



PLANOS DE AÇÃO

DA

REDE FERROVIÁRIA NACIONAL

PLANO DE AÇÃO DA LINHA DO NORTE I

Março 2020

PLANOS DE AÇÃO DA REDE FERROVIÁRIA NACIONAL

PLANO DE AÇÃO DA LINHA DO NORTE I

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

RESUMO	4
1. ÂMBITO E OBJETIVOS	9
2. ENQUADRAMENTO LEGAL	11
3. O RUÍDO FERROVIÁRIO DA LINHA DO NORTE I	16
4. METODOLOGIA DO PLANO DE AÇÃO	23
4.1. PRINCÍPIOS.....	23
4.2. METODOLOGIA GERAL.....	23
5. ENVOLVENTE ACÚSTICA DA LINHA DO NORTE I	26
5.1. ANÁLISE ACÚSTICA.....	26
5.2. MEDIDAS JÁ IMPLEMENTADAS E EM CURSO.....	27
5.3. MAPAS DE CONFLITO.....	29
6. ZONAS DE INTERVENÇÃO	43
7. AÇÕES PARA GESTÃO E REDUÇÃO DO RUÍDO FERROVIÁRIO	48
8. TIPOLOGIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS	52
9. REDUÇÃO DO RUÍDO: INTERVENÇÕES E MEDIDAS	67
9.1 SOLUÇÕES TÉCNICAS.....	67
9.2 ANÁLISE DE EFICÁCIA.....	69
9.3 INFORMAÇÕES FINANCEIRAS.....	94
10. PLANEAMENTO DAS AÇÕES	96
10.1 HIERARQUIZAÇÃO TEMPORAL.....	96
10.2 AÇÃO ESTRATÉGICA A MÉDIO/LONGO PRAZO.....	97
10.3 MONITORIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PA.....	99
11. QUADRO RESUMO	100
BIBLIOGRAFIA	101

Resumo

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha do Norte I 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 a área afetada pela Linha do Norte I. Esta linha constitui-se num troço da Linha do Norte que estabelece a ligação entre Lisboa St.^a Apolónia e Azambuja, com ligação, por via da Linha de Cintura – Braço de Prata, à linha do Oeste, de Sintra e do Sul. Faz ainda ligação ao Porto de Lisboa, em regime de manobras, quer através da Linha da Matinha (na zona de Santa Apolónia), quer através da Linha de Cintura (via Alcântara-Mar – Alcântara-Terra).

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 do Norte I. O presente PA destina-se assim a gerir os problemas e efeitos do ruído, gerados pela referida GIF, incluindo a redução do ruído, onde necessário.

O PA da Linha do Norte I 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 para os limites de ruído legais vigentes, os quais têm em consideração 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 legais vigentes, 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 dezanove zonas de intervenção na envolvente da Linha do Norte I, e sobre as quais incide o presente PA:

- Zona 1, entre o pk 1+600 e o pk 2+080 no Município de Lisboa.
- Zona 2, entre o pk 2+610 e o pk 2+670 no Município de Lisboa.
- Zona 3, entre o pk 3+330 e o pk 3+720 no Município de Lisboa.
- Zona 4, entre o pk 3+975 e o pk 4+100 no Município de Lisboa.
- Zona 5, entre o pk 4+280 e o pk 4+900 no Município de Lisboa.
- Zona 6, entre o pk 5+070 e o pk 5+480 no Município de Lisboa.
- Zona 7, entre o pk 6+970 e o pk 7+175 no Município de Lisboa.
- Zona 8, entre o pk 7+330 e o pk 7+760 nos Municípios de Lisboa e de Loures.
- Zona 9, ao pk 16+120 (recetor isolado) no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 10, entre o pk 16+410 e o pk 17+225 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 11, entre o pk 17+475 e o pk 17+830 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 12, entre o pk 18+300 e o pk 18+380 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 13, entre o pk 25+840 e o pk 27+110 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 14, entre o pk 29+640 e o pk 30+150 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 15, entre o pk 30+350 e o pk 30+675 no Município de Vila Franca de Xira.

- Zona 16, no pk 31+690 (recetor isolado) no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 17, entre o pk 36+230 e o pk 36+390 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 18, entre o pk 36+600 e o pk 36+670 no Município de Vila Franca de Xira.
- Zona 19, ao pk 40+500 (recetores isolados) no Município de Azambuja.

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 e 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 do Norte I, foi preconizado um conjunto de intervenções diversas, sob a designação de situação futura, em que a alteração ao *mix* 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) alteração do *mix* do material circulante: esta alteração é consequência da modernização/renovação, a cargo do operador CP, para o material circulante da Linha de Sintra (composições UQE 2300/2400), que atualmente efetuam os serviços Urbanos/Suburbanos entre Sintra/Mira-Sintra, Lisboa-Oriente e Alverca (via Linha de Cintura), (ii) modernização da via, desde o pk ~1+550 até Braço de Prata e (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 ainda 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 no caso situação futura, o número de pessoas residentes na classe de maior conflito (> 5 dB), é reduzido em 99%, enquanto que na classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 93%, ou seja, deixa de haver praticamente residentes expostos a níveis sonoros médios ou elevados.

Assim, 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 do Norte I, revelam-se extremamente eficazes na redução (em cerca de 97%) do número total de população exposta a valores superiores em 3 dB em relação ao valor limite, tendo em conta os constrangimentos impostos por várias situações com desfavorável geometria emissor/recetor. 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.

O período de cinco anos do plano poderá ser dividido em duas fases. A primeira, correspondente aos primeiros três anos, compreenderá (i) alteração ao *mix* do material circulante: iniciação/execução do plano de renovação/modernização das composições UQE 2300/2400, a cargo do operador CP (ii) instalação das medidas preconizadas, (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 alteração ao *mix* do material circulante na Linha do Norte I, ou seja, será continuada a execução do plano de modernização/renovação das composições UQE 2300/2400. Nesta fase, 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 do Norte I exibem numa grande parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes, 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 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 do Norte I 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 do Norte I.

O PA da Linha do Norte I é 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 do Norte I.

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 do Norte I;
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 cujo território é percorrido 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 do Norte I 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, Loures, Vila Franca de Xira e Azambuja¹ 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*

¹ Este troço da Linha do Norte também atravessa o concelho Alenquer, no qual não foram, contudo, identificados recetores sensíveis nem zonas de conflito.

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 do Norte I 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 a  o 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.é 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 A  o 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.é 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 a  o 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 avalia o da incomodidade das popula es ao ruído e como um instrumento fundamental para a defini o e elabora o dos planos de a o e de redu o de ruído.

É neste enquadramento que foi elaborado o presente Plano de A o da Linha do Norte I.

3. O ruído ferroviário da Linha do Norte I

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 do Norte I entra em exploração, na sua forma final, em 1877), 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).

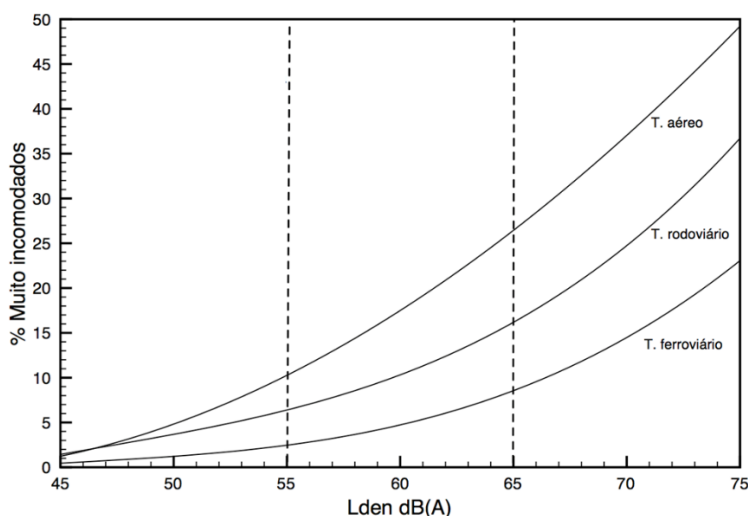


Figura 1. Percentagem de indivíduos “muito incomodados” para ruído de tráfego aéreo, rodoviário e ferroviário.

Embora estudos recentes apontem para a supressão deste “bonus” (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, correndo-se o 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 do Norte I.

Este troço da Linha do Norte estabelece a ligação entre Lisboa St.^a Apolónia e Azambuja, com ligação, por via da Linha de Cintura – Braço de Prata, à linha do Oeste, de Sintra e do Sul. Faz ainda ligação ao Porto de Lisboa, em regime de manobras, quer através da Linha da Matinha (na zona de Santa Apolónia), quer através da Linha de Cintura (via Alcântara-Mar – Alcântara-Terra).

Tem o seu início em Lisboa St.^a Apolónia, ao pk 0+000, e o seu término em Azambuja, aproximadamente ao pk 47+000. É uma linha em via dupla (bitola larga), sendo quádrupla entre Braço de Prata e Alverca. Na figura 2, podemos observar várias tipologias de composições que operam neste troço da Linha do Norte, efetuando serviços de Longo curso, Regionais/Inter-regionais e Urbanos/Suburbanos.



Figura 2. Composições na Linha do Norte I - da esquerda para a direita, topo para baixo: CPA 4000, UQE 3500, UTE 2240, UQE 2300/2400.

O presente PA inclui o troço entre o pk 9+400 e Braço de Prata da Linha de Cintura. O valor do tráfego médio anual é de cerca de 132 000 comboios por ano. Este valor traduz-se em, aproximadamente, 300

comboios por dia nos dois sentidos de circulação, valor representativo dos troços com maior quantidade de passagens por dia, nomeadamente entre Braço de Prata e a estação de Lisboa Oriente.

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

Na Linha do Norte I circulam quase todos os tipos de comboios existentes na rede ferroviária nacional. O material circulante dedicado ao serviço de passageiros consiste (i) nas UQE 3500 do operador CP que efetuam respetivamente o serviço suburbano Alcântara – Azambuja/Castanheira do Ribatejo (via Linha de Cintura), (ii) nas UQE 2300/2400 do operador CP que efetuam os serviços suburbanos entre Lisboa-Oriente e Sintra, bem como entre Mira-Sintra e a estação de Alverca (ambas via Linha de Cintura), (iii) nas composições UTE 2240 que efetuam o serviço Regional entre Lisboa, Entroncamento, Porto, Tomar, Covilhã e Guarda, (iii) nas composições com locomotiva elétrica da série 5600 e carruagens CORAIL/Sorefame da operador CP que efetuam o serviço Intercidades entre Lisboa, Porto, Guimarães, Braga, Covilhã e Guarda, (iv) nas CPA 4000 do operador CP que efetuam o serviço Alfa Pendular entre Lisboa, Porto e Braga e (v) nas composições com locomotiva elétrica da série 5600 e carruagens TALGO IV do operador RENFE que efetuam os serviços Internacionais Sud Express (Paris) e Lusitânia (Madrid).

A tabela 1 resume algumas das características do material circulante de passageiros nesta linha.

Tabela 1. Características do material circulante de passageiros na Linha do Norte I.

Material circulante	Veículo	V max (km/h)	Nº bogies	Nº rodados	Tipo de freio
Série 4000 (Alfa)	Automotora elétrica	220	12	24	100% Discos
Série 3500 (urbano)	Automotora elétrica (UQE)	140	8	16	Rodados motores: discos e cepos; Rodados livres: discos
Série 2240 (regional)	Automotora elétrica (UTE)	120	6	12	100% Discos
Série 2300/2400 (urbano)	Automotora elétrica (UQE)	120	8	16	Rodados motores: 50% cepos Rodados livres: 50% discos
Série 5600 (intercidades)	Locomotiva elétrica	220	2	4	100% cepos

Material circulante	Veículo	V max (km/h)	Nº bogies	Nº rodados	Tipo de freio
Carruagens CORAIL/Sorefame (intercidades)	Veículo rebocado	200	2 (livres)	4 (livres)	Discos e cepos nas rodas

O serviço urbano e suburbano (composições UQE 2300/2400 e UQE 3500) representa cerca de 66 % do tráfego ferroviário diário nesta linha (excluindo marchas). O serviço regional (composições UTE 2240) representa cerca de 18 % do tráfego ferroviário diário, sendo que os serviços de Intercidades, Longo Curso e Internacionais (composições 5600/CORAIL, CPA 4000, 5600/TALGO) representam cerca de 8% do tráfego ferroviário diário que circula na Linha do Norte I.

Além destas composições, circulam na Linha do Norte I as UDD 450 (diesel/elétricas), que efetuam o serviço regional Lisboa-Caldas da Rainha, via as Linhas de Cintura e do Oeste e as composições de mercadorias (locomotivas diesel/elétricas da série 6000/4000-Stadler) do operador Takargo, com origem em Alcântara-Terra e com destino ao Terminal de Bobadela/ Entroncamento, bem como os comboios de mercadorias do operador Medway (locomotivas elétricas 5600). Na Linha do Norte I, o transporte de mercadorias representa cerca de 10% do tráfego ferroviário diário.

Em conclusão, no tráfego ferroviário total que circula na Linha do Norte I, predominam as composições do operador CP que efetuam os serviços urbanos e suburbanos, ou seja, as composições da série UQE 3500 e da série UQE 2300/2400.

No caso do ruído ferroviário, a fonte de ruído cuja contribuição normalmente se prefigura 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 ainda 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. No presente PA da Linha do Norte I, os patamares máximos de velocidade de circulação variam conforme os vários sub-troços, em função das características da via e do material circulante, situando-se entre os 100 km/h e os 200 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 do Norte I. 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 do Norte I 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. O faseamento é ditado tanto pelos benefícios a colher, como pela viabilidade prática da implementação.

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.

4.2. Metodologia geral

O presente PA resulta da avaliação da situação acústica na envolvente da Linha do Norte I (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 do Norte I para os indicadores regulamentares 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 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 a funcionalidade do funcionamento 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. Envolvente acústica da Linha do Norte I

5.1. Análise acústica

O eixo das áreas envolventes da Linha do Norte I (Lisboa St.^a Apolónia – Azambuja) pode ser classificado em termos gerais como apresentando áreas urbanas, suburbanas, industriais e rurais. A Linha segue paralela ao Rio Tejo, por vezes muito próxima dele (entre Alhandra e Vila Franca de Xira), praticamente até Azambuja.

Entre Lisboa St.^a Apolónia, Braço de Prata e Sacavém, situam-se áreas de cariz tipicamente urbano, com áreas habitacionais consolidadas e apresentando uma densidade de ocupação elevada. Existem, no entanto, algumas zonas dentro desta área que se afiguram como do tipo suburbano, com alguns bairros habitacionais antigos de qualidade variável de construção e também algumas áreas industriais em abandono.

Da análise do MER para o troço entre Lisboa St.^a Apolónia e Braço de Prata, pode-se observar que as isofónas, quer do indicador L_{den} (65 dB(A)), quer do indicador L_n (55 dB(A)), se encontram confinadas a um corredor envolvente da linha-férrea relativamente estreito, com uma largura que varia aproximadamente entre os 40 m e os 80 m, devido à presença de edificado na proximidade da via, o qual atua como uma barreira à transmissão aérea das ondas sonoras. Na zona onde o traçado da Linha do Norte I se junta à Linha de Cintura, o referido corredor pode-se estender até uma distância de cerca de 300 m devido à topografia dos terrenos (campo livre).

De Braço de Prata, Lisboa-Oriente e até Sacavém, as mesmas isofónas estendem-se numa faixa mais espalhada, com cerca de 80 a 160 m de largura, podendo alcançar, em situações de campo livre os 300 m, embora a maior parte destas situações, situadas entre o lado descendente da via e o rio Tejo, não apresentem recetores sensíveis.

Desde Sacavém até Vila Franca de Xira, o corredor ferroviário da Linha passa então a atravessar áreas suburbanas com núcleos de edifícios de indústria e de serviços. Encontram-se também na proximidade da via, núcleos de áreas residenciais consolidadas, com uma densidade de ocupação elevada em Póvoa de Santa Iria, Alhandra e Vila Franca de Xira.

Nestes núcleos de áreas habitacionais consolidadas e segundo análise do MER, observam-se níveis de L_{den} superiores a 65 dB(A) num corredor envolvente da linha-férrea com largura variável entre os 50 m e os 150 m. Podem-se observar valores do indicador L_n superiores a 55 dB(A) num corredor de largura

entre os 80 m e os 200 m (campo livre). Fora destas zonas urbanas consolidadas, os níveis de L_{den} superiores a 65 dB(A) situam-se num corredor envolvente da linha-férrea com largura variável entre os 150 m e os 250 m, sendo que os valores do indicador L_n superiores a 55 dB(A) se situam num corredor de largura entre os 160 m e os 300 m (campo livre). Aqui, a densidade de ocupação do solo é baixa, existindo um considerável número de edificações de índole industrial, mas com algumas habitações, relativamente isoladas, situadas na proximidade da via férrea.

Desde Vila Franca de Xira até Azambuja, o corredor ferroviário da Linha passa então a atravessar áreas tipicamente rurais ou sem ocupação específica com núcleos de indústria e serviços. Encontram-se também, na proximidade da via, alguns recetores sensíveis isolados.

Segundo análise do MER, observam-se níveis de L_{den} superiores a 65 dB(A) num corredor envolvente da linha-férrea de largura variável entre os 120 m e os 180 m. Podem-se registar valores do indicador L_n superiores a 55 dB(A) num corredor de largura entre os 200 m e os 300 m. Refira-se que como, neste troço da linha, a densidade de ocupação do solo é substancialmente inferior, a propagação sonora é feita, em geral, em regime de campo livre.

Salienta-se que a envolvente da Linha do Norte I, em praticamente toda a sua extensão, se encontra exposta ao ruído de tráfego rodoviário proveniente de vias rodoviárias com traçados muitas vezes próximos à linha, nomeadamente a EN10, IC2 e a A1.

Todas estas vias apresentam importantes fluxos de tráfego rodoviário, os quais geram níveis de ruído bastante elevados nas suas proximidades. Note-se também que alguns núcleos industriais geram níveis de ruído consideráveis na sua proximidade, devido em grande parte à operação dos seus sistemas de ventilação e refrigeração. Verifica-se, assim, uma importante concorrência em termos de contribuições para o ruído ambiente global registado na envolvente da Linha do Norte I.

Para além de zonas com usos residenciais, foram identificados vários estabelecimentos de ensino e de saúde na envolvente próxima (até 100 m) da Linha, nomeadamente o Hospital da CUF Descobertas e a Unidade de Saúde Familiar do Tejo (Moscavide).

5.2. Medidas já implementadas e em curso

De acordo com informações disponibilizadas pela IP, os operadores de mercadorias (que, na generalidade, “herdaram” o material circulante da ex-CP Carga) beneficiam de já terem sido substituídos sistematicamente, no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias, os habituais cepos de ferro

fundido (CI) por cepos de material sintético (K, L ou LL). Esta intervenção afigura-se como uma medida com implicações nas emissões sonoras geradas pelo tráfego ferroviário total.

A figura 3 ilustra uma composição ferroviária representativa do tráfego de mercadorias que circula na Linha do Norte I.



Figura 3. Comboio de mercadorias composto por locomotiva 5600 e vagões cisternas, na zona de Vila Franca de Xira.

A tabela 2 identifica a medida.

Tabela 2. Medidas já implementadas na Linha do Norte I.

Designação	Início [pk]	Fim [pk]	Extensão [m]	Sentido	Obs.
Intervenção no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias	Toda a extensão da linha		47 000	-	Substituição dos cepos em ferro fundido por cepos sintéticos

5.3. Mapas de conflito

Foi solicitada às Câmaras Municipais, cujas áreas territoriais são percorridas pela GIF, informação relativa ao zonamento acústico dos Municípios 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 Câmaras de Lisboa, Loures, Vila Franca de Xira, Alenquer e Azambuja.

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
LOURES	Zona Mista / Zona Sensível / Zona não Classificada	65 / 55 / 63	55 / 45 / 53
VILA FRANCA DE XIRA	Zona Mista / Zona Sensível / Zona não Classificada	65 / 55 / 63	55 / 45 / 53
ALENQUER	Zona não Classificada	63	53
AZAMBUJA	Zona não Classificada	63	53

Esta informação foi cruzada com a área geográfica da envolvente da Linha do Norte I, 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 (entendida como uma vizinhança de 100 m) desta linha ferroviária.

A partir do MER da Linha do Norte I 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 regulamentares L_{den} e L_n , são apresentados nas figuras 4 a 15. Note-se que estes mapas transcrevem, sob forma gráfica, o diferencial entre as emissões sonoras incidentes e os valores limite correspondentes a cada zona. Assim, podem existir variações em função da classificação acústica do território, caso esta classificação (ou a sua ausência) varie em zonas fora dos limites da faixa de proximidade da via (100 m).

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.

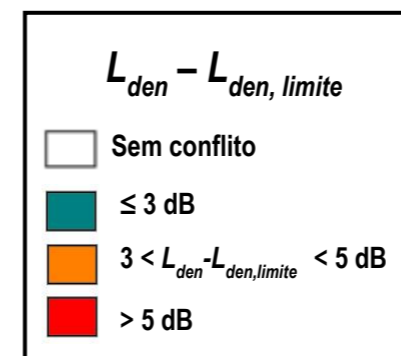
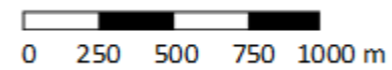
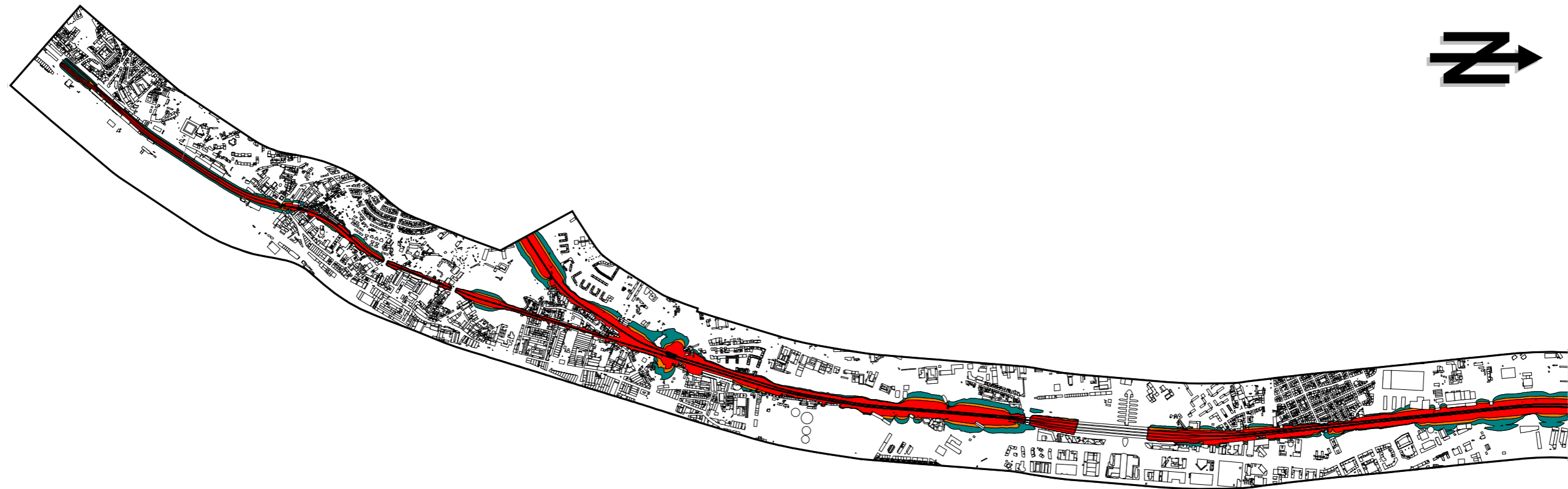


Figura 4. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Lisboa St.ª Apolónia - Moscavide) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

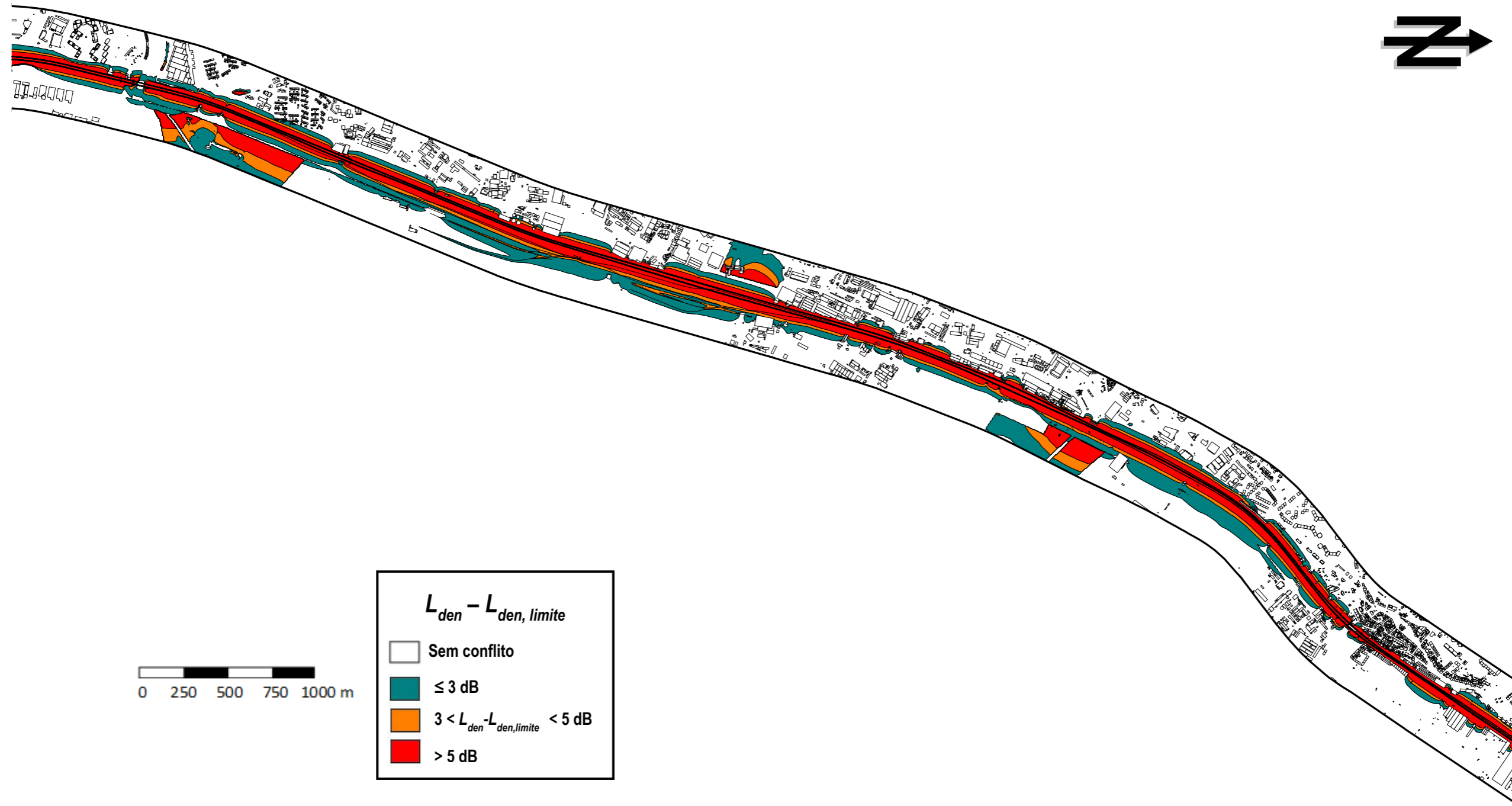


Figura 5. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Moscavide - Póvoa) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

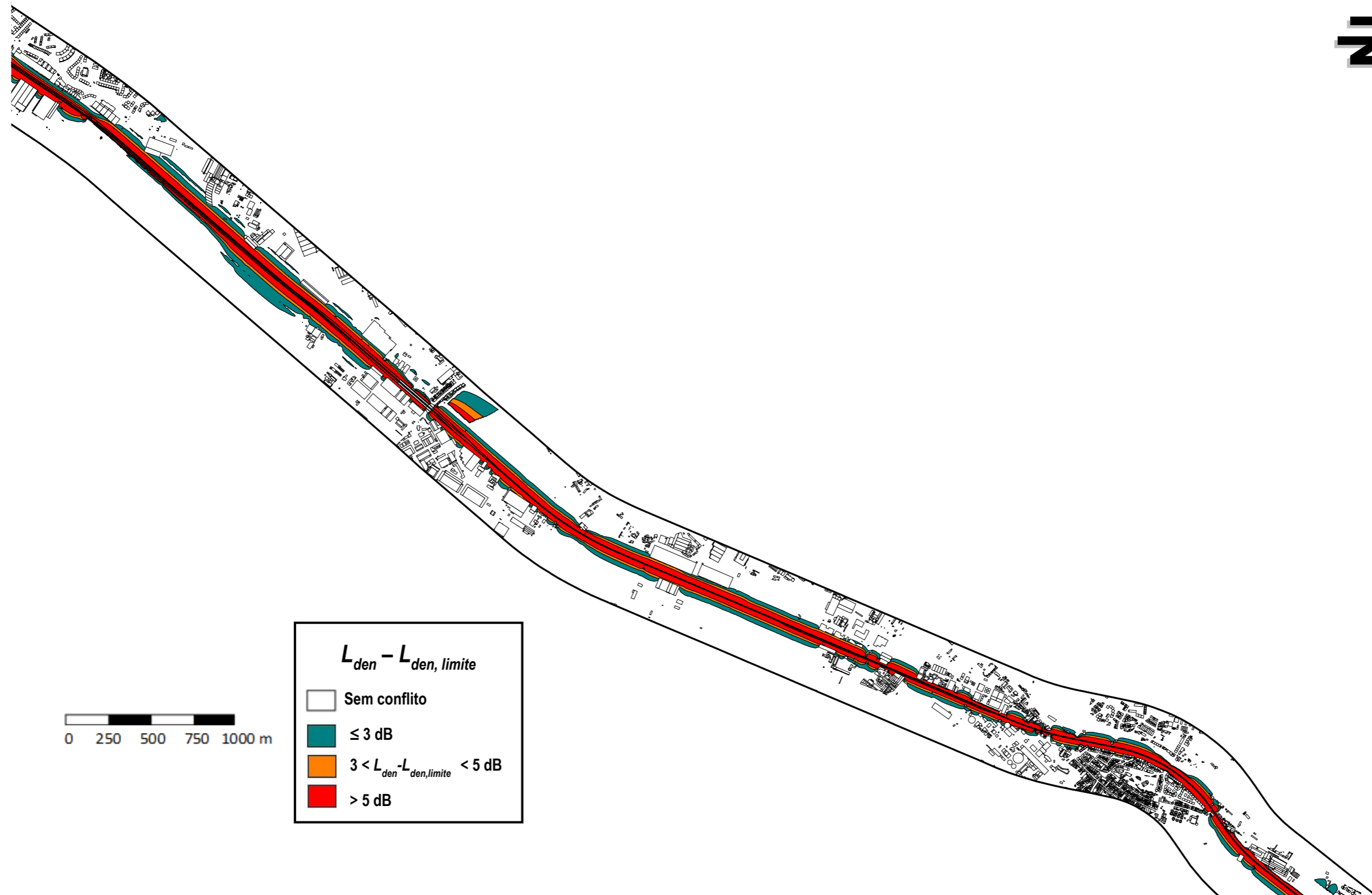


Figura 6. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Póvoa - Alhandra/Vila Franca de Xira) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

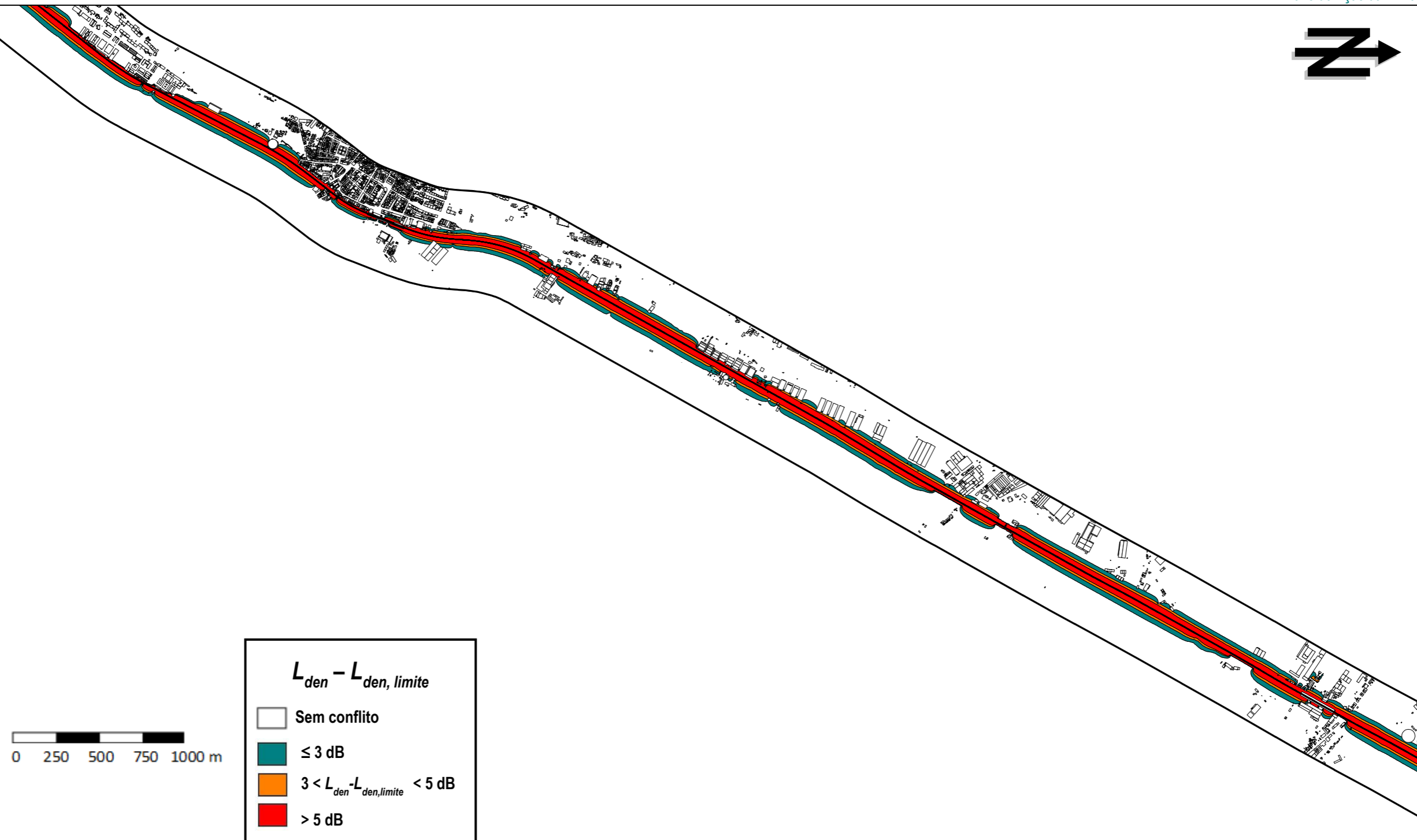


Figura 7. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Alhandra/Vila Franca de Xira - Carregado) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

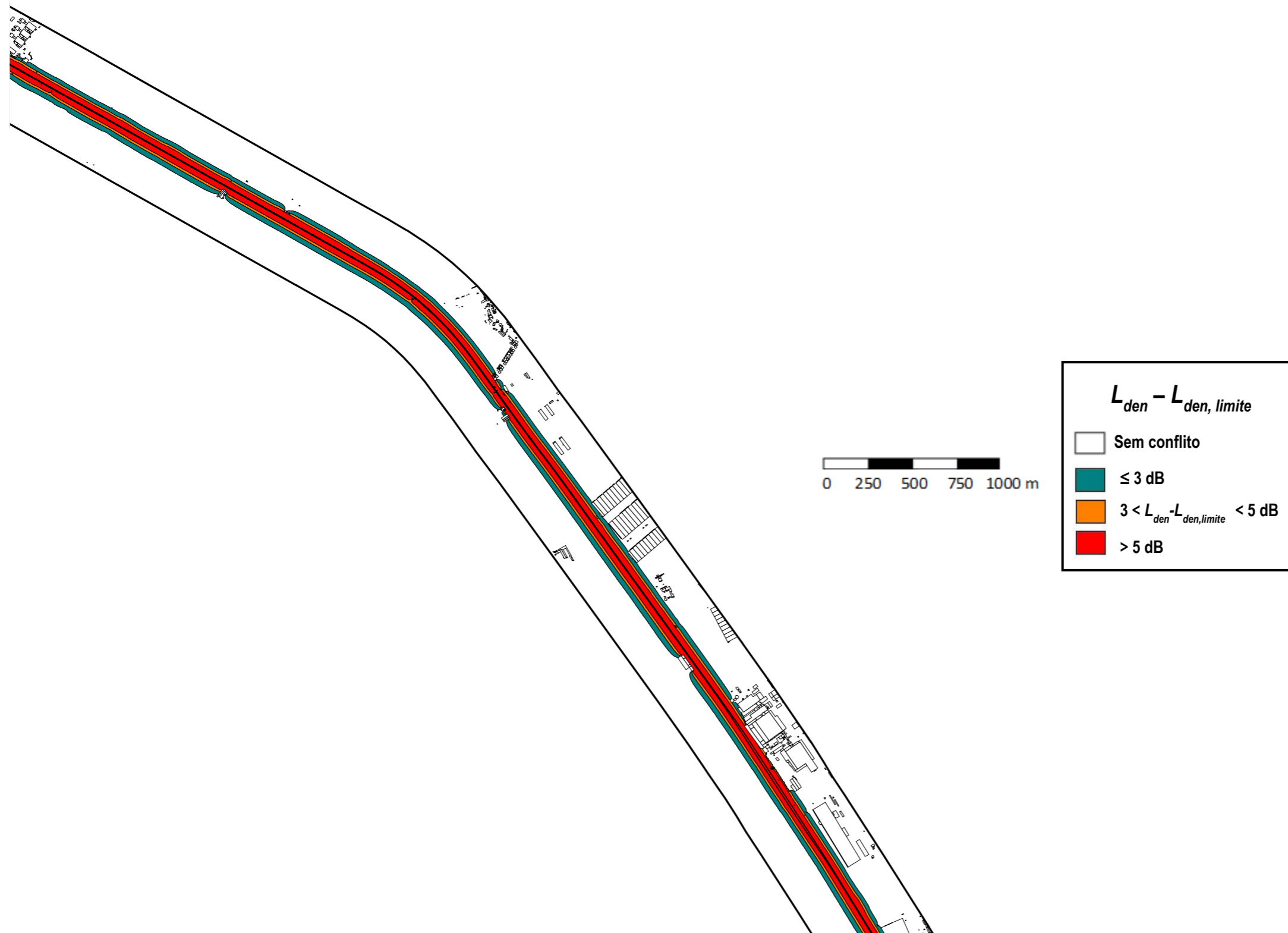


Figura 8. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Carregado/Vila Nova da Rainha - Espadanal da Azambuja) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

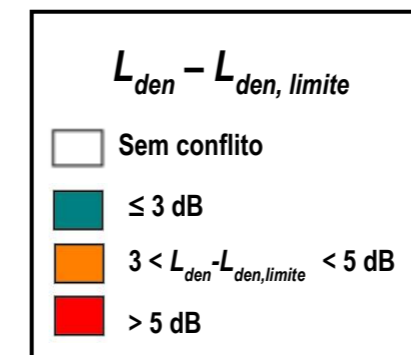
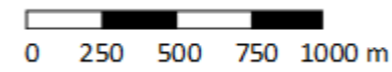
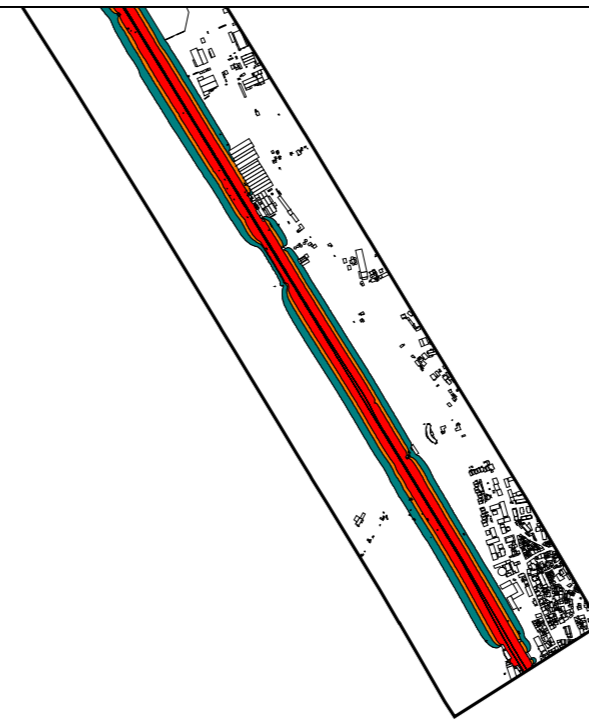


Figura 9. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Espadanal da Azambuja - Azambuja) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}



Figura 10. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Lisboa St.ª Apolónia - Moscavide) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

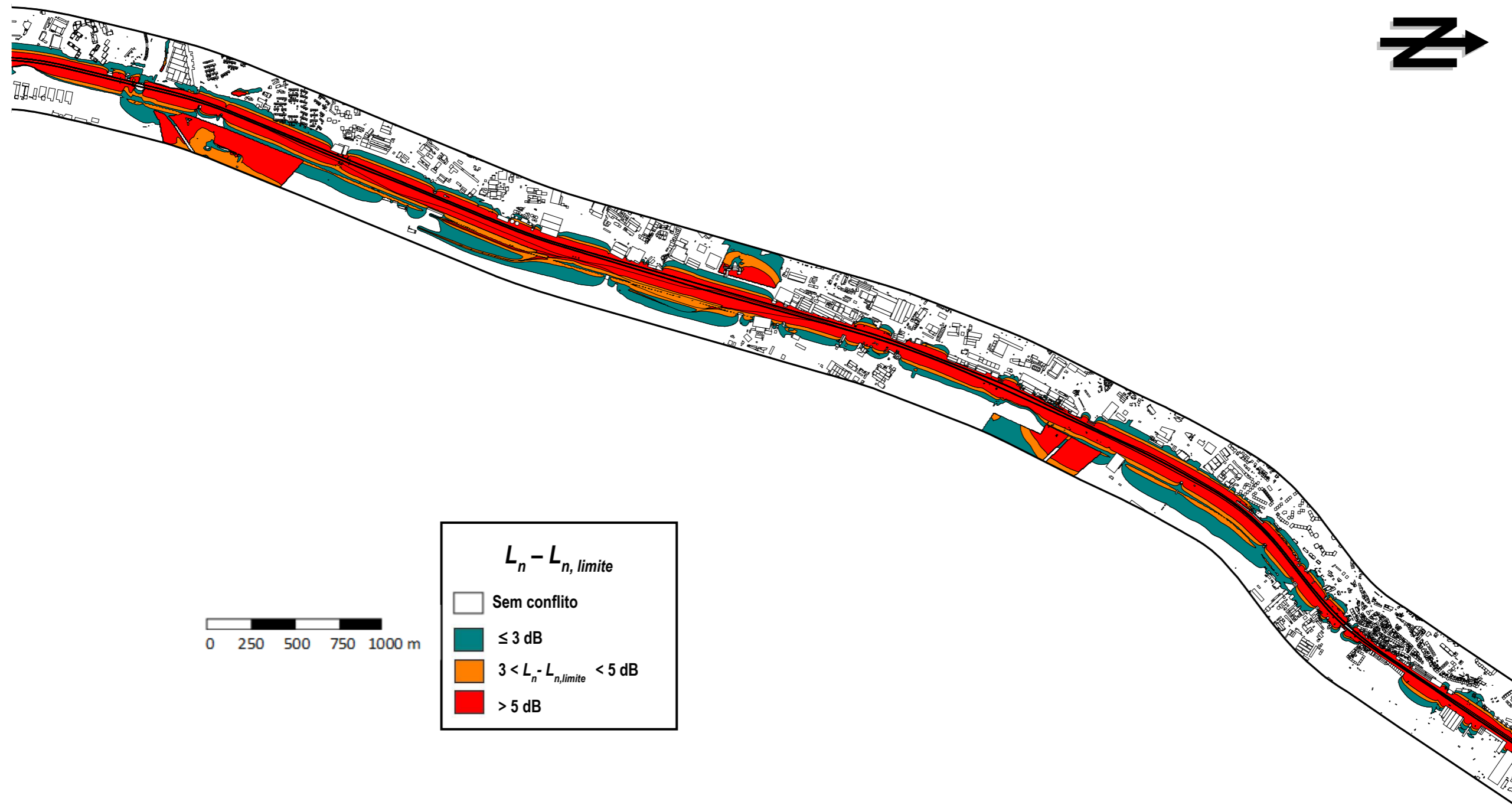


Figura 11. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Moscavide - Póvoa) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

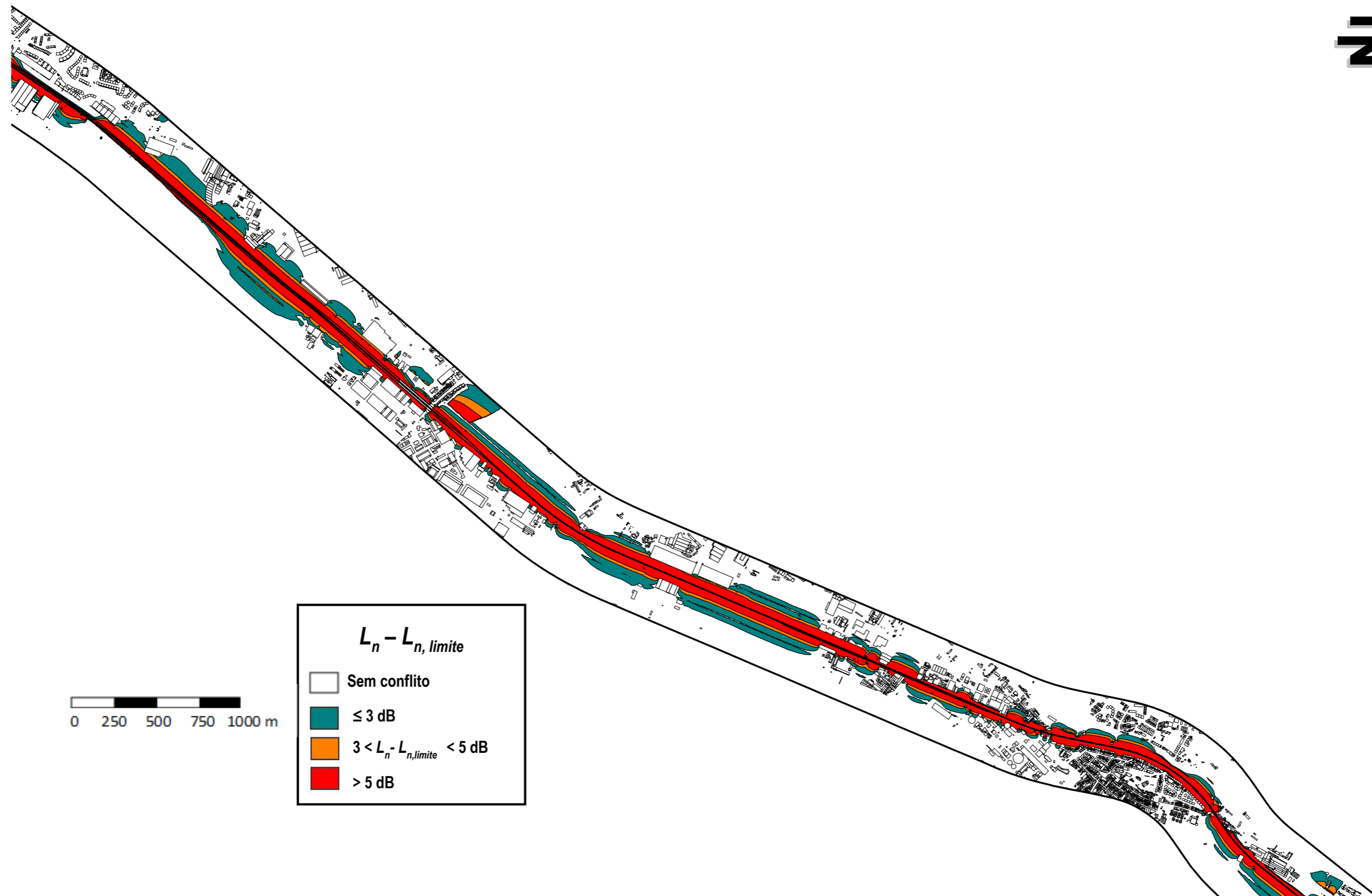


Figura 12. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Póvoa - Alhandra/Vila Franca de Xira) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

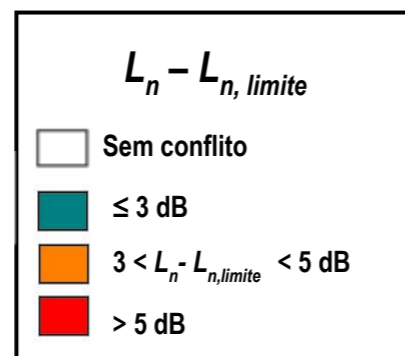
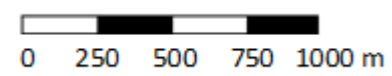


Figura 13. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Alhandra/Vila Franca de Xira - Carregado) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

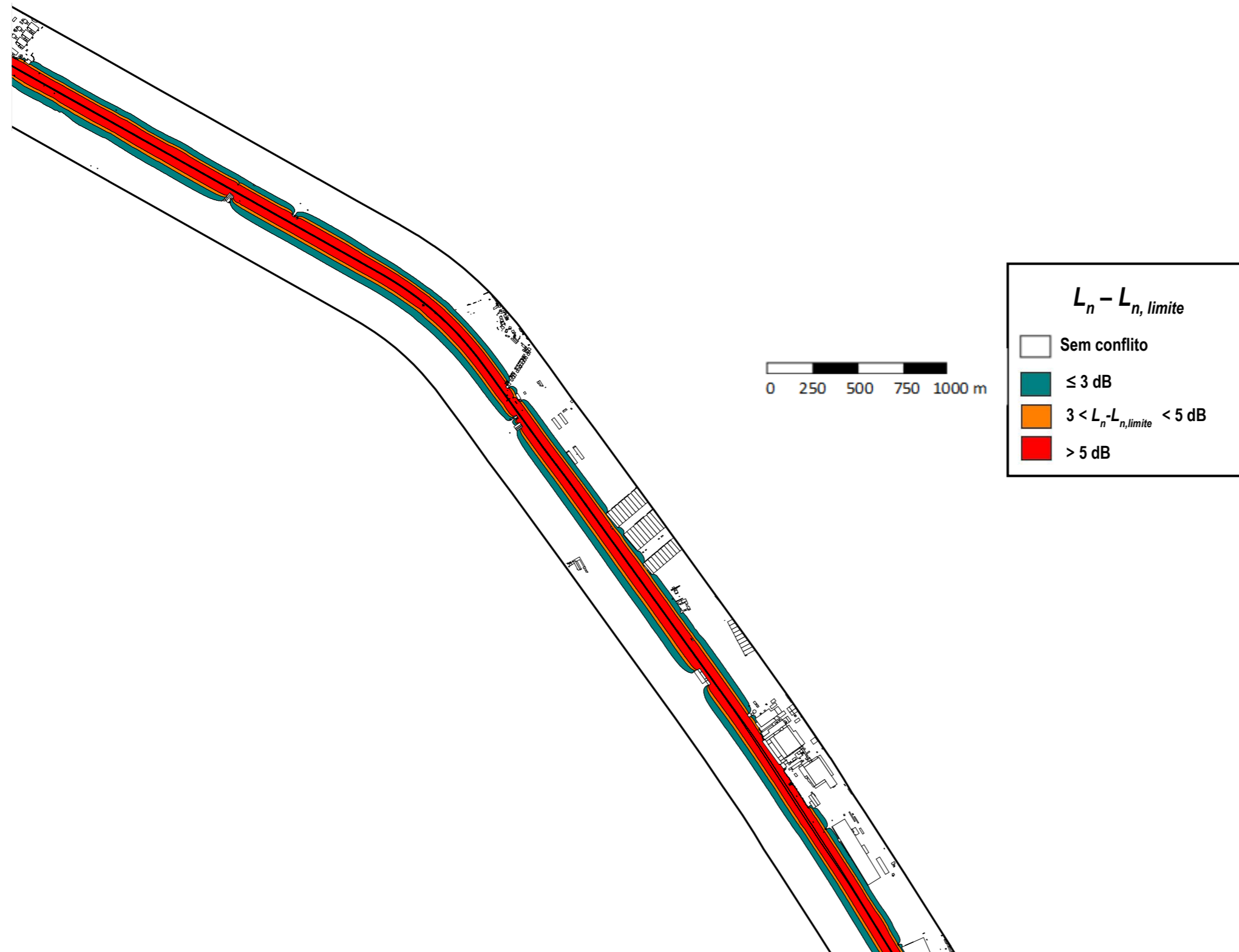


Figura 14. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Carregado/Vila Nova da Rainha - Espadanal da Azambuja) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

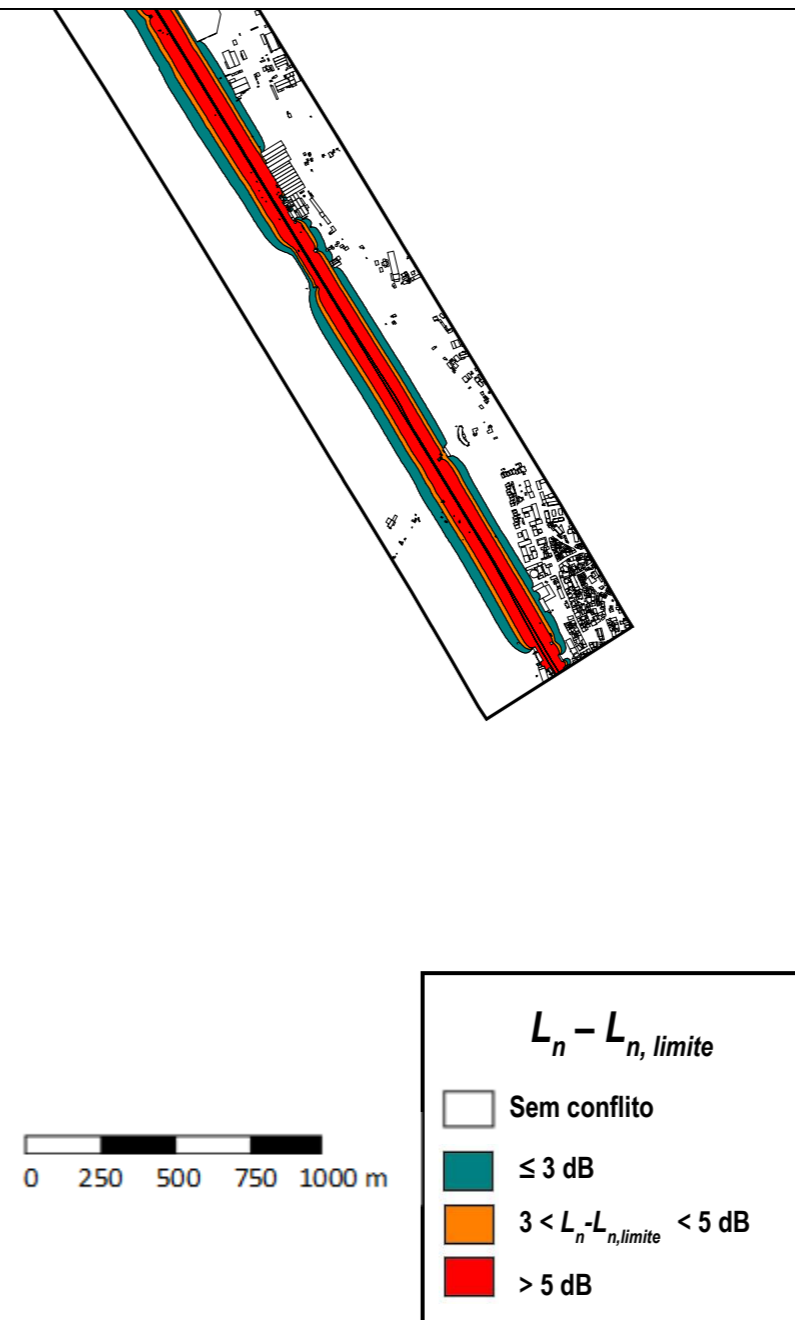


Figura 15. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha do Norte I (Espadanal da Azambuja - Azambuja) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

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 elevada densidade urbanística na envolvente muito próxima da linha (< 50 m), nomeadamente entre a Concordância de Xabregas e a Estação de Moscavide, bem como os núcleos habitacionais de Santa Iria, Póvoa, Alhandra e Vila Franca de Xira. Estas áreas contêm edifícios de habitação com diversas tipologias (principalmente prédios de apartamentos com um número de andares variável). Existem também edifícios dispersos, com exposição ao ruído ferroviário da Linha do Norte I, nas zonas de Póvoa e na zona de Vila Nova da Rainha (Azambuja).

Uma análise mais detalhada das áreas em conflito permite identificar dezanove zonas na envolvente da Linha do Norte I e sobre as quais incide o presente PA.

As diferentes zonas podem ser observadas esquematicamente nas figuras 16 a 18.

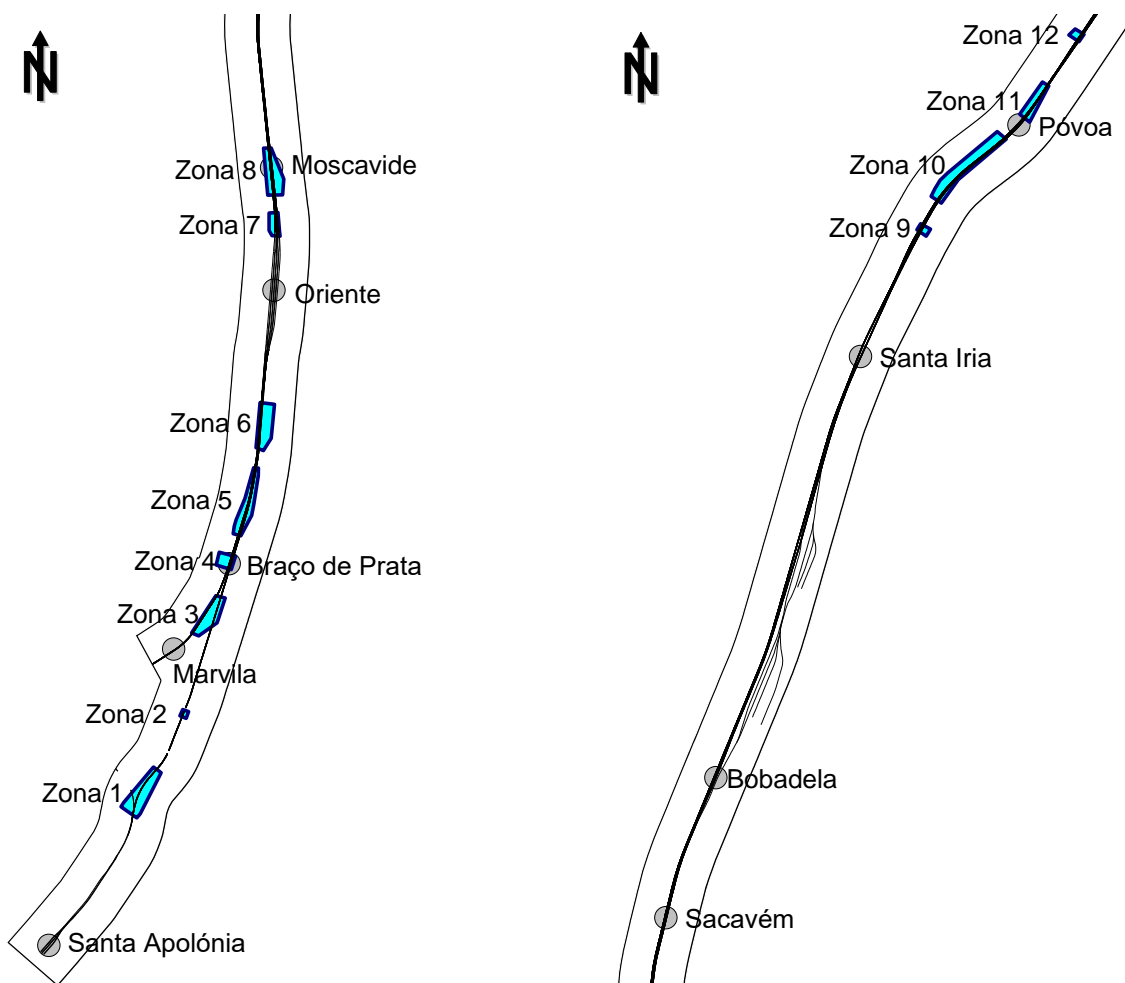


Figura 16. Zonas identificadas da Linha do Norte I com edifícios expostos com uso sensível ao ruído (Zonas 1 a 12).

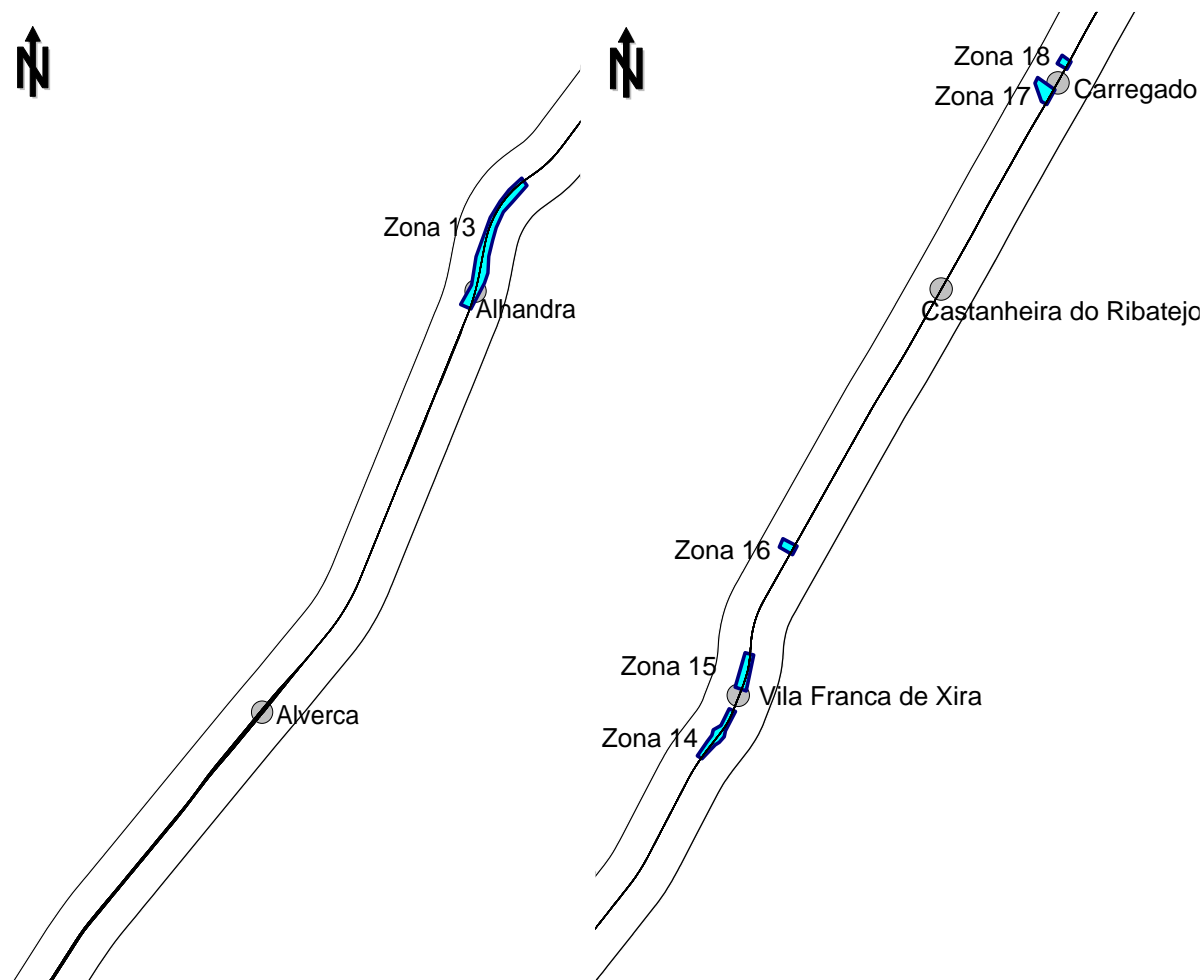


Figura 17. Zonas identificadas da Linha do Norte I com edifícios expostos com uso sensível ao ruído (Zonas 13 a 18).

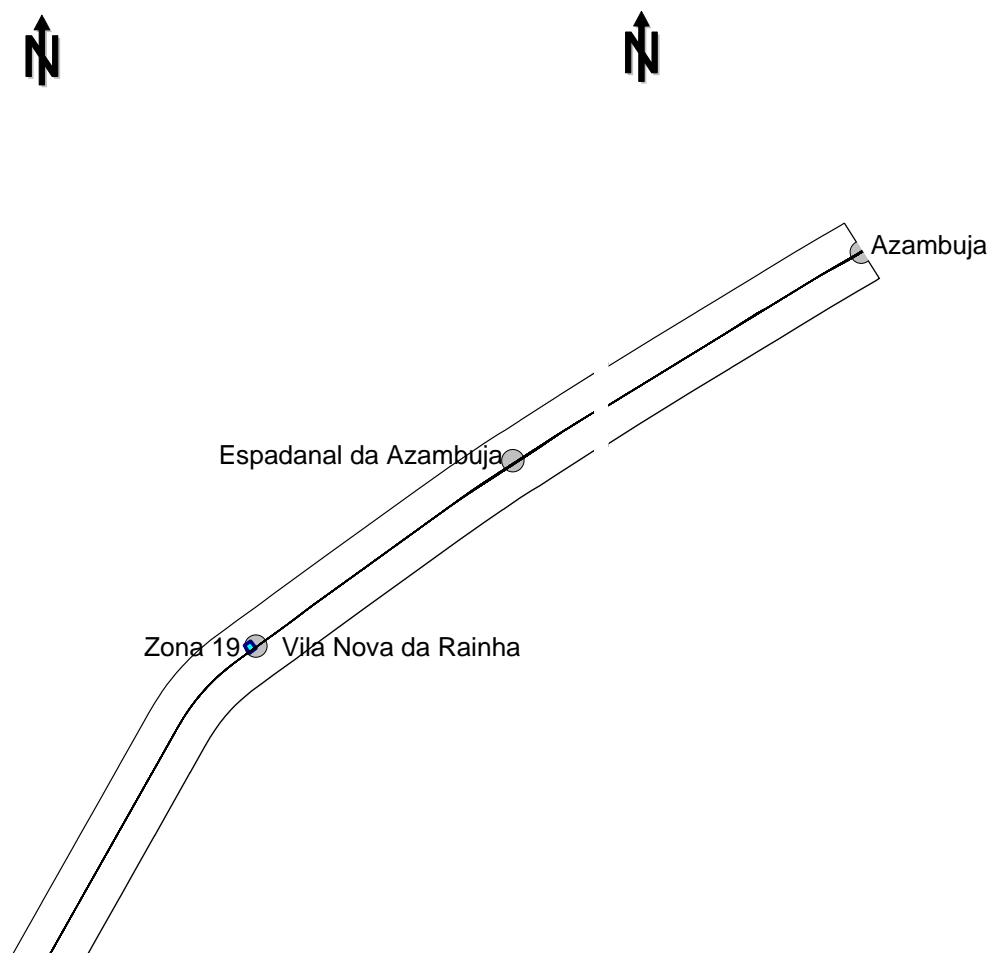


Figura 18. Zonas identificadas da Linha do Norte I com edifícios expostos com uso sensível ao ruído (Zona 19).

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

Tabela 4. Zonas de intervenção na Linha do Norte I.

Zona	Município	Início (pk)	Fim (pk)	Localização recetores
1	Lisboa	1+600	2+080	ambos os sentidos (inclui Concordância Xabregas)
2	Lisboa	2+610	2+670	descendente
3	Lisboa	3+330	3+720	ambos os sentidos (inclui parte da Linha Cintura)
4	Lisboa	3+975	4+100	ascendente
5	Lisboa	4+280	4+900	ambos os sentidos
6	Lisboa	5+070	5+480	descendente
7	Lisboa	6+970	7+175	ascendente
8	Lisboa / Loures	7+330	7+760	predominantemente ascendente
9	Vila Franca de Xira	16+120	-	recetor isolado, lado descendente
10	Vila Franca de Xira	16+410	17+225	ascendente
11	Vila Franca de Xira	17+475	17+830	predominantemente ascendente
12	Vila Franca de Xira	18+300	18+380	ascendente
13	Vila Franca de Xira	25+840	27+110	predominantemente descendente
14	Vila Franca de Xira	29+640	30+150	predominantemente ascendente
15	Vila Franca de Xira	30+350	30+675	ascendente
16	Vila Franca de Xira	31+690	-	recetor isolado, lado ascendente
17	Vila Franca de Xira	36+230	36+390	ascendente
18	Vila Franca de Xira	36+600	33+670	ascendente
19	Azambuja	40+500	-	recetores isolados, lado ascendente

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 19.

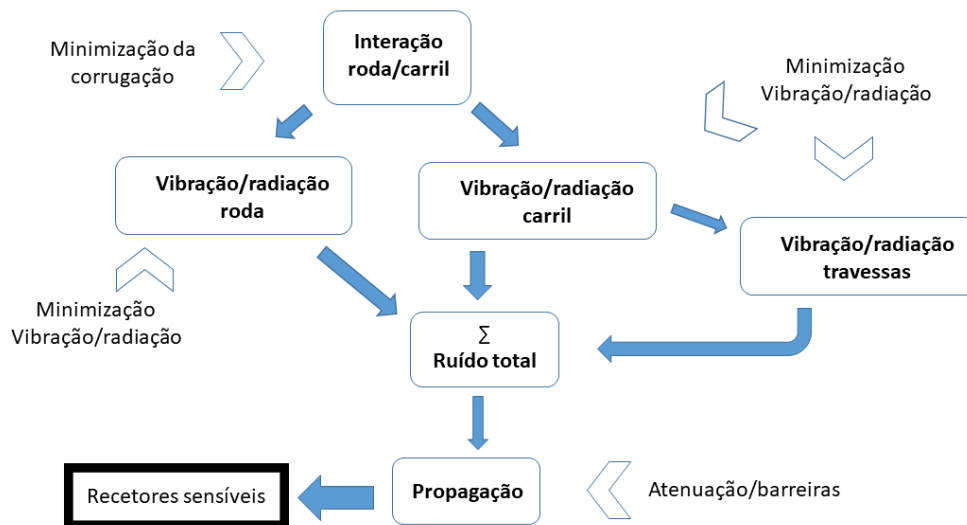


Figura 19. Componentes do ruído ferroviário e respetivas áreas de ação.

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 qualquer 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:

Intervenções na linha

- Renovação/beneficiação integral da ferrovia (RIV) com substituição da superestrutura;
- Soluções para minimização da vibração/radiação do carril
 - palmilhas/mantas resilientes;
 - Minimização da corrugação do carril por meio de esmerilagem acústica;
 - atenuadores sintonizados/*tuned rail dampers* (atenuação da amplitude da vibração ao longo do carril, e logo da radiação sonora, idealmente nas bandas de frequências dominantes).
- Lubrificação de via/modificadores de fricção (*curve squeal noise*);

Intervenções no material circulante

- O material circulante existente pode ser renovado ou substituído por composições renovadas/novas. Estas, em geral, apresentam substanciais reduções de emissão de ruído, devido a melhoramentos a nível das *bogies*, suspensões, freios e rodados.
- Minimização da corrugação das rodas por meio de esmerilagem acústica;
- Modificações no sistema de frenagem (cepos sintéticos K, L, e LL ou sistema de discos);
- rodas perfuradas com anéis de absorção;
- sistemas de absorção sintonizados;
- escudos de blindagem acústica nas rodas;
- modificadores de fricção/lubrificação embarcados (*curve squeal noise*).

Intervenções no percurso de transmissão sonora

- Introdução de barreiras acústicas - dispositivos de atenuação sonora interpostos no percurso de transmissão. As barreiras acústicas são apenas eficazes para atenuação do mecanismo de transmissão por via aérea. O valor da atenuação sonora induzida pela interposição de uma determinada barreira acústica é função não só das suas características físicas como também da posição geométrica relativa entre os elementos intervenientes fonte - barreira acústica - recetor.

Manutenção/monitorização de medidas de minoração

- As medidas de minoração do ruído, tantas as já existentes como aquelas 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 eventuais 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.

Foram encarados um conjunto de intervenções diversas, sob a designação de situação futura, em que a alteração ao *mix* do material circulante e ações diretas na via e/ou no percurso da transmissão sonora, constituem as medidas de controlo e redução de ruído:

- Modernização de troço da via (desde cerca do pk 1+550 até Braço de Prata),
- Alteração do *mix* das tipologias do material circulante na Linha do Norte I (modernização/renovação da série UQE 2300/2400).
- Barreiras acústicas (novas e/ou redimensionadas).

Inclui-se nestas ações:

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

Estas medidas são de âmbito global/local.

Note-se que está planeada a substituição das composições UDD 450 a diesel (serviço regional) por material circulante elétrico, dependendo da concretização da eletrificação da Linha do Oeste ou por automotoras bi-modo. Embora se preveja que esta ação tenha um impacto positivo no ruído devido ao tráfego ferroviário da Linha do Norte I, tal ação não foi considerada no âmbito do presente PA, devido ao reduzido peso do tráfego deste tipo de composições em relação ao tráfego total da Linha do Norte I.

A ação identificada na situação futura, alteração do *mix* das tipologias do material circulante na Linha do Norte I, é consequência direta da modernização/renovação das composições UQE 2300/2400 (ao

serviço na Linha de Sintra), que atualmente circulam na Linha do Norte I, efetuando os serviços suburbanos entre Sintra, Mira-Sintra, Lisboa-Oriente e Alverca.

Refira-se que esta medida só é relevante para o sub-troço da Linha do Norte I em que estas composições circulam (Braço de Prata – Alverca), com principal incidência entre Braço de Prata e Lisboa-Oriente, sendo o seu impacte mais residual entre Lisboa-Oriente e Alverca.

As medidas de redução das emissões sonoras 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 na linha: Modernização de troço da Via

Uma modernização da via-férrea implica, entre outras operações, a substituição integral dos carris, ou seja, a transformação de carril de barra curta com juntas por carril em barra longa soldada (BLS) e a substituição de travessas de madeira (via clássica) por travessas de betão bi-bloco ou monobloco. Estas ações de modernização servem para aumentar o ciclo de vida útil dos ativos da via-férrea.

De acordo com o conhecimento atual, integrado no modelo interino de cálculo de ruído ferroviário RMR96/SRMII, podem atribuir-se benefícios combinados (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, da ordem de 5 dB(A), na utilização de carril de barra longa soldada (BLS) em comparação com carril de barra curta com juntas (devido à eliminação do ruído de impacto) e na substituição de travessas de madeira por travessas de betão monobloco.

Esta medida, modernização da via, é recomendada para o sub-troço da via entre a zona do Concordância/Viaduto de Xabregas (aproximadamente a partir do pk 1+550) até Braço de Prata (aproximadamente pk 3+800).

Intervenção no material circulante: alteração do mix de composições da Linha do Norte I

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 óbvios 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 modernizado/renovado, em geral, apresenta substanciais reduções de emissão de ruído, devido a melhoramentos a nível das *bogies*, rolamentos, suspensões, freios e rodados, com uma consequente melhoria do conforto dos passageiros.

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.

Tal ação implicará uma alteração no *mix* do material circulante da Linha do Norte I, pois aquelas composições circulam nesta linha efetuando o serviço urbano entre Sintra, Mira-Sintra, Lisboa-Oriente e Alverca. 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 do Norte I.

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 20, 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.

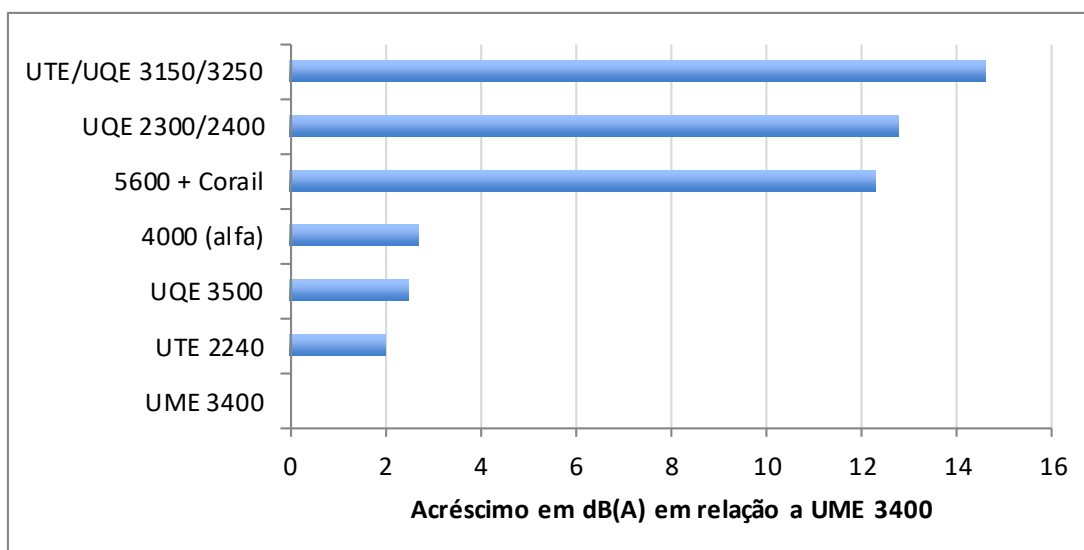


Figura 20. Gráfico ilustrativo dos acréscimos relativos, em termos de emissão de ruído aéreo, do material circulante de passageiros.

O gráfico da figura 20 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 21 (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).

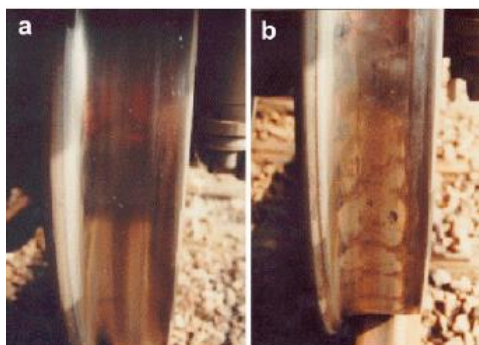


Figura 21. Superfície de rolamento de roda com (a) sistema de frenagem de discos, (b) sistema de frenagem de cepos atuantes na roda.

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 ondulatório nesta, com benefícios notórios no que respeita ao nível de ruído de rolamento. As UQE 3500 têm um sistema de frenagem electro-pneumático predominantemente de discos, com cepos de material sintético. 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 (ao serviço na Linha de Sintra) apresenta uma mistura de discos e cepos que atuam diretamente na roda, com conseqüente desgaste e corrugação deste. 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.

De facto, as composições UQE 3500 e UQE 2300/2400 (ambas operadas pela CP) partilham atualmente entre si a maior parte (cerca de 60%, excluindo marchas em vazio) do tráfego ferroviário de passageiros que circula na Linha do Norte I. No entanto, por esta linha apresentar um complexo *mix* de tipologias de material circulante, os benefícios de uma modernização das composições UQE 2300/2400 tendem a diluir-se, em comparação com outras linhas em que as composições pertencentes a esta série são mais dominantes no tráfego ferroviário total em questão. Por outro lado, os ganhos, no que respeita à redução do nível de ruído ferroviário, referentes a esta substituição, variam em função do peso do tráfego das referidas composições por troço da linha.

Assim, admitem-se benefícios realistas (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, (i) da ordem de 4 a 5 dB(A), no troço entre Braço de Prata e Lisboa-Oriente (cerca de 2,5 km de extensão) e (ii) cerca de 2 dB(A), no troço entre Lisboa-Oriente e Alverca (cerca de 15 km de extensão), devido à alteração do *mix* das tipologias do material circulante na Linha do Norte I. Esta alteração consiste na

modernização/substituição das Séries UQE 2300/2400. Estes valores são suportados pelos valores de emissão constantes do modelo de ruído de tráfego holandês SRMII/RMR96, através da equivalência/substituição de comboios da categoria 2 (UQE 2300/2400) por comboios da categoria 8 (tipo UME 3400) (Alarcão D., Bento Coelho J. L., 2008, 2009).

Por outro lado, 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 da superfície de contacto da roda. Neste caso, admitem-se reduções em relação a rodas atuadas por freios de cepo em ferro fundido, que podem chegar aos 8 dB(A) (Thompson, 2009).

Tal pode ser observado, a título ilustrativo, na figura 11, 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.

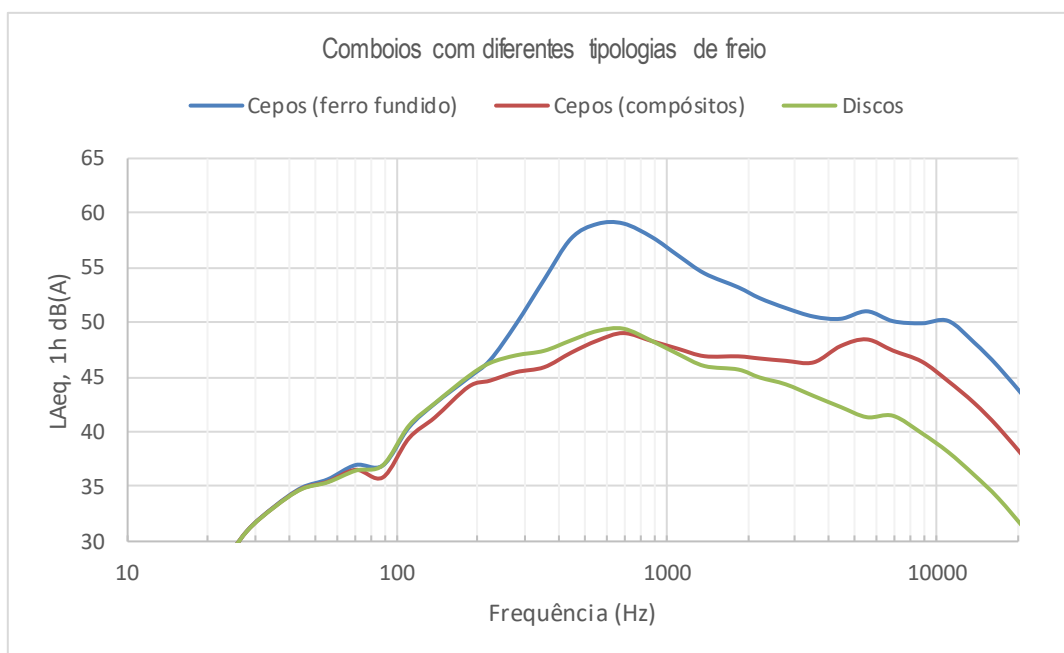


Figura 22. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversas tipologias de freios dos comboios (CNOSSOS, 2012).

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 cepto 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 eventual 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 (da ordem dos 2 a 5 dB, conforme o troço da via em questão), mas além destes serem contingentes à sua efetiva aplicação na totalidade da frota de material circulante em questão, também dependem fortemente da magnitude do desgaste ondulatório da cabeça dos carris.

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 (ver figura 22), a ser efetuada de um modo regular, é considerada como uma boa pratica 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-ferrea.

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).



Figura 23. Esmerilagem de carris na Linha do Norte: locomotiva SPENO e unidades de esmerilagem com aspiração (fonte: www.youtube.pt).

A corrugação cresce no tempo e torna-se necessário uma planificação de ação regular de esmerilagem, como é sugerido na figura 23.

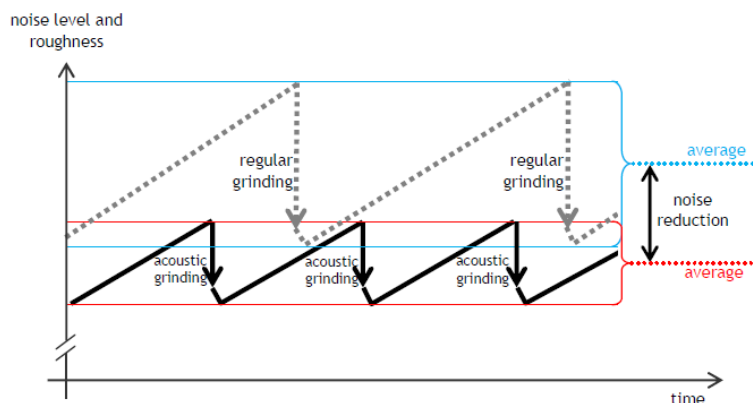


Figura 24. Efeito da esmerilagem de manutenção e da esmerilagem acústica em função do tempo (fonte UIC).

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 ondulatório/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 24, 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 previsionais 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.

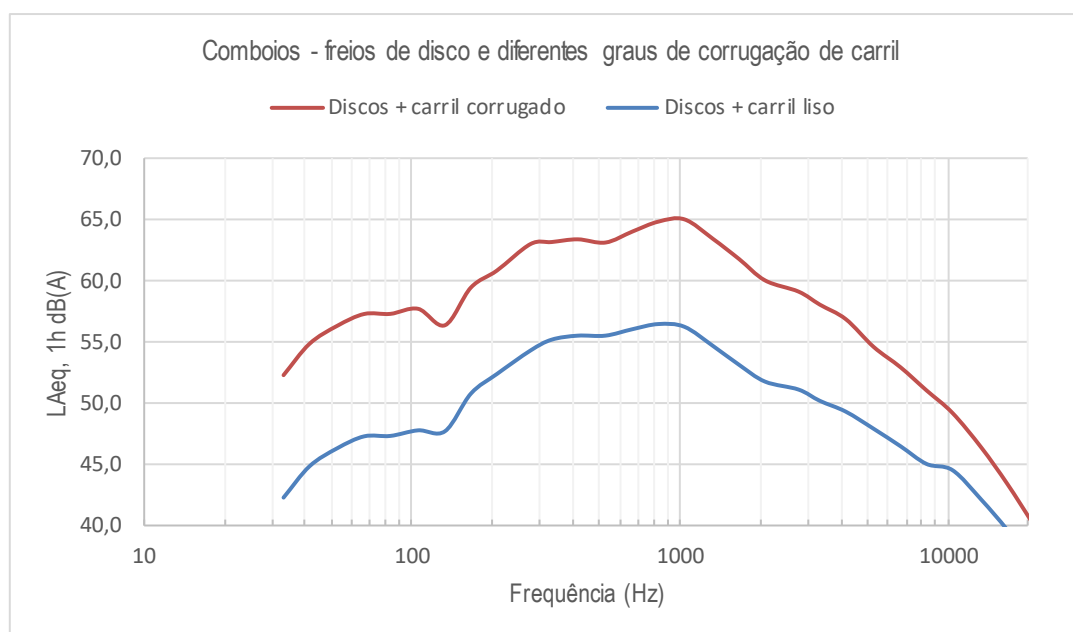


Figura 25. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversos graus de corrugação do carril (CNOSSOS, 2012).

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.

Assim, os benefícios (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, de uma ação periódica de esmerilagem 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 ondulatório e os níveis sonoros emitidos pelo conjunto roda/carril, as ações de esmerilagem corretiva do desgaste ondulatório de carris deveriam ser efetuadas com alguma regularidade e inseridas em programas de manutenção das medidas de minoração de ruído.

Tal garantiria os benefícios (cumulativos com outras medidas) 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 do Norte I.

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.

Nas ferrovias, a eficácia de uma barreira é significativamente beneficiada pelo seu posicionamento na maior vizinhança de proximidade possível ao próprio sistema roda-carril, isto é, tão junto à via quanto possível. Deste modo, a barreira poderá assumir uma altura bastante mais reduzida para proporcionar idêntica atenuação acústica, com fortes vantagens económicas e paisagísticas. No entanto, esta solução pode apresentar problemas em termos de interferência e segurança do funcionamento da infraestrutura ferroviária.

Existem poucas barreiras acústicas implementadas ao longo da Linha do Norte I (já contempladas nos MER). O exemplo da figura 25 apresenta uma barreira acústica transparente (acrílica) instalada na Estação de Moscavide (sentido ascendente).



Figura 26. Barreira Acústica na Estação de Moscavide, sentido ascendente.

Esta barreira específica foi, no presente elenco de medidas propostas, redimensionada em extensão, de modo a poder oferecer uma proteção adequada à população residente no edifício próximo da linha.

A figura 26 ilustra as limitações, em termos de eficácia (atenuação dos níveis sonoros), deste tipo de intervenção, no caso em que existam edifícios com uso sensível situados muito próximo da linha férrea, pois este tipo de medida pode interferir com a segurança operacional da linha-férrea.



Figura 27. Edifício na proximidade da linha, na zona de Braço de Prata (lado descendente). Na imagem pode-se também observar uma composição UQE 3500 (fonte: google maps).

Finalmente, verificam-se situações como a documentada na figura 27, que ilustram os constrangimentos impostos em potenciais medidas minimizadoras por necessidades operacionais, no caso uma passagem de nível na zona urbana de Vila Franca de Xira.

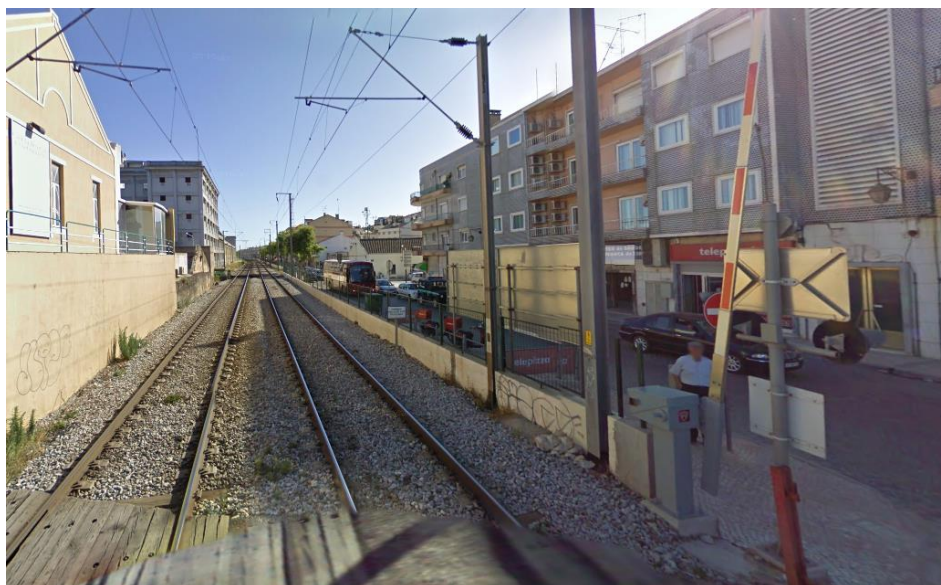


Figura 28. Passagem de nível em Vila Franca de Xira, ilustrando constrangimentos em termos de ações de minimização de ruído ferroviário (fonte: google maps).

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 sonora, em função das características e necessidades de projeto. A relação eficácia-custo varia de caso para caso.

Esta solução é preconizada em troços da linha identificados de acordo 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 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 identificar as juntas e eventuais painéis que necessitem de ser substituídos. A ação não necessita 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.

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
Métodos diretos	Na fonte	Linha	Modernização da via	Até 5 dB(A)
			Esmerilagem acústica: (carril com manutenção regular)	Até 5 dB(A)
		Material circulante	Alteração do <i>mix</i> de comboios por modernização/renovação das UQE 2300/2400	De 2 a 5 dB(A)*
	No percurso da transmissão sonora (aérea)	-	Barreiras acústicas	Limite prático: cerca de 15 dB(A)
Métodos indiretos	-	Verificação/ Monitorização de medidas	-	-
	Gestão de incomodidade	Comunicação com o público Informação de ações desenvolvidas	-	-

*em função do peso do tráfego deste tipo de composições por troço da via

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) 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 do Norte I.

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

ID Zona	Município	Troço de Linha (pk início/fim)	Medida de redução de ruído	Obs.
1	Lisboa	1+550 / 2+160	Modernização via	Desde a Concordância/Viaduto de Xabregas até Braço de Prata
2		2+575 / 2+675	Modernização via	
3		3+375 / 3+800	Modernização via	
3, 4, 5, 6, 7, 8	Lisboa	Todos os troços	Alteração do <i>mix</i> do material circulante na Linha	Modernização/renovação das UQE 2300/2400 (intervenção de nível R2, a cargo da CP)
8	Loures			
9, 10, 11, 12	Vila Franca de Xira			
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Lisboa	Todos os troços	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
8	Loures			
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	Vila Franca de Xira			
3	Lisboa	3+475 / 3+750	Barreira Acústica*	Lado descendente da LN; h = 3,0 m
3	Lisboa	9+910 / 9+950 LC	Barreira Acústica*	Lado descendente da LC; h = 3,0 m
4	Lisboa	3+960 / 4+060	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 2,5 m
5	Lisboa	4+360 / 4+930	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 2,0 m
5	Lisboa	4+575 / 4+950	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 4,0 m
6	Lisboa	5+075 / 5+490	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
7	Lisboa	6+940 / 7+200	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m
8	Lisboa	7+310 / 7+425	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 2,0 m
8	Loures	7+410 / 7+450*	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
9	Vila Franca de Xira	16+025 / 16+200	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
10	Vila Franca de Xira	16+360 / 16+700	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m
10	Vila Franca de Xira	16+835 / 17+290	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m

ID Zona	Município	Troço de Linha (pk início/fim)	Medida de redução de ruído	Obs.
11	Vila Franca de Xira	17+450 / 17+875	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m
13	Vila Franca de Xira	25+810 / 25+940	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
13	Vila Franca de Xira	26+030 / 26+750	Barreira Acústica (dois troços)	Lado descendente; h = 3,0 m
13	Vila Franca de Xira	26+770 / 27+140		Lado descendente; h = 3,0 m
13	Vila Franca de Xira	26+160 / 26+285	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 2,5 m
13	Vila Franca de Xira	27+040 / 27+140	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
14	Vila Franca de Xira	29+600 / 29+900	Barreira Acústica (dois troços)	Lado ascendente; h = 3,0 m
14	Vila Franca de Xira	29+910 / 30+150		Lado ascendente; h = 3,5 m
14	Vila Franca de Xira	29+800 / 29+860	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 2,0 m
14	Vila Franca de Xira	29+910 / 29+990	Barreira Acústica	Lado descendente; h = 3,0 m
15	Vila Franca de Xira	30+300 / 30+375	Barreira Acústica (dois troços – passagem pedonal)	Lado descendente; h = 2,5 m
15	Vila Franca de Xira	30+360 / 30+440		Lado descendente; h = 2,0 m
15	Vila Franca de Xira	30+450 / 30+760	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 2,5 m
16	Vila Franca de Xira	31+625 / 31+725	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,0 m
17	Vila Franca de Xira	36+200 / 36+450	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 3,5 m
18	Vila Franca de Xira	36+560 / 36+700	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 2,5 m
19	Azambuja	40+410 / 40+560	Barreira Acústica	Lado ascendente; h = 4,0 m
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Lisboa	-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
8	Loures			
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	Vila Franca de Xira			
-	-	-	Comunicação, informação	Gestão da incomodidade sentida pelas populações

*acrescento a barreira existente






LC – Linha de Cintura LN – Linha do Norte

9.2 Análise de eficácia

As figuras 28 a 47, 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 do Norte I com usos do solo identificados como sensíveis ao ruído (edifícios de habitação e edifícios de serviços de saúde), ilustrando a situação atual 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 ≤ 3 dB
	Edifícios com usos sensíveis com conflito entre 3 dB e 5 dB
	Edifícios com usos sensíveis com conflito > 5 dB

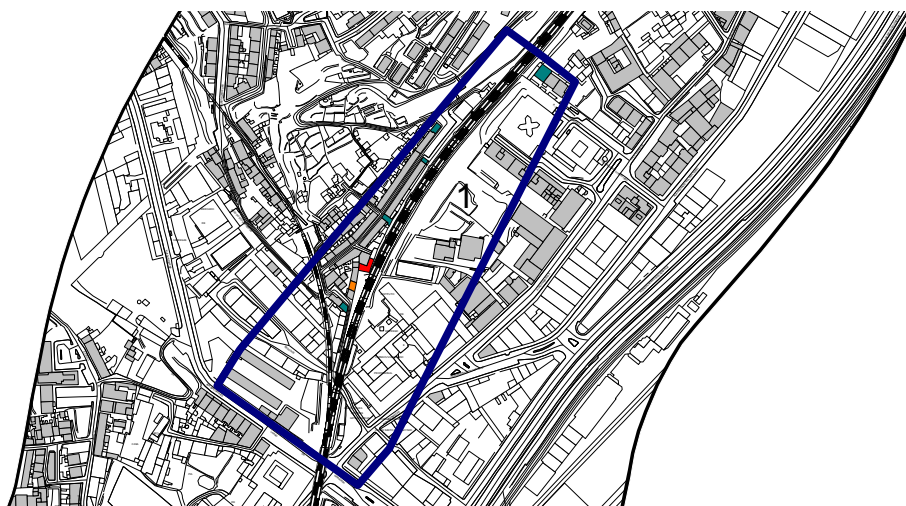
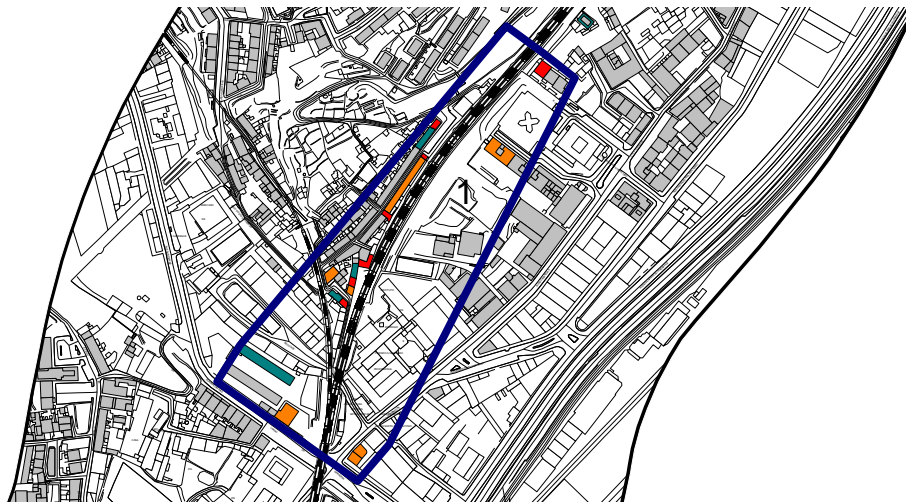


Figura 29. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 1 (Concordância/Viaduto de Xabregas).

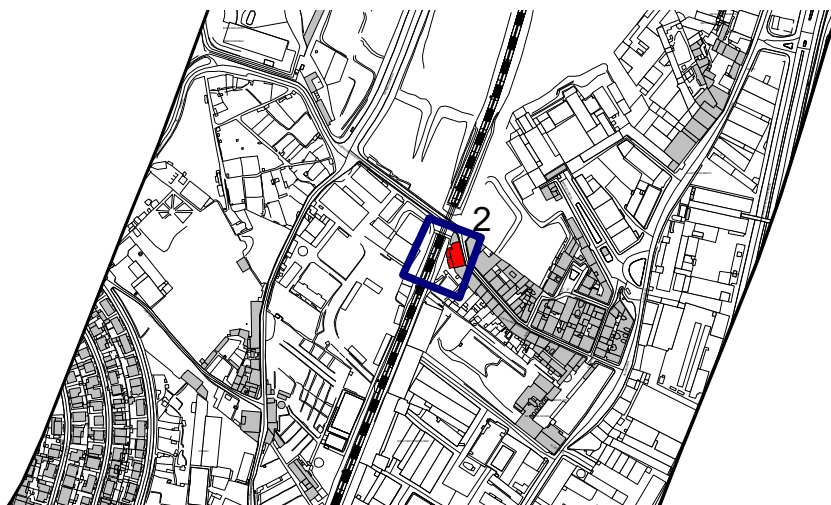


Figura 30. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 2 (Concordância de Xabregas – Braço de Prata)

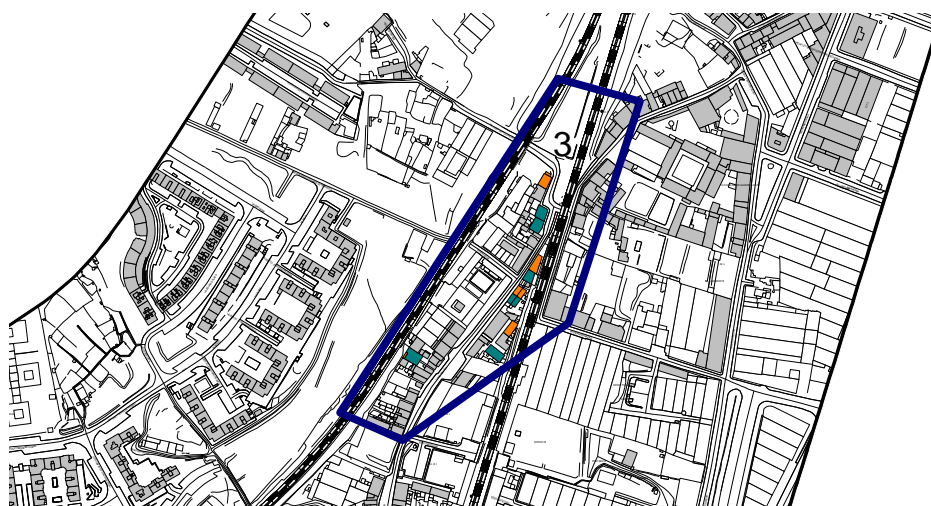
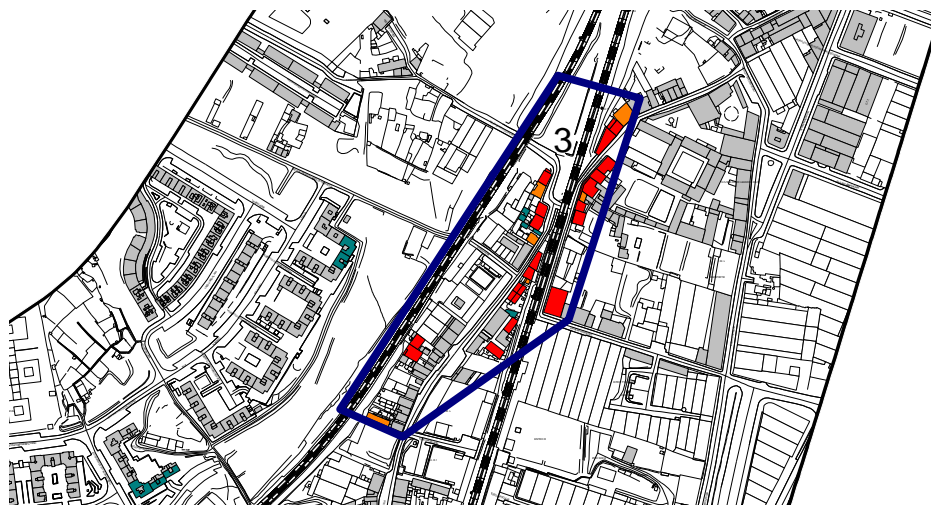


Figura 31. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 3 (Linha de Cintura/Norte antes de Braço de Prata).

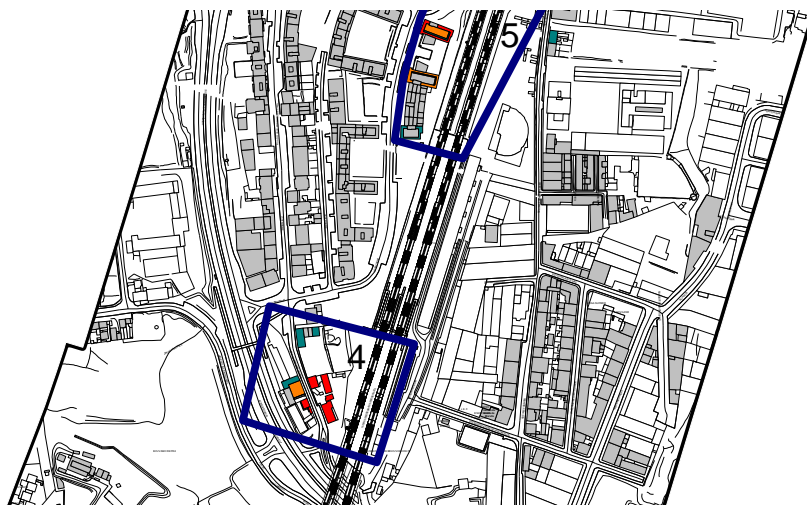


Figura 32. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 4 e Zona 5 (Braço de Prata).

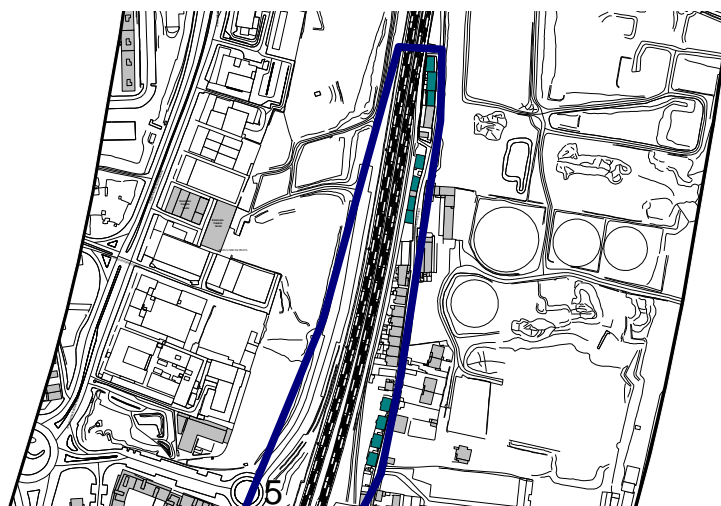
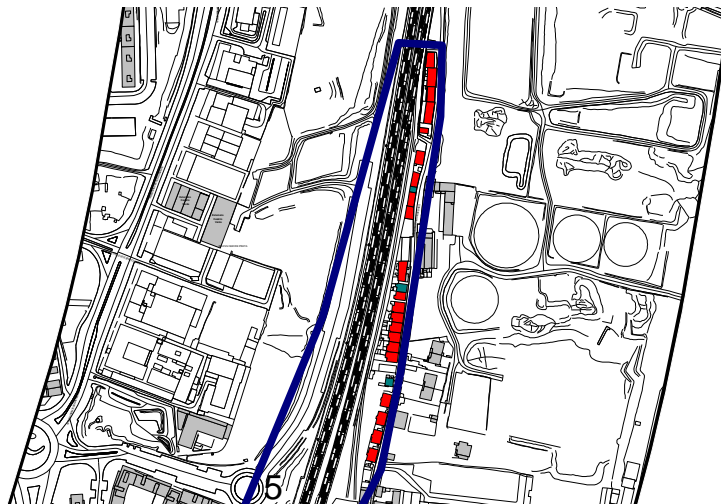


Figura 33. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 5 (Braço de Prata).

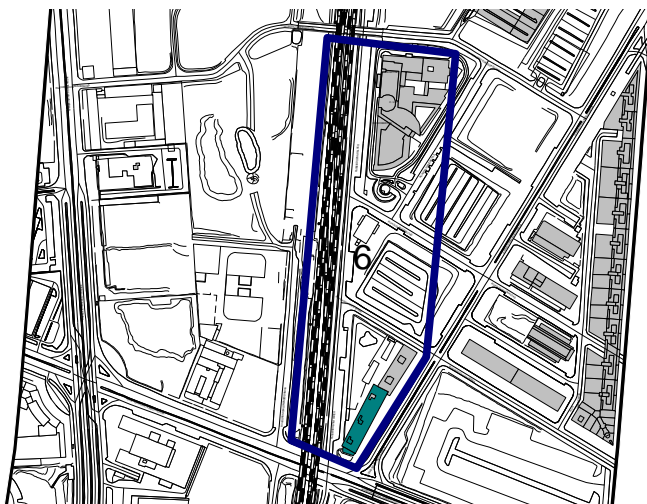
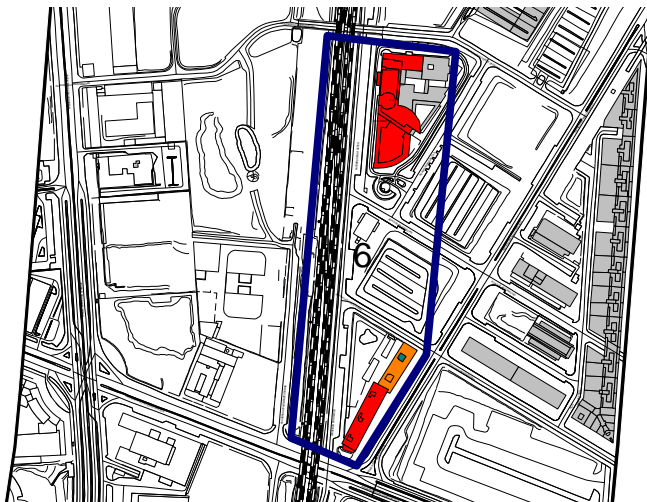


Figura 34. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 6 (Lisboa-Oriente).

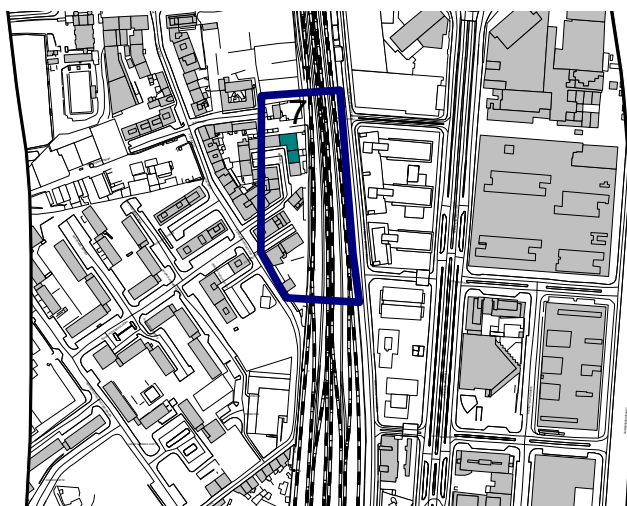
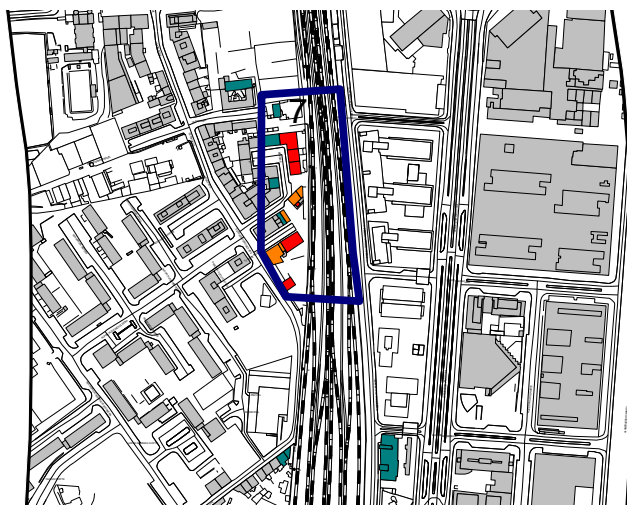


Figura 35. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 7 (Lisboa-Oriente).

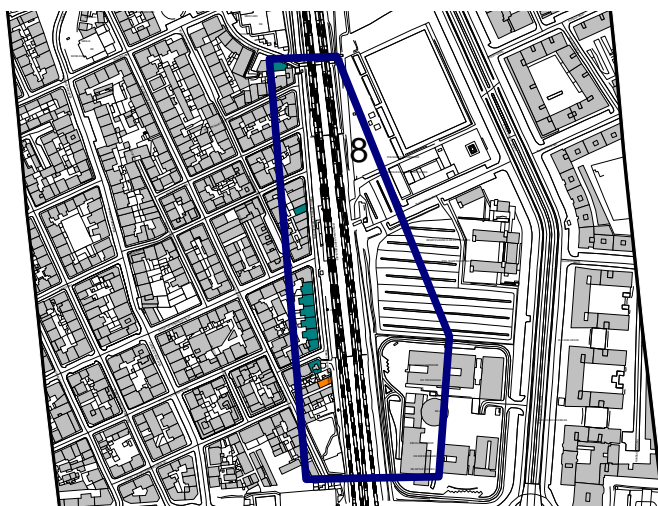
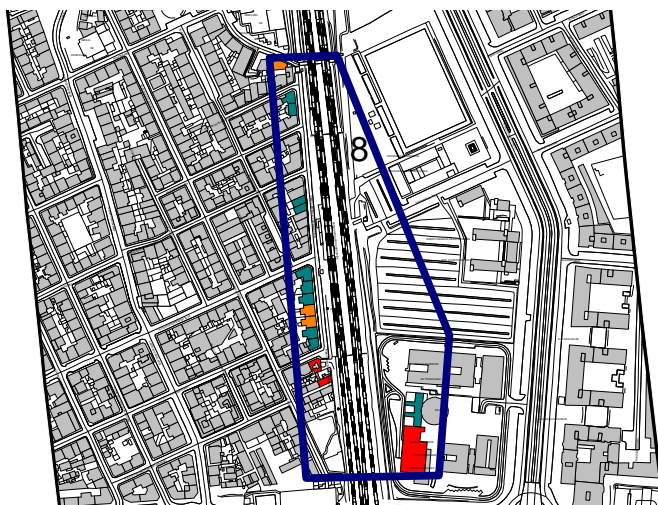


Figura 36. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 8 (Moscavide).

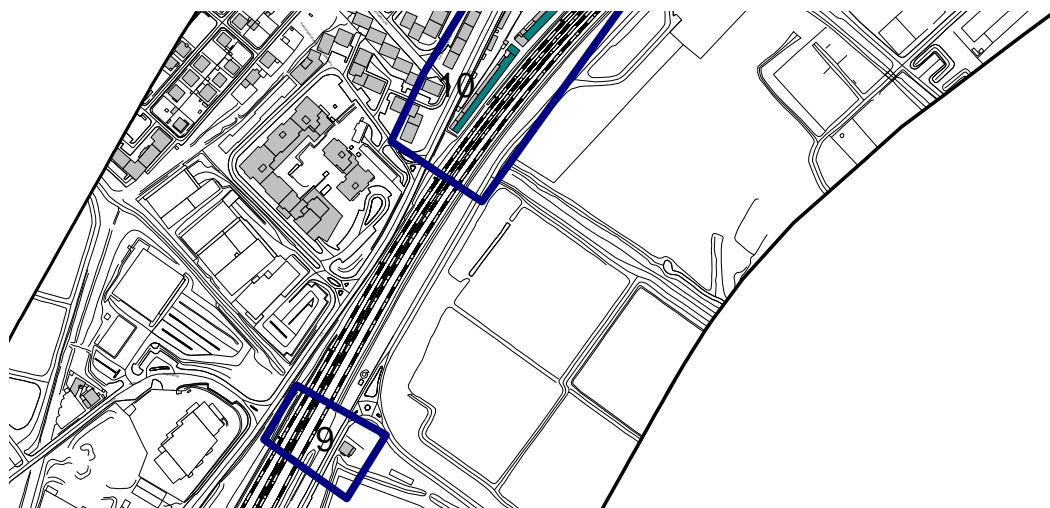
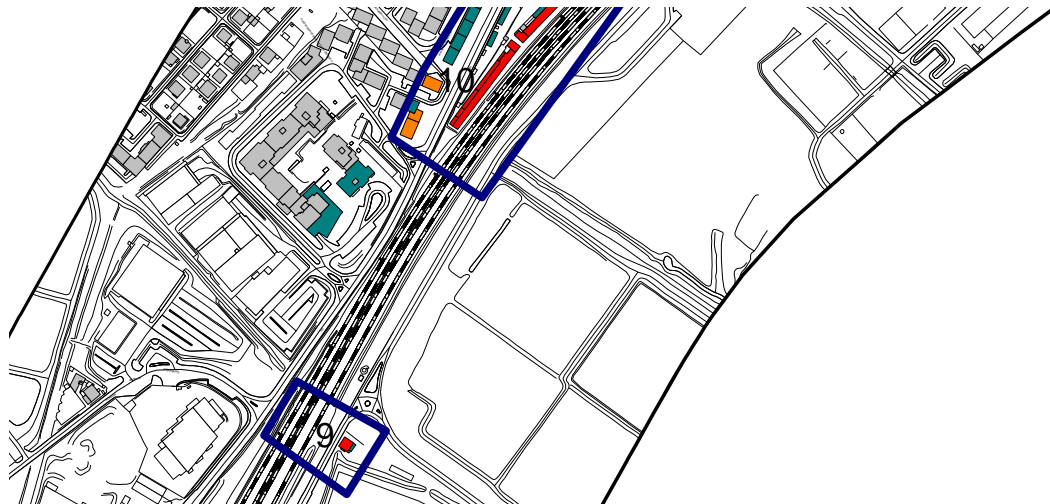


Figura 37. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 9 e Zona 10 (Santa Iria – Póvoa).

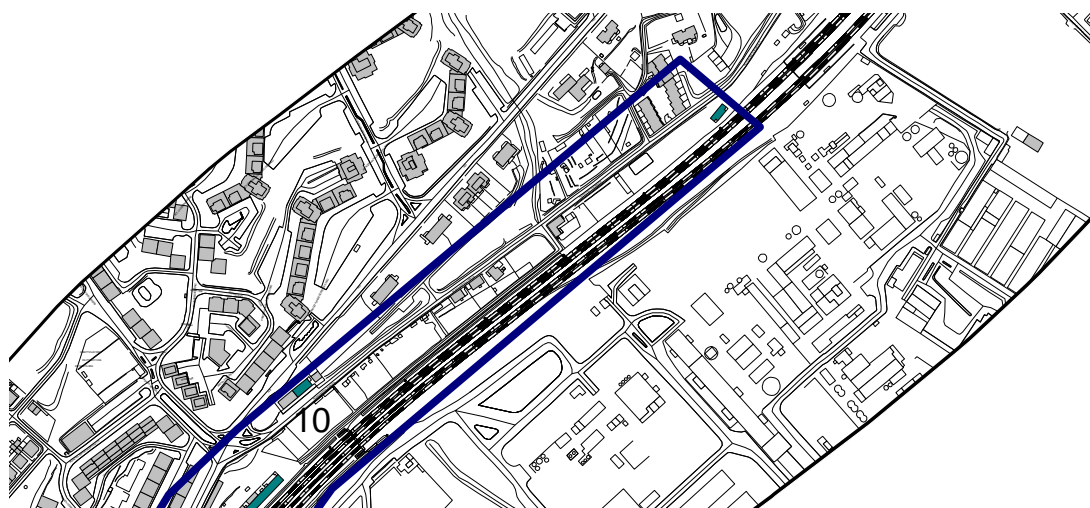
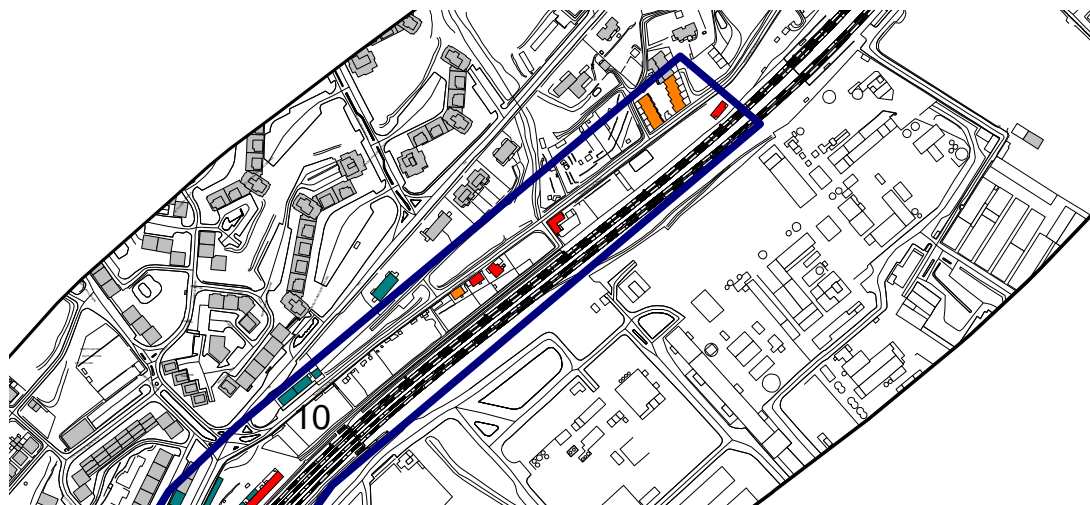


Figura 38. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 10 (Santa Iria – Póvoa).

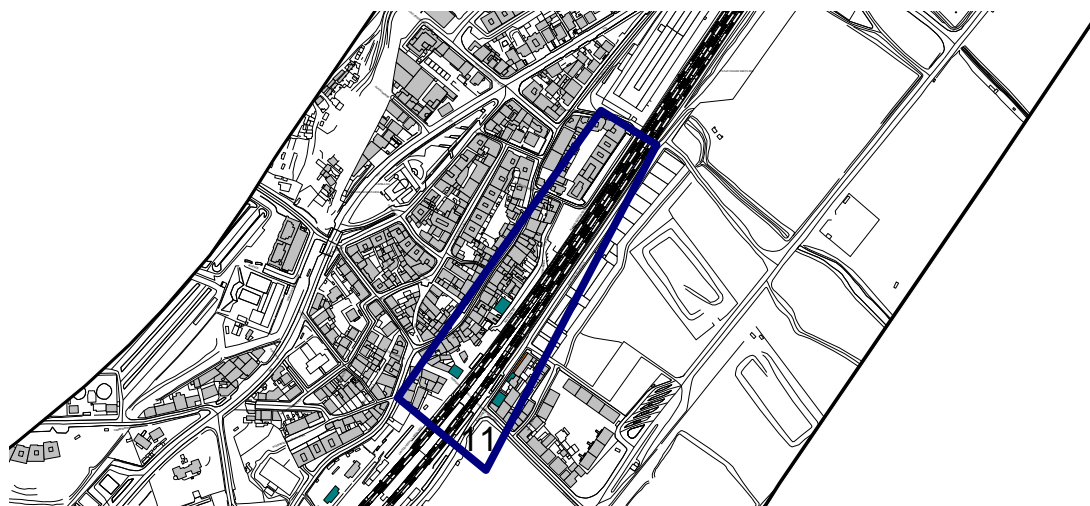
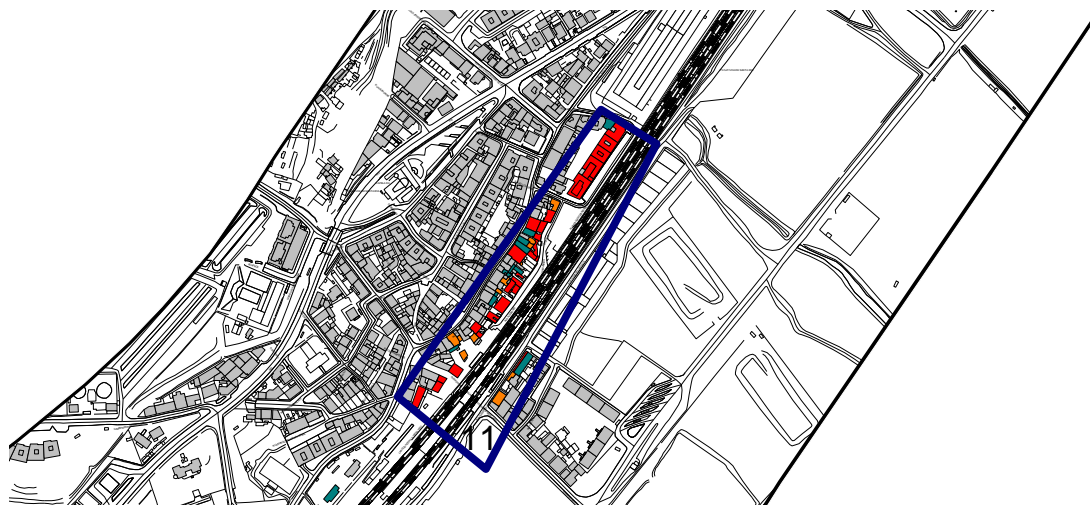


Figura 39. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 11 (Póvoa).



Figura 40. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 12 (Póvoa – Alverca).

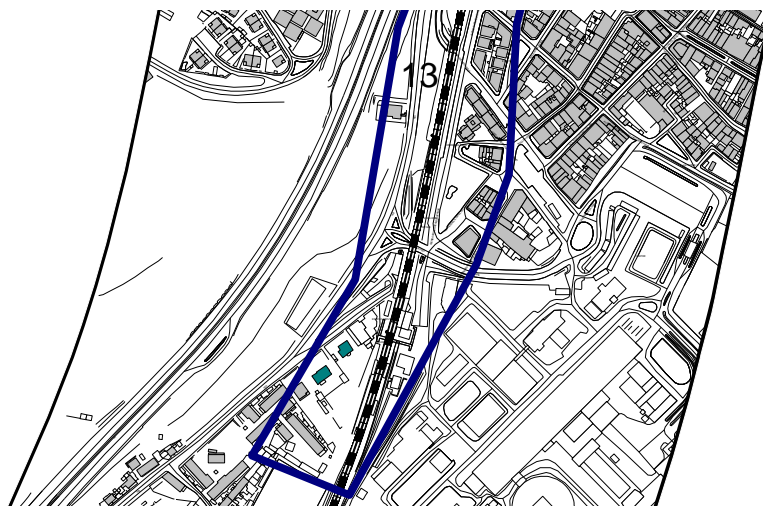
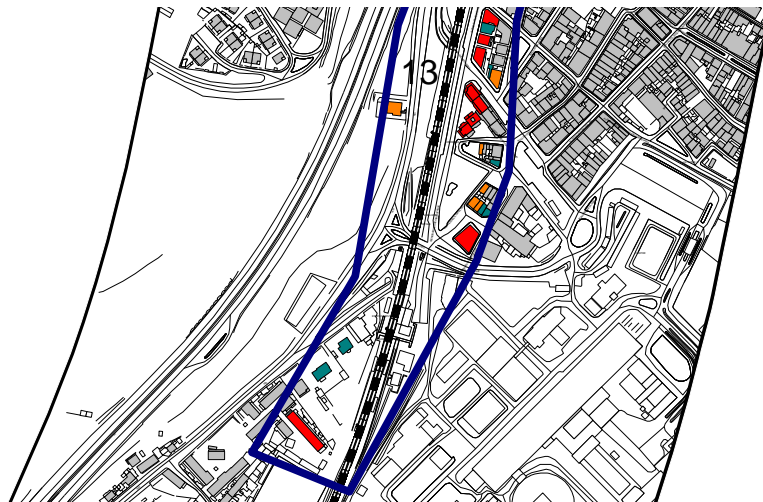


Figura 41. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 13 (Alhandra).

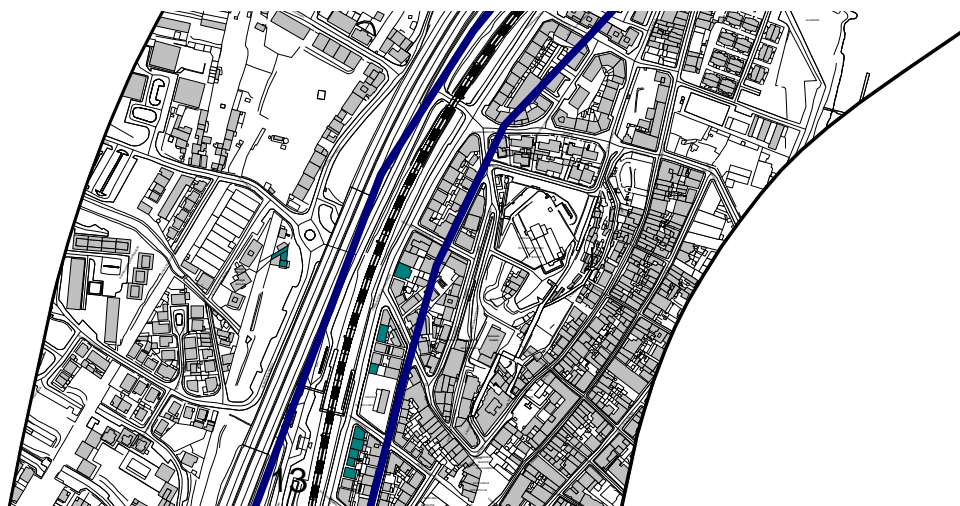
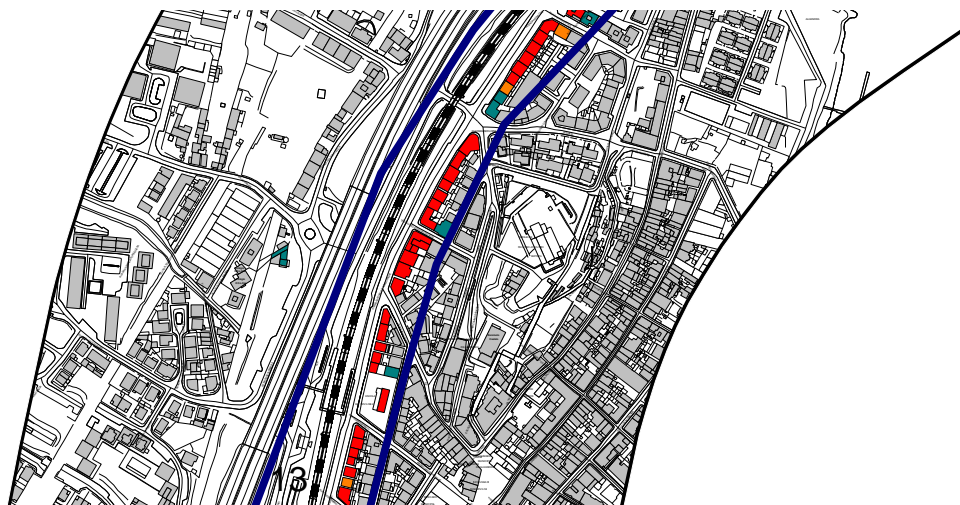


Figura 42. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 13 (Alhandra).

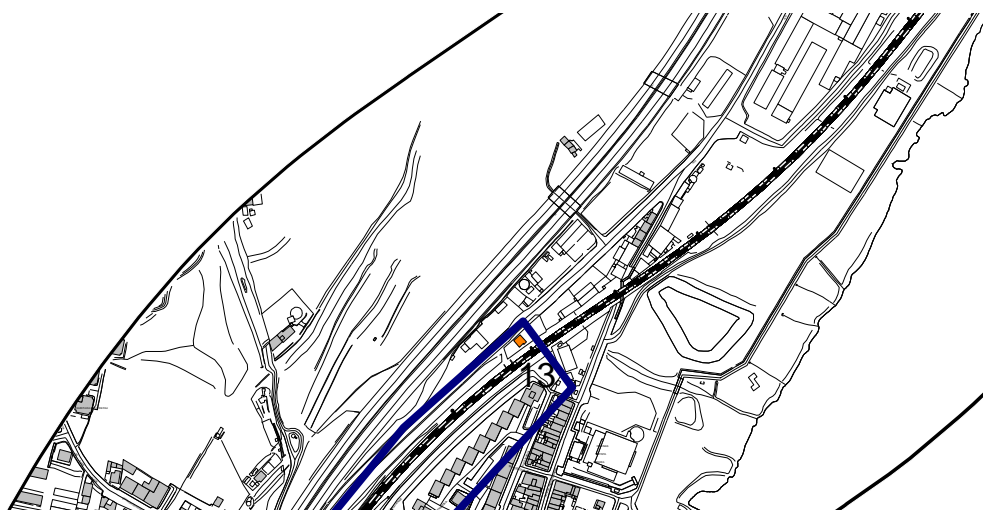
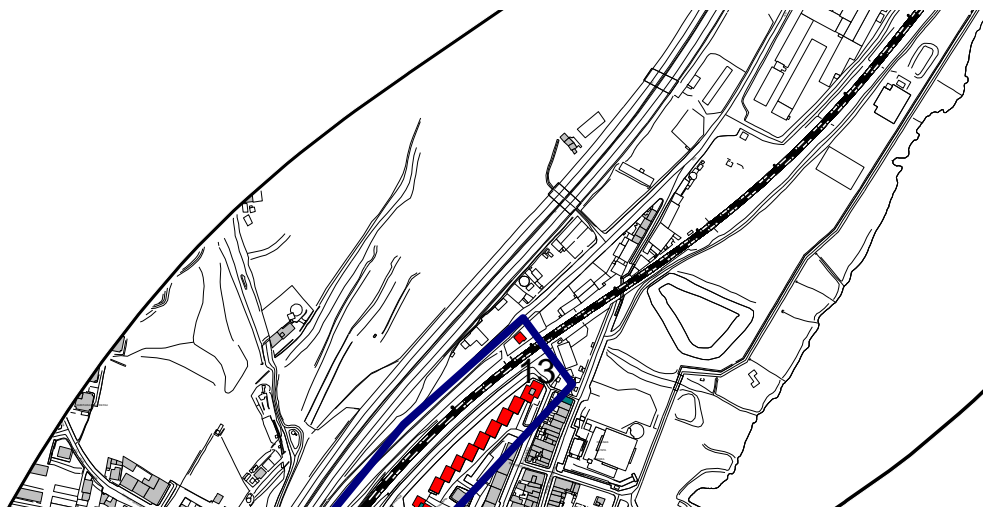


Figura 43. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 13 (Alhandra).

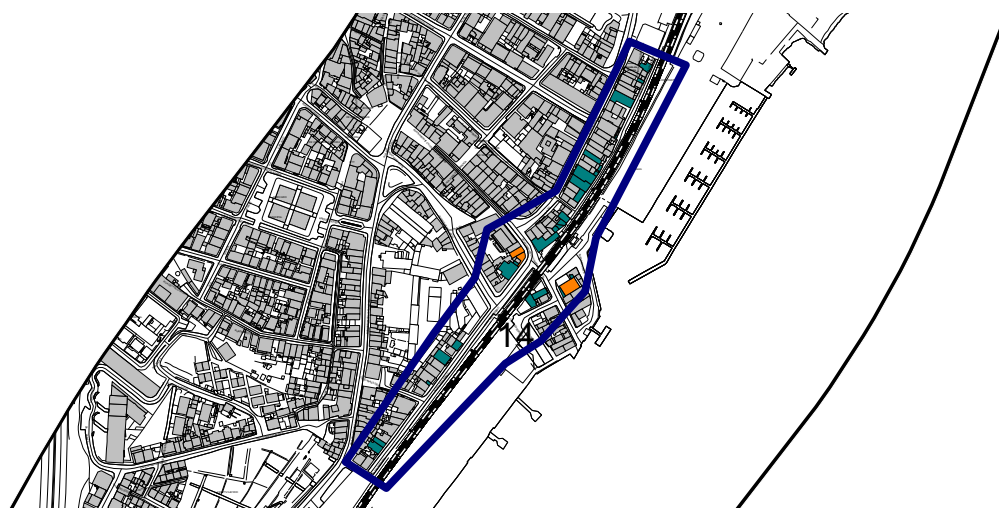
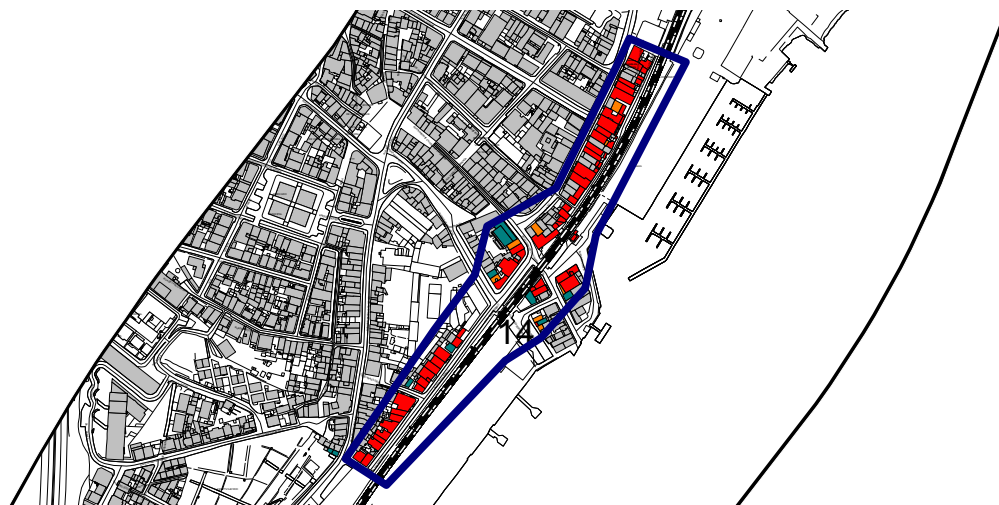


Figura 44. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 14 (Vila Franca de Xira).

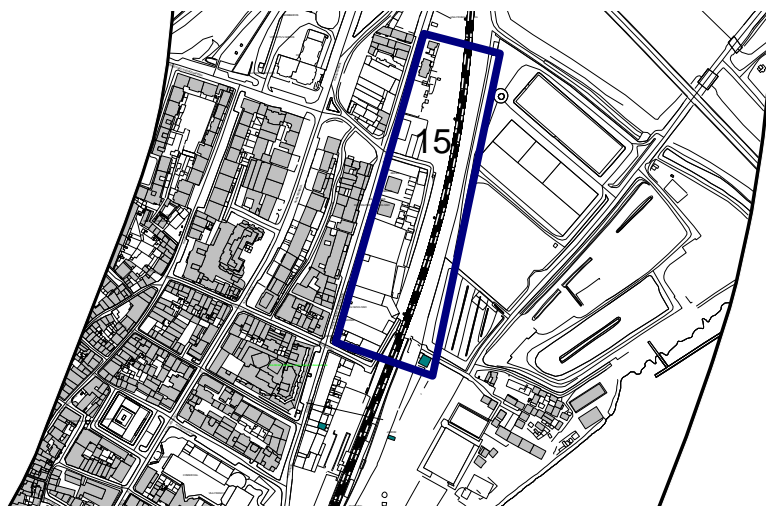
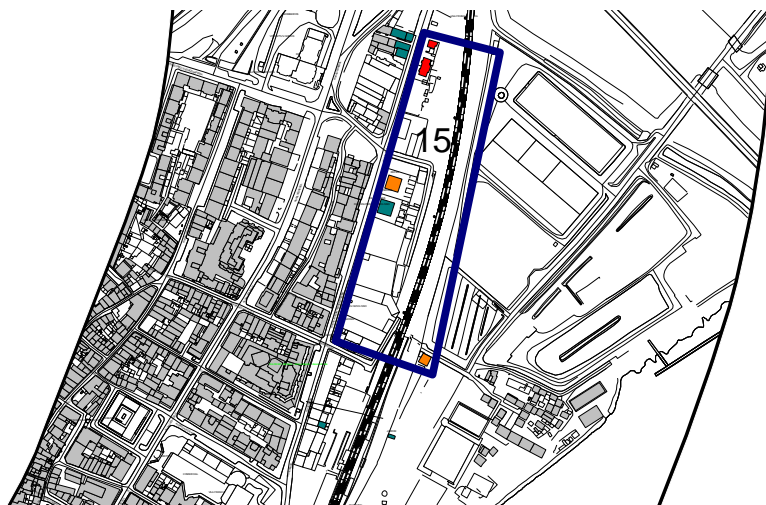


Figura 45. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 15 (Vila Franca de Xira – Carregado).

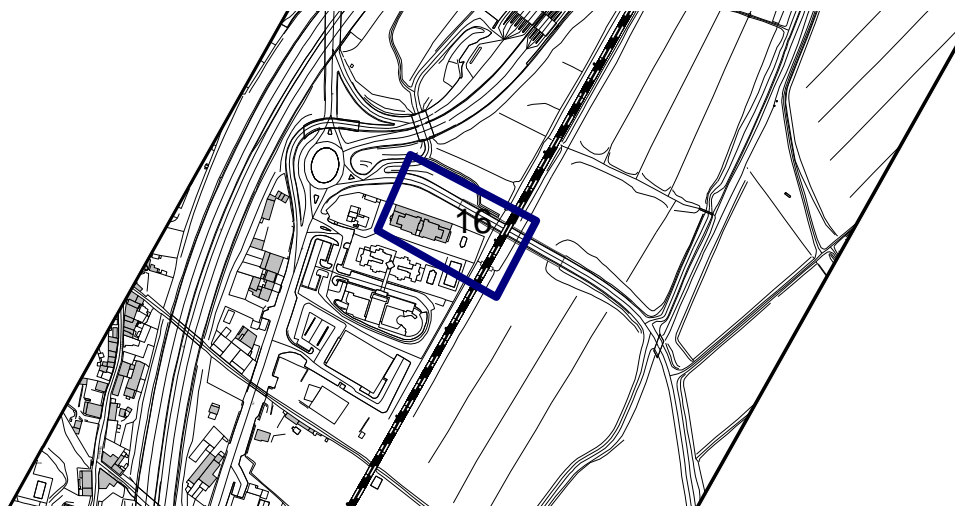


Figura 46. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 16 (Vila Franca de Xira – Carregado).

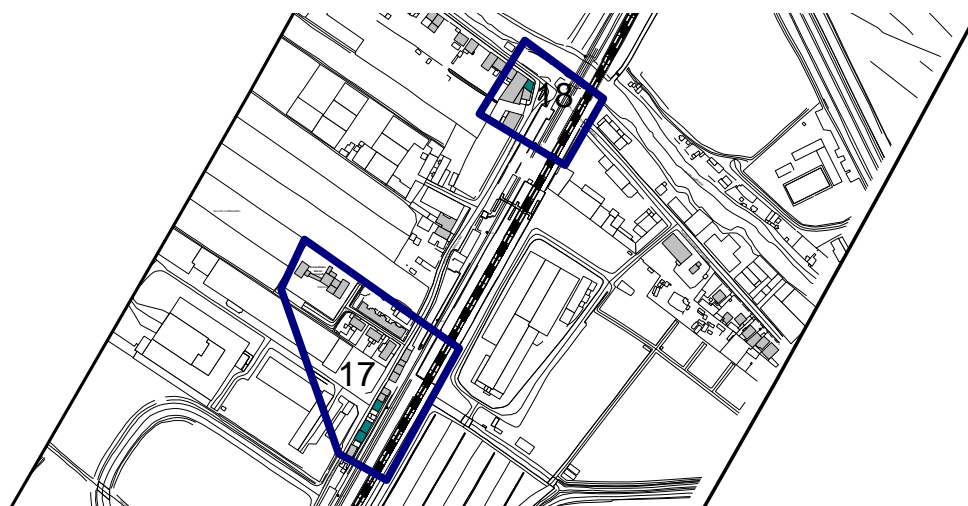
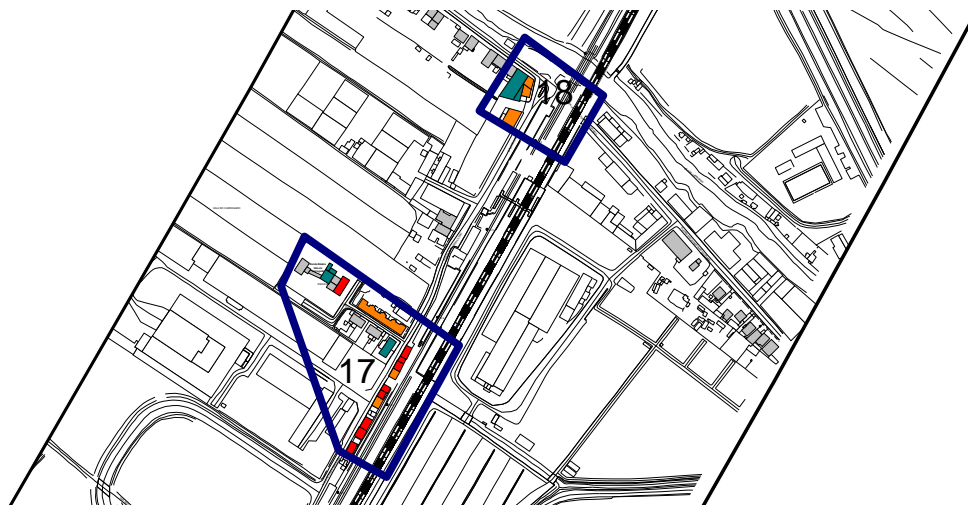


Figura 47. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 17 e Zona 18 (Carregado).

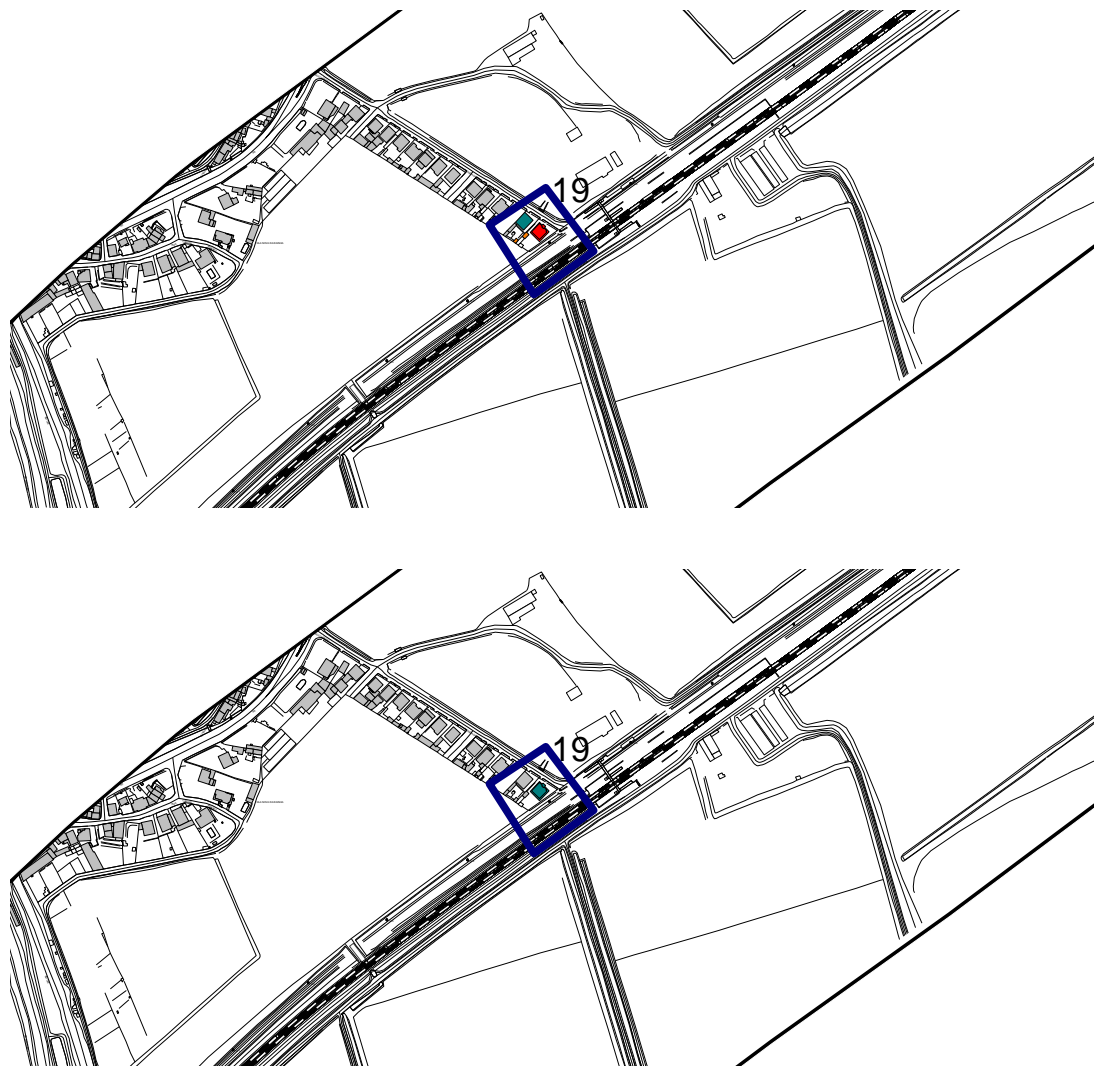


Figura 48. Exposição do edificado ao ruído; Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 19 (Vila Nova da Rainha).

As Tabelas 8 e 9 revelam a eficácia das medidas preconizadas, em termos da redução do número 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, na área da classe de maior conflito (> 5 dB), é reduzido em 99%, enquanto que na área da classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB), é reduzido em 93%, ou seja, deixa de haver praticamente residentes expostos a níveis sonoros mais elevados. O número total de pessoas residentes nestas classes é, assim, reduzido de 2076 a 53 (redução de 97%). No total, o número de pessoas residentes nas três classes de conflito passa de 2682 para 689, o que corresponde a uma redução de 74%.

Em termos do edificado exposto ao ruído, o número estimado de edifícios na classe de maior conflito (> 5 dB), é reduzido em 97%, enquanto que na classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 79%. No total, o número de edifícios expostos em todas as três classes de conflito passa de 485 para 132, o que corresponde uma redução de 73%.

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 muito eficazes.

Em termos do edificado sensível exposto ao ruído, o número de edifícios na classe de maior conflito (> 5 dB) passa de 293 para 14 (redução de 95%), enquanto que, na classe de conflito intermédio (entre 3 e 5 dB) passa de 86 para 34 (redução de 60%). O número de edifícios na classe de menor conflito (≤ 3 dB) mantém-se inalterado. No total, o número de edifícios expostos nas três classes de conflito passa de 485 para 154, o que corresponde uma redução de 68%.

O aumento de população verificado no caso da classe de vigilância (≤ 3 dB), explica-se com a transferência dos números de população exposta das classes superiores a 3 dB.

O gráfico da figura 48 ilustra a eficácia das medidas de minoração preconizadas, em termos de redução (em cerca de 97%) 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 do Norte I.



Figura 49. 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 Existente			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	1+600 / 2+080	123	125	33	18	3	12
2	Lisboa	2+610 / 2+670	0	0	11	10	1	0
3	Lisboa	3+330 / 3+720	8	20	137	37	23	0
4	Lisboa	3+975 / 4+100	9	4	5	0	0	0
5	Lisboa	4+280 / 4+900	27	43	149	111	0	0
6	Lisboa	5+070 / 5+480	4	77	112	110	0	0
7	Lisboa	6+970 / 7+175	31	38	68	33	0	0
8	Lisboa / Loures	7+330 / 7+760	117	38	17	114	3	0
9	V. F. de Xira	16+120	0	0	2	0	0	0
10	V. F. de Xira	16+410 / 17+225	92	65	17	23	0	0
11	V. F. de Xira	17+475 / 17+830	28	17	225	12	0	0
12	V. F. de Xira	18+300 / 18+380	41	25	0	65	0	0
13	V. F. de Xira	25+840 / 27+110	83	43	584	45	4	0
14	V. F. de Xira	29+640 / 30+150	16	6	129	46	7	0
15	V. F. de Xira	30+350 / 30+675	19	19	6	1	0	0
16	V. F. de Xira	31+690	0	27	7	0	0	0
17	V. F. de Xira	36+230 / 36+390	2	6	9	4	0	0
18	V. F. de Xira	36+600 / 33+670	3	6	0	1	0	0
19	Azambuja	40+500	3	0	6	6	0	0
Totais parciais			606	559	1517	636	41	12
Totais globais			2682			689		

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 Existente			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	1+600 / 2+080	7	8	8	5	2	1
2	Lisboa	2+610 / 2+670	0	0	3	2	1	0
3	Lisboa	3+330 / 3+720	5	7	25	6	6	1
4	Lisboa	3+975 / 4+100	3	2	6	0	0	0
5	Lisboa	4+280 / 4+900	5	3	22	15	0	0
6	Lisboa	5+070 / 5+480	2	2	15	4	0	0
7	Lisboa	6+970 / 7+175	4	5	6	2	0	0
8	Lisboa / Loures	7+330 / 7+760	11	4	5	10	2	1
9	V. F. de Xira	16+120	1	0	1	0	0	0
10	V. F. de Xira	16+410 / 17+225	18	9	16	6	0	0
11	V. F. de Xira	17+475 / 17+830	12	12	37	4	1	0
12	V. F. de Xira	18+300 / 18+380	5	2	0	6	0	0
13	V. F. de Xira	25+840 / 27+110	16	11	63	10	3	5
14	V. F. de Xira	29+640 / 30+150	9	8	71	27	3	1
15	V. F. de Xira	30+350 / 30+675	1	2	2	1	0	0
16	V. F. de Xira	31+690	0	3	1	0	0	0
17	V. F. de Xira	36+230 / 36+390	4	3	10	3	0	1
18	V. F. de Xira	36+600 / 33+670	2	3	0	1	0	0
19	Azambuja	40+500	1	2	2	2	0	0
Totais parciais			106	86	293	104	18	10
Totais globais			485			132		

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 alteração ao *mix* das composições da Linha do Norte I (modernização/renovação do material circulante UQE 2300/2400). Acrescenta-se que, a modernização/renovação do material circulante é uma medida de âmbito global, que se aplica a parte da extensão da Linha do Norte I 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 preconizadas, nomeadamente as barreiras acústicas, são apresentadas estimativas de custos de implementação na tabela 9. Não é apresentada estimativa correspondente a outras medidas (modernização da via, esmerilagem), por não se dispor de informação.

Tabela 9. Estimativa financeira para implementação de medidas preconizadas.

Medida de redução de ruído	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	Altura [m]	via	custo/m ² (€)	Custo total (€)
Barreira Acústica	3+475	3+750	275	3,0	Lado descendente	140	115 500
	9+910	9+950	40	3,0	Lado descendente	140	16 800
	3+960	4+060	100	2,5	Lado ascendente	140	35 000
	4+360	4+930	570	2,0	Lado ascendente	140	159 600
	4+575	4+950	375	4,0	Lado descendente	140	210 000
	5+075	5+490	415	3,0	Lado descendente	140	174 300
	6+940	7+200	260	4,0	Lado ascendente	140	145 600
	7+310	7+425	115	2,0	Lado descendente	140	32 200
	7+410	7+450	40	3,0	Lado ascendente	140	16 800
	16+025	16+200	175	3,0	Lado descendente	140	73 500
	16+360	16+700	340	4,0	Lado ascendente	140	190 400
	16+835	17+290	455	4,0	Lado ascendente	140	254 800
	17+450	17+875	425	4,0	Lado ascendente	140	238 000

Medida de redução de ruído	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	Altura [m]	via	custo/m ² (€)	Custo total (€)
Barreira Acústica	25+810	25+940	130	3,0	Lado ascendente	140	54 600
	26+030	26+750	720	3,0	Lado descendente	140	302 400
	26+770	27+140	370	3,0	Lado descendente	140	155 400
	26+160	26+285	125	2,5	Lado ascendente	140	43 750
	27+040	27+140	100	3,0	Lado ascendente	140	42 000
	29+600	29+900	300	3,0	Lado ascendente	140	126 000
	29+910	30+150	240	3,5	Lado ascendente	140	117 600
	29+800	29+860	60	2,0	Lado descendente	140	16 800
	29+910	29+990	80	3,0	Lado descendente	140	33 600
	30+300	30+375	75	2,5	Lado descendente	140	26 250
	30+360	30+440	80	2,0	Lado descendente	140	22 400
	30+450	30+760	310	2,5	Lado ascendente	140	108 500
	31+625	31+725	100	3,0	Lado ascendente	140	42 000
	36+200	36+450	250	3,5	Lado ascendente	140	122 500
	36+560	36+700	140	2,5	Lado ascendente	140	49 000
	40+410	40+560	150	4,0	Lado ascendente	140	84 000
Total Barreiras							3 009 300 €
Total Medidas de redução de ruído							3 009 300 €

Estas soluções importam em, aproximadamente, 3 milhões de euros.

Para o programa de verificação e monitorização das barreiras acústicas estima-se um valor para os cinco anos do plano de cerca de 4000€.

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 do Norte I 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.

Na primeira fase, correspondente aos primeiros três anos após a aprovação do PA, serão compreendidas as seguintes ações:

- a) Alteração do *mix* do material circulante na Linha do Norte I, resultante da modernização do material circulante da Linha de Sintra, nomeadamente as composições UQE 2300/2400.

Esta ação integra o plano de modernização/renovação das referidas composições. Trata-se de uma ação complexa, a qual, segundo informações fornecidas pelo operador CP, irá implicar uma intervenção muito profunda no material, visando a reposição do potencial de vida das composições.

- b) Implementação das medidas preconizadas
 - Modernização da via (desde o pk 1+550 até Braço de Prata);
 - Instalação de barreiras acústicas.
- 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, com consequente alteração do *mix* do material circulante na Linha do Norte I.
- b) Esmerilagem periódica dos carris.
- c) 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 controlo, 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 do Norte I, 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 do Norte I exibem numa considerável parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes, especificamente devido à circulação rodoviária. O objetivo do PA constitui-se na diminuição da contribuição ferroviária para o ruído global. O número de pessoas expostas a tal contribuição constitui 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 do Norte I.

Nº	Ação	Calendarização
1	Intervenção no sistema de frenagem dos vagões de mercadorias: substituição dos cepos de ferro fundido por cepos sintéticos	Implementado
2	Alteração do <i>mix</i> de comboios da Linha do Norte I: modernização/renovação do material circulante UQE 2300/2400	Planeado
3	Modernização de troço da via	Planeado
4	Redimensionamento de barreiras acústicas existentes	Planeado
5	Implantação de barreiras acústicas novas	Planeado
6	Esmerilagem periódica dos carris	Planeado
7	Programa de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído implementadas	Planeado
8	Circulação de Informação entre os vários <i>stakeholders</i> (Gestor de infraestrutura, Operadores, Câmaras, Tutela)	Planeado
9	Estabelecimento de procedimento otimizado de gestão de queixas e reclamações de ruído	Planeado
10	Desenvolvimento de plataformas de informação ao público e à comunidade técnica sobre ruído ferroviário e das ações para o seu combate e gestão	Planeado
11	Informação às populações e ao público em geral dos resultados da implementação das medidas previstas no PA	Planeado
12	Elaboração regular de mapas de ruído para diagnóstico do ambiente sonoro na envolvente da Linha do Norte I (Mapas Estratégicos de Ruído, no âmbito do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho)	Implementado / Planeado

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.