam de uma análise exaustiva e detalhada de potenciais tipologias de medidas e estratégias direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído gerado por uma GIF, em termos de benefícios, de exequibilidade prática e funcional e de custos. Foram estudadas, no âmbito da elaboração do presente PA, as práticas correntes e bem-sucedidas em matéria de controle, redução e gestão do ruído a nível europeu, integrando o conhecimento e experiência de situações semelhantes, seus benefícios e custos.

As medidas de redução de ruído, especificamente propostas no âmbito do presente PA da Linha de Sintra, serão implementadas no curto a médio prazo. Devem integrar-se no contexto da política ambiental da IP para a promoção da proteção ambiental e desenvolvimento sustentável. A gestão ambiental da IP fica assim orientada para todo o ciclo de vida das infraestruturas.

De facto, embora as ações previstas no âmbito da situação futura sejam recomendadas para implementação a curto prazo, é reconhecido que a sua execução prática poderá ultrapassar o curto prazo do presente plano, essencialmente por razões de ordem prática ou orçamental. Os benefícios em termos de ambiente sonoro da sua implementação são bem patentes pelo que tais medidas integram a estratégia a médio/longo prazo da IP.

A estratégia de médio/longo termo da IP passa, ainda, pela manutenção das condições de bom ambiente sonoro na sua envolvente, através dos seus programas de verificação e monitorização regular das soluções de controlo/redução de ruído e de comunicação com as populações. O programa de monitorização das medidas será implementado em cada ciclo de cinco anos para garantia de boa conservação e manutenção das perdas de inserção preconizadas em cada local.

Também num prazo temporal mais dilatado, a corrente operação e manutenção de uma GIF implica diversas interações com *stakeholders* externos, como seja a resposta a solicitações sobre matérias ambientais, com realce para a gestão do ruído.

Mesmo antes de respeitar escrupulosamente a legislação vigente e os diferentes regulamentos que daí advém, a IP está consciente dos problemas de compreensão pela população não só dos vários aspetos legais, mas também dos benefícios a médio/longo prazo das ações de redução de ruído. A IP encontra-se empenhada em ações de pedagogia no que respeita às populações afetadas pelo ruído ferroviário, a incluir nos seus projetos de desenvolvimento e de modernização.

As ações comunicacionais, de sensibilização e de participação pública destinam-se não só a gerir as emissões de ruído, mas igualmente a perceção do ruído pelas populações equacionada com as vantagens da vizinhança de uma infraestrutura de mobilidade de elevado valor para a vivência quotidiana.

A elaboração de folhetos informativos (em suporte papel ou digital) poderá acompanhar estas ações a fim de serem mais eficazes. A isto se pode acrescentar a implementação de sítio na Internet que facilite e agilize a interação do público com a IP.

As ações informativas serão estendidas às populações com campanhas de informação sobre o plano de ação de ruído da IP, a partir dos resultados dos mapas de ruído e das ações de monitorização e sobre as características sonoras dos ambientes urbanos/suburbanos/periurbanos da envolvente da GIF, no sentido das populações melhor entenderem o conceito da perceção sonora ambiental.

Ao estabelecer esta rede de informação, a IP tem a intenção de criar um ambiente de transparência perante as populações afetadas pelo ruído resultante da utilização da GIF que permitirá uma maior compreensão dos esforços, por parte da IP, em minorar os incómodos e perturbações sofridos pelas populações expostas. Como objetivo último, estas poderão revelar-se potencialmente mais tolerantes com futuros aumentos da intensidade de exploração da infraestrutura ferroviária.

A IP continuará a acompanhar, em articulação com Operadores e Câmaras Municipais afetadas, a robustez e acessibilidade do atual processo de comunicação de solicitações/reclamações no âmbito do ruído gerado pelas várias operações ferroviárias.

Podem-se equacionar futuras ações de acompanhamento, a estruturar no longo prazo, consoante justificável, como sejam:

- Inquirir sobre a resposta das comunidades/populações (grau de incomodidade) no que respeita ao ruído de origem ferroviário;
- Inquirir sobre a relevância/papel das emissões sonoras devido às GIF no âmbito de uma caracterização da paisagem sonora envolvente da linha.

### **10.3 Monitorização da implementação do PA**

A execução do presente PA resultará numa substancial diminuição da extensão das linhas isofónicas correspondentes ao ruído de circulação ferroviária, e, como tal, da população exposta ao ruído ferroviário. As zonas de vizinhança da Linha de Sintra exibem numa considerável parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes, mais especificamente a circulação rodoviária. O objetivo do presente PA constitui-se na diminuição da contribuição ferroviária para o ruído global. O número de pessoas expostas a tal contribuição é então a métrica principal para avaliação dos benefícios recolhidos com a execução do PA.

Os prazos de execução de algumas medidas podem ser extensos, mas importará no final do prazo avaliar as resultantes alterações no ambiente sonoro e na exposição das populações. Tal poderá ser conseguido através da próxima fase de mapeamento de ruído (MER) que ocorrerá durante o período final de vigência do plano. Deste modo, o PA do próximo ciclo será balizado pelos resultados comparativos dos MER, tendo em conta eventuais alterações de tráfego, se for o caso.

Os MER do próximo ciclo constituirão um diagnóstico da situação do ambiente sonoro atualizada e darão conta dos benefícios introduzidos pelas medidas entretanto implementadas.

## 11. Quadro resumo

O Quadro seguinte resume todas as ações tendentes a reduzir o ruído ferroviário resultante da exploração da Linha de Sintra.

Nº	Ação	Calendarização
1	Modernização/renovação do material circulante (UQE 2300/2400)	Planeado
2	Esmerilagem de troços da via	Implementado
3	Revestimento absorvente sonoro de faces de muros/paredes	Implementado
4	Implantação de barreiras acústicas	Implementado
5	Implantação de barreiras acústicas novas	Planeado
6	Introdução de atenuadores sintonizados de carril ( <i>Tuned Rail Dampers</i> )	Planeado
7	Programa de esmerilagem periódica dos carris	Planeado
8	Programa de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído implementadas	Planeado
9	Programa de manutenção dos atenuadores sintonizados de carril	Planeado
10	Circulação de Informação entre os vários stakeholders (Gestor de infraestrutura, Operadores, Câmaras, Tutela)	Implementado / Planeado
11	Estabelecimento de procedimento otimizado de gestão de queixas e reclamações de ruído	Implementado / Planeado
12	Desenvolvimento de plataformas de informação ao público e à comunidade técnica sobre ruído ferroviário e das ações para o seu combate e gestão	Planeado
13	Informação às populações e ao público em geral dos resultados da implementação das medidas previstas no PA	Planeado
14	Elaboração regular de mapas de ruído para diagnóstico do ambiente sonoro na envolvente da Linha de Sintra (Mapas Estratégicos de Ruído, no âmbito do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho)	Implementado

## Bibliografia

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2008), *Modelação de ruído de tráfego ferroviário*, Proc. Congresso Acústica 2008, V Congresso Ibérico de Acústica, XXXIX Congresso Espanhol de Acústica TECNIACÚSTICA 2008.

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2009), *The adaptation of the interim calculation method for railway noise to the portuguese rolling stock*, Proc. EURONOISE 2009.

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2013), *An experimental assessment on the performance of fixed rail curve squealing noise mitigation*, Noise Control Engineering Journal, J. 61 (6).

Altenbaher, B., Goltnik, D., Rosi, B. (2015), *Railway Noise Reduction by the Application of CHFC material on the rail*, Transport Problems/Problemy Transportu V. 10, Issue 2, 5-14.

Agência Portuguesa do Ambiente (2011), *Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído*, versão 3, Dezembro 2011.

Carvalho, J. et al. (2018), *Eco sustainable Rail – Valorisation of Mixed Plastics in the Development of Eco-Sustainable Railways*, European Journal of Sustainable Development, 7,6, 489-495, 2018.

*Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSUS-EU) (2012)*, Report EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 180 pp.

*Cost Study on Noise Mapping and Action Planning*, European Commission (1999) – DGXI D.3 Urban Environment, COWI.

Declaração de Rectificação nº18/2007 de 16 de Março, que retifica o Decreto-Lei n.º 9/2007, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, retificado pela Declaração de Retificação n.º 57/2006 de 31 de agosto.



Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.

Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto, que altera o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído.

Decreto-Lei n.º 316-A/2019 de 6 de setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2015/996 da Comissão, de 19 de maio de 2015, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, alterando o Anexo II do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho.

Dings, P. C., Dittrich, M. G. (1996), *Roughness on Dutch Railway Wheels and Rails*, Journal of Sound and Vibration, 193(1), 103-112.

Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

Dumitriu, M., Cruceanu, I. (2017), *On the Rolling Noise Reduction by Using the Rail Damper*, Journal of Engineering Science and Technology Review 10(6), 87-95.

European Parliament Policy Department (2012) *Reducing Railway Noise Pollution*. Produced for the European Parliament's Committee on Transport and Tourism Environment by the Directorate-General For Internal Policies, Brussels.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2017) – Noise in Europe 2017: updated assessment, ETC/ACM Technical Paper 2016/13.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY/EPA Network (2018) – *Decision and cost/benefit methods for noise abatement measures in Europe*: M+P BAFU 15.02.1, February 2018.

ECOSSISTEMA FERROVIÁRIO PORTUGUÊS (2019), documento publicado pela AMT - Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, dezembro 2017.

Ferreira, A., Bento Coelho, J. L. (2009), *Critérios para a análise de relações exposição-impacte do ruído de infraestruturas de transporte*, CAPS/IST, Parecer para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

Grassie, S. L. (2012) *Rail irregularities, corrugation and acoustic roughness: characteristics, significance and effects of reprofiling*, Proc IMechE, Part F: J Rail Rapid Transit 2012; 226(5): 542–557.

International Union of Railways, UIC (2010) *The Railway Noise Bonus: discussion paper on the noise annoyance correction factor*. Produzido pela DHV B.V. para a International Union of Railways, Paris.

International Union of Railways, UIC (2011) *Exploring bearable noise limits and ceilings for the railways: part I*. UIC001-01-15, dBvision, 2/108.

International Union of Railways, UIC (2013) *Railway Noise Technical Measures Catalogue*, UIC003-01-04fe, dBvision, May 2013.

Livro Branco da Comissão Europeia (2011), Roteiro do espaço único europeu dos transportes, Comissão das Comunidades Europeias, COM (2011).

Livro Verde da Comissão Europeia (1996), Futura Política de Ruído, Comissão das Comunidades Europeias, COM (96).

Linee guida per l'elaborazione di piani comunali di risanamento acustico (1998), Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

Lewis, R. & Olofsson, U. (2009), *Wheel–Rail Interface Handbook*, Woodhead Publishing Limited: UK.

Lercher, P. et al. (2013), *Psychoacoustic assessment of railway noise in sensitive areas and times: is a railway bonus still appropriate?* Proc. INTER-NOISE Vol. 247, N°2, 5900-5907.

*Le Bruit Ferroviaire en Questions & Réponses* (2018), documento editado por France Nature Environment e SNCF Réseau, dezembro 2018.

Miedema, H.; Oudshoorn, C. (2001). *Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and their Confidence Intervals*, Environmental Health Perspectives, vol. 109, n°4, pp 409-416.

Miedema, H. (2002). "Relationship between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance", Technical Meeting on exposure-response relationships of noise on Health, WHO-Europe, Bonn, Alemanha.

Noise in Europe 2014 – European Environmental Agency – EEA, Report No. 10/2014

Nieuwenhuizen, E., Yntema, N. (2018), *The effect of close proximity, low height barriers on railway noise*, Proc. Euronoise 2018 Crete, 1375-1379.

Popp C. (2000), *Communicating noise to the public without talking in technical jargon*, Proc. INTERNOISE 2000, 4-2241.

Pieren, R. et al. (2017), *Auralization of railway noise: Emission synthesis of rolling and impact noise*. Applied Acoustics 127 (2017): 34–45.

Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n.º 9/2007, 17 de janeiro de 2007, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de 16 de março.

Regulamento (UE) No 1304/2014 DA COMISSÃO de 26 de Novembro de 2014 relativo à especificação técnica de interoperabilidade para o subsistema «material circulante – ruído» e que revoga a Decisão 2011/229/UE, Jornal Oficial da União Europeia, L 356/421.

Scossa-Romano, E., Oertli, J. (2012) *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers: A report on the state of the art*. Produced for the Schweizerische Bundesbahnen SBB/UIC, Bern.

Science for Environment Policy (2017) *Noise abatement approaches*. Future Brief 17. Produced for the European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol. Disponível em: <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>

The SILENCE European Project (2008) *Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans*, 6th Framework Programme. Disponível em <http://www.noiseineu.eu/en/3527-a/homeindex/file?objectid=3161&objectypeid=0>

Thompson, D. J. (2008), *A continuous damped vibration absorber to reduce broad-band wave propagation in beams*, Journal of Sound and Vibration 311 824–842.

Thompson, D. J. (2009), *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, Elsevier: Oxford.

Thompson, D. J. (2014), *Railway Noise and Vibration: The Use of Appropriate Models to Solve Practical Problems*, Proc. ICSV21 2014.

Tumavice, A. et al. (2017), *Effectiveness analysis of railway noise mitigation measures*, GRADEVINAR, 69 (2017) 1, 41-51. Disponível em: <http://doi.org/10.14256/jJCE.177.2016>

de Vos, P. (2016) *Railway Noise in Europe, State of the Art Report. Prepared for the International Union of Railways*, (UIC), Paris.

de Vos, P., van Leeuwen, H. J.A. (2018), *Remaining Research Topics for Railway Noise Control*, Proc. Euronoise 2018 Crete, 1001-1005.

WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018), World Health Organization.