

MODELO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES URBANAS A PROPÓSITO DE MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE RUÍDO

Telmo L. Pereira¹, Rui Calejo Rodrigues²

¹SOPSEC – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil, S.A.

{telmo.pereira@sopsec.pt}

²CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções

{calejo@fe.up.pt}

Resumo

Os Planos de Ação de Ruído ou Planos Municipais de Redução de Ruído são instrumentos essenciais para a Gestão de Ruído Urbano, definindo medidas de minimização de ruído (MMR) em áreas onde a exposição ao ruído ultrapassa os limites legais definidos. A problemática abordada relaciona-se com a necessidade de priorizar temporal e financeiramente as intervenções, tendo em consideração vários critérios independentes, nomeadamente o número de pessoas afetadas nas áreas de sobre-exposição ao ruído, a complexidade na implementação e os custos associados. Tratando-se de um problema claro no domínio do multicritério, desenvolve-se um modelo de decisão relacional com base na avaliação individual de cada critério, permitindo hierarquizar as MMR definidas. Apresenta-se um caso prático de aplicação do modelo. Das conclusões obtidas salienta-se a capacidade deste modelo permitir decisões independentes baseadas apenas em critérios técnicos que maximizam os objetivos das intervenções.

Palavras-chave: Acústica Ambiental, Gestão de Ruído Urbano, Análise Multicritério, Planos de Ação de Ruído, Priorização de Medidas Minimização de Ruído

Abstract

Noise Action Plans and Noise Reduction Municipal Plans are essential instruments for Urban Noise Planning by defining the implementation of noise reduction measures, which minimize against noise in areas where the exposure exceeds the defined legal noise limits. The issue at hand relates to the need to prioritize interventions temporally and financially, considering various independent criteria, namely the number of affected people in the noise overexposure areas, the implementation complexity, and the associated costs. Being a clear problem in the realm of multicriteria, a relational decision model is developed based on the individual evaluation of each criterion, allowing for the hierarchical ranking of the noise reduction measures. A practical case with the implementation of the proposed model is also presented. This paper's conclusions emphasize the model's ability to enable independent decisions based solely on technical criteria that maximize the scope of interventions.

Keywords: Environmental Acoustics, Urban Noise Planning, Multicriteria Analysis, Noise Action Plans, Noise Minimization Measures Prioritization.

PACS no. 43.50.Rq, 43.50.Sr

1 Introdução

1.1 Enquadramento da problemática

A Gestão do Ruído Urbano é um tema cada vez mais reconhecido como fulcral para o desenvolvimento sustentável das cidades, que permite estrategicamente controlar e mitigar o ruído ambiente de forma a garantir o conforto e saúde das populações. O planeamento estratégico das cidades no que toca à gestão de ruído envolve todas as entidades gestoras das fontes de ruído numa cidade, desde a definição do zonamento acústico, da elaboração de mapas de ruído e da implementação de planos onde são projetadas medidas de minimização junto das fontes junto das áreas com elevada exposição ao ruído.

Estas Medidas de Minimização de Ruído (MMR), cujas intervenções no tecido urbano acarretam naturalmente custos e outros constrangimentos, devem ser planeadas de forma sustentada e alinhada com as demais vertentes e planos territoriais, no sentido de maximizar os recursos e esforços para obter os maiores benefícios para as populações.

A problemática abordada neste estudo relaciona-se, desta forma, com a necessidade das entidades gestoras de priorizar temporal e financeiramente as intervenções relacionadas com as MMR, tomando em consideração os principais critérios de decisão, nomeadamente o número de pessoas afetadas pelas MMR, a complexidade da implementação e os custos associados às intervenções.

1.2 Objetivos e âmbito

O objetivo do presente estudo é a apresentação de uma proposta de modelo multicritério para apoio à priorização das medidas de minimização de ruído, no âmbito da gestão das fontes de ruído pelas respetivas entidades gestoras através dos respetivos planos.

1.3 Estado da Arte

A Gestão do Ruído Urbano (GRU) em Portugal é um tema preponderante desde finais da década de 80, através do Decreto-Lei n.º 285/87, de 24 de junho, que estabeleceu as bases para o controlo da poluição sonora, definindo os limites máximos de ruído permitidos e as normas de avaliação e gestão do ruído ambiental. Atualmente, a GRU encontra-se definida pelo Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de agosto, que visa salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações expostas ao ruído ambiente.

O RGR define que cabe aos municípios estabelecer, à partida nos seus planos de ordenamento do território, delimitação do território em zonas sensíveis ou mistas, tendo em consideração a vocação do uso. O zonamento acústico pressupõem à partida que as zonas sensíveis referem-se a áreas exclusivamente habitacionais, escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos. Em função da classificação de zona, o RGR define limites de exposição ao ruído, sendo estes para Zonas Mistas de 55 dB(A) no período noturno (L_n) e 65 dB(A) no período global L_{den} , e para Zonas Sensíveis de 45 dB(A) no período noturno (L_n) e 55 dB(A) no período global (L_{den}) [1].

No caso particular das infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo com maior tráfego, definidas como Grandes Infraestruturas de Transporte (GIT), bem como dos municípios com mais população, designados de aglomerações, o gestão de ruído é complementada pelas disposições previstas no Regime de Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente (RAGRA), publicado pelo Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 84-A/2022, de 9 de dezembro que define a

obrigatoriedade das respetivas entidades gestoras das GIT ou dos municípios constituídos aglomerações elaborarem Mapas Estratégicos de Ruído (MER) como forma de diagnóstico do ruído produzido pelas fontes geridas e de determinar as zonas em que os limites de exposição ao ruído definidos pelo zoneamento acústico são ultrapassados, designadas zonas de sobre-exposição. Após a elaboração dos MER, as entidades responsáveis, estão também obrigados à elaboração dos respetivos Planos de Ação de Ruído (PAR). Os objetivos destes planos é eliminação ou minimização das situações de sobre-exposição identificadas dos MER e a preservação ou definição de zonas tranquilas [2-4].

O conteúdo e requisitos para a elaboração dos MER e respetivos PAR, estão atualmente definidos pela Portaria n.º 42/2023, de 9 de fevereiro, mais especificamente nos seus anexos IV e V. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) mais recentemente publicou um documento com diretrizes para auxiliar a elaboração dos PAR, em particular aqueles a serem concluídos até 2024 e seguintes. Ambos os documentos definem que os PAR ou PMRR deverão ser acompanhados de informação relativa à calendarização das medidas definidas e os respetivos cronogramas financeiros, bem como análises custo-benefício ou custo-eficácia [2-4]. Para tal é crucial a priorização das medidas definidas como forma ser possível enquadrá-las temporal e financeiramente.

Os Modelos Multicritério para Análise de Decisão (MMAD) são técnicas utilizadas para avaliar e tomar decisões complexas que envolvem múltiplos critérios conflitantes. Estes permitem a consideração simultânea de fatores qualitativos e quantitativos, auxiliando na comparação e priorização de diferentes alternativas. Dos mais comuns de utilização são o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) para estruturar problemas, atribuir pesos aos critérios, e realizar análises de sensibilidade. Os MMAD são extremamente úteis em áreas como planeamento urbano, gestão empresarial e engenharia, onde para a tomada de decisões é necessário o equilíbrio de diversos fatores e interesses. [5]

Na literatura existem exemplos da utilização de modelos multicritério, com base na cálculo de fatores de priorização como a base para a tomada de decisão para as medidas de minimização definidas [6-8]. Contudo estes são na generalidade complexos e com variados fatores e critérios, sendo necessária informação muitas vezes inexistente ou difícil de obter.

2 Proposta Análise Multicritério e Modelo de Decisão

O modelo de decisão proposto neste estudo, com o principal objetivo o apoio na tomada de decisão para a priorização de MMR em sede dos PAR ou dos PMRR, tem como base uma análise multicritério com 3 critérios distintos e independentes, sendo estes a eficácia, a complexidade da implementação e os respetivos custos na execução.

A aplicação desta metodologia não é limitada ao número de MMR propostas nos PAR ou PMRR, e aplicável às variadas tipologias de medidas (na fonte, propagação do som ou no recetor) associadas às fontes de ruído consideradas nos planos, rodoviárias, ferroviárias, aéreas e industriais.

De seguida detalham-se cada um dos critérios utilizados no modelo.

2.1 Critério 1 – Eficácia

A eficácia das medidas de minimização de ruído (MMR) está associada ao número de pessoas cujas MMR proporcionaram redução da sobre-exposição ao ruído. O valor da eficácia é calculado através da soma da população deixa de estar em condição de sobre-exposição, ou transita para uma classe de sobre-exposição inferior, tendo como base o indicador noturno (L_n). É utilizado o período noturno por ser o considerado mais crítico no que toca à incomodidade e efeitos nocivos para as populações.

Para valores de exposição ao ruído mais elevados, não só o incómodo percebido pelas populações é superior, como o impacto do ruído na saúde, nomeadamente perturbações cardiovasculares e mentais, exibe também uma correlação crescente com uma maior exposição ao ruído [9; 10]. Este tipo de correlação segue uma tendência exponencial, principalmente quando as fontes de ruído níveis são flutuantes e variam tanto na intensidade como ao longo do tempo, como é o caso para as fontes de ruído em estudo no PAR ou PMRR (ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aeronáutico) [11-15].

Desta forma, atribui-se os fatores de peso (f), apresentados na Tabela 1, para cada uma das classes de sobre-exposição ao ruído. Estes permitem, através de uma tendência exponencial, valorizar as MMR com maior efeito junto da população exposta a níveis de sobre-exposição de ruído mais elevados.

Tabela 1 – Distribuição dos pesos (f) pelas 5 classes de sobre-exposição de ruído j no indicador noturno

j	Classe de ruído - indicador noturno (L_n)	Peso f
1	$0 < \Delta L_n \leq 5$	1
2	$5 < \Delta L_n \leq 10$	3
3	$10 < \Delta L_n \leq 15$	7
4	$15 < \Delta L_n \leq 20$	20
5	$\Delta L_n > 20$	55

Para a obtenção do valor de eficácia de cada MMR, utiliza-se a expressão (1) em baixo. O cálculo resume-se à soma, para as 5 classes de sobre-exposição ao ruído j , no indicador noturno, do produto entre o total da população que transita para a classe de sobre-exposição inferior, ou deixa de estar em condição de sobre-exposição ($redzP_j$), pelo respetivo fator de peso (f).

$$Eficacia = \sum_{j=1}^5 redzP_j \times f_j \quad (1)$$

2.2 Critério 2 – Complexidade

O critério complexidade considera o grau de dificuldade e os eventuais constrangimentos decorrentes da implementação da medida, quer pela sua extensão no tecido urbano, quer pelo tipo de tecnologia utilizada na medida. Os valores para este critério podem variar entre 0 e 1, de acordo com a área de extensão da implementação da MMR e com o tipo de tecnologia utilizada.

A atribuição do grau de complexidade é subjetiva às medidas de minimização disponíveis, ao tipo de fontes de ruído consideradas e às condicionantes do município ou infraestrutura de transporte à qual se refere o PAR, devendo ser sempre consultados os vários departamentos e unidades gestoras municipais, no sentido de aferir os eventuais impactes decorrentes da execução da medida.

No presente estudo propõe-se na Tabela 2 um exemplo de atribuição do grau de complexidade com base na extensão da aplicação da MMR, desde uma extensão mínima com implicação apenas num arruamento até uma elevada extensão à escala de todo o município, e na tipologia da MMR, desde medidas simples como o reforço ou substituição de pavimentos rodoviários, até medidas com elevada dificuldade de implementação tanto do ponto de vista administrativo como da própria execução, tais como o reforço das fachadas nos recetores e o corte de vias ou limitação da circulação de veículos.

Tabela 2 – Atribuição do grau de complexidade para cada MMR – exemplo fontes rodoviárias

		EXTENSÃO			
		mínima	→		elevada escala
		- pequena extensão de arruamentos	- extensão ao quarteirão - pequena escala	- extensão à localidade - escala média - troço de uma GIT	- extensão a várias freguesias - vários troços de uma GIT
TECNOLOGIA	simples	0,10	0,25	0,45	0,6
	↓	0,20	0,35	0,55	0,7
		0,30	0,45	0,65	0,8
		0,40	0,55	0,75	0,9
	elevada complexidade	0,50	0,65	0,85	1,00

2.3 Critério 3 - Custos

Para a critério de custos é utilizada a estimativa dos valores orçamentados para cada MMR. Para tal devem ser sempre consultados todas as divisões responsáveis pelo espaço urbano, obras públicas e mobilidade do Município, por forma de obter os custos em termos de área de intervenção, ou na estimativa dos custos administrativos.

2.4 Modelo de Decisão

O modelo de decisão em proposta tem por base a conjugação dos três critérios acima mencionados para o cálculo de um coeficiente de decisão para cada MMR, através da expressão (2)

$$\text{Coeficiente Decisão} = \frac{\text{Eficácia}}{\text{Custo } \text{€} \times 10^{-2} \times \text{Complexidade}} \quad (2)$$

O coeficiente de decisão varia positivamente quanto maior a eficácia da MMR, ou seja quanto maior o número de pessoas beneficiadas pela medida e quanto maior foi a redução dos valores de sobre-

exposição ao ruído. Por sua vez, com o aumento dos custos ou da complexidade das MMR fazem variar negativamente os valores do coeficiente de decisão.

Através dos valores do coeficiente de decisão é possível priorizar todas as MMR previstas, sendo que aquelas com os valores mais elevados deverão ser consideradas prioritárias e de aplicação a curto prazo, de acordo com a calendarização e cronograma financeiro pretendidos em sede do PAR ou PMRR.

3 Caso de Estudo

No presente capítulo é apresentado um caso de estudo ilustrativo da aplicação do modelo multicritério proposto. Este trata-se de um conjunto de MMR propostas em sede de um PAR de um município. Neste caso foram estudadas 7 MMR, a maioria das quais aplicadas à fonte de ruído, geralmente a substituição da pavimentação rodoviária, atualmente em cubo de granito, para solução de betuminoso, e 1 MMR aplicada no caminho de propagação sonora, *i.e.* a colocação de barreiras acústicas.

Importa referir que no presente caso a área em estudo, relativamente ao zonamento acústico, está classificada como Zona Mista, sendo os limites de exposição, de acordo com o RGR, 55 dB(A) para o período noturno

Na Tabela 3 são descritas de forma resumida as MMR propostas no caso de estudo.

Tabela 3 – Descrição das MMR – caso de estudo

Código	Descrição
MMR.F1	Alteração do pavimento das Rua A a C, atualmente em cubo de granito, para pavimento em betuminoso, numa extensão de 2850 m ²
MMR.F2	Alteração do pavimento da Rua D, atualmente em cubo de granito, para pavimento em betuminoso, numa extensão de 2050 m ²
MMR.P1	Colocação de barreiras acústicas (não absorventes), com 3 metros de altura, nos troços indicados dos arruamentos E e F, de forma a proteger os edifícios das escolares e de habitação, com uma área de cerca de 2400 m ²
MMR.F3	Alteração do pavimento atualmente em cubo da Avenida A, para pavimento em betuminoso, numa extensão total de 7750 m ²
MMR.F4	Alteração do pavimento atualmente em cubo da Avenida B para pavimento em betuminoso, numa extensão total de 7800 m ²
MMR.F5 (*)	Alteração do pavimento para betuminoso da Rua G, atualmente em cubo, numa extensão de 1850 m ² .
MMR.F6	Alteração do pavimento atualmente em cubo da Rua H para pavimento em betuminoso, numa extensão de 1300 m ² .

NOTAS:

(*) Esta empreitada de substituição de pavimento encontra-se já em fase de projeto decorrente de Plano Pormenor, pelo que esta medida é será executada independentemente do PAR. Desta forma atribui-se o grau de complexidade mais baixo – 0,1.

Para a obtenção do valor de eficácia de cada MMR foi necessário, em primeiro lugar, através da modelação computacional, a obtenção do ruído incidente nas fachadas dos recetores sensíveis (habitação), no período noturno (L_n), da situação atual previamente à implementação das MMR, e da situação previsional após a execução das medidas. Após as modelações dos mapas de sobre-exposição ao ruído, ambos na situação atual como após a implementação das MMR, é possível determinar os dados da população em cada uma das classes de sobre-exposição. Na Figura 1 representam-se o exemplo do mapa de sobre-exposição ao ruído, indicador noturno – L_n , para a situação atual (esquerda) e após a implementação da MMR.F4 (direita).

Estes valores são à partida já determinados em sede do PAR para a obtenção dos mapas de ruído e para a estimativa das melhorias introduzidas no plano em termos de redução da exposição de ruído na população.

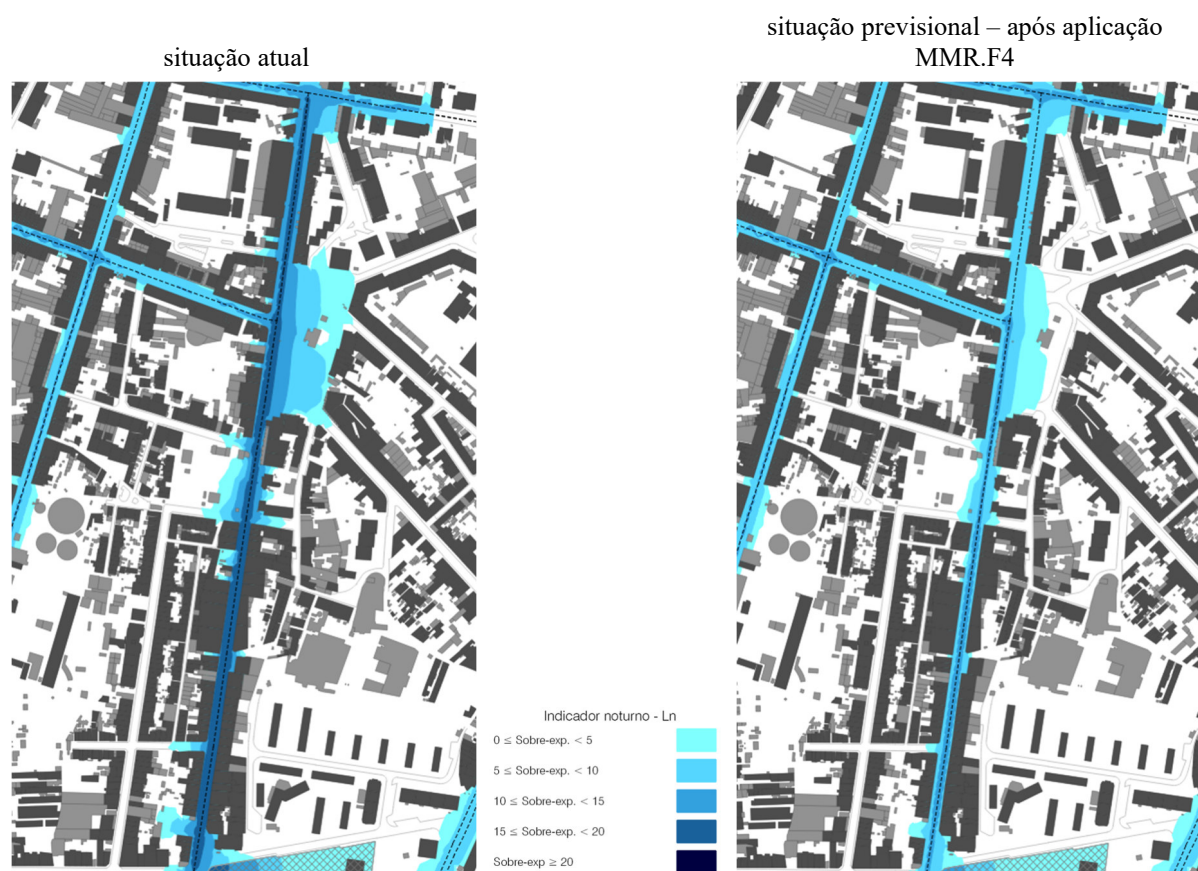


Figura 1 – Exemplo de mapa de sobre-exposição ao ruído, indicador noturno – L_n , para a situação atual (esquerda) e após a implementação da MMR.F4 (direita)

Na Tabela 4, apresentam-se os totais da população que transita para a classe de sobre-exposição inferior, ou deixa de estar em condição de sobre-exposição (*redzP*), bem como o valor final de eficácia de cada uma das MMR proposta no caso de estudo, utilizando a expressão (1) anteriormente referida.

Tabela 4 – Método cálculo do valor de eficácia de cada MMR – caso de estudo

Medidas de Minimização Ruído	Classe de Ruído	Total pop. (<i>redzP</i>)	Pesos <i>f</i>	<i>redzP * f</i>
MMR.F1	$0 < \Delta L_n \leq 5$	104	1	104
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	138	3	414
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	0	7	0
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	0	20	0
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	518
MMR.F2	$0 < \Delta L_n \leq 5$	352	1	352
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	307	3	921
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	36	7	252
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	0	20	0
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	1525
MMR.P1	$0 < \Delta L_n \leq 5$	200	1	200
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	175	3	525
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	0	7	0
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	0	20	0
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	725
MMR.F3	$0 < \Delta L_n \leq 5$	19	1	19
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	31	3	93
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	0	7	0
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	0	20	0
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	112
MMR.F4	$0 < \Delta L_n \leq 5$	242	1	242
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	184	3	552
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	693	7	4851
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	194	20	3880
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	9525
MMR.F5	$0 < \Delta L_n \leq 5$	35	1	35
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	40	3	120
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	137	7	959
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	20	20	400
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	1514
MMR.F6	$0 < \Delta L_n \leq 5$	7	1	7
	$5 < \Delta L_n \leq 10$	4	3	12
	$10 < \Delta L_n \leq 15$	0	7	0
	$15 < \Delta L_n \leq 20$	0	20	0
	$\Delta L_n > 20$	0	55	0
			Eficácia	19

Para a atribuição do grau de complexidade de cada uma MMR utilizou-se os valores apresentados na Tabela 2, tendo em consideração a extensão da implementação da medida e no tipo de tecnologia, sendo que este caso ficou circunscrito à alteração de pavimentação rodoviária e à colocação de barreiras.

A estimativa dos custos de cada MMR foram obtidos por consulta dos departamentos responsáveis pelas obras públicas e planeamento do município.

Na Tabela 5 é apresentada em resumo a aplicação do modelo multicritério proposto, os valores obtidos em cada um dos critérios, bem a valor do Coeficiente de Decisão para cada uma das MMR, calculado através da expressão (2).

Tabela 5 – Aplicação do modelo multicritério e priorização das MMR – caso de estudo

Medidas de Minimização Ruído	Complexidade	Custo	Eficácia	Coeficiente Decisão	Prioridade
MMR.F1	0,45	199 500 €	518	0,58	5
MMR.F2	0,30	143 500 €	1525	3,54	2
MMR.P1	0,40	239 000 €	725	0,76	4
MMR.F3	0,65	542 500 €	112	0,03	7
MMR.F4	0,65	546 000 €	9525	2,68	3
MMR.F5 (*)	0,10	129 500 €	1514	11,69	1
MMR.F6	0,30	91 000 €	19,0	0,07	6

NOTAS:

(*) Esta empreitada de substituição de pavimento encontra-se já em fase de projeto decorrente de Plano Pormenor, pelo que esta medida é será executada independentemente do PAR. Desta forma atribui-se o grau de complexidade mais baixo – 0,1.

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, através do cálculo do coeficiente de decisão é possível priorizar as MMR propostas no caso de estudo. Verifica-se que a MMR.F4, apesar de uma eficácia consideravelmente superior às restantes, pela sua complexidade e custos associados, não é a mais prioritária. Por outro lado, a MMR.F5, devido aos reduzidos custos e da reduzida complexidade, aliada a estar já em fase de projeto decorrentes de outros planos municipais, é considerada como a mais prioritária.

A priorização obtida para as MMR, através da utilização de modelo multicritério proposto, permitiu não só facilitar a elaboração do calendarização e cronogramas financeiros, como também a discussão mais fundamentada com as entidades municipais sobre as medidas propostas no PAR.

4 Conclusões

O modelo multicritério proposto neste estudo, permite, através de cálculos simples, uma priorização das MMR de forma sustentada, não só na sua eficácia, como tendo em consideração a complexidade da execução e nos custos associados. A aplicabilidade do mesmo mostra-se eficaz para utilização nos PAR tanto de aglomerações e de grandes infraestruturas de transporte GIT e mesmo nos PMRR.

Os critérios eficácia e custos propostos no modelo são de natureza objetiva, cuja obtenção do primeiro é direta a partir das modelações e cálculos já normalmente elaborados no PAR ou PMRR. Por sua vez, o critério complexidade já se reveste de um grau subjetividade, dado que a atribuição do valor depende não só da tipologia das MMR propostas em cada plano, divergindo em função do tipo de fontes de ruído existentes (rodoviárias, ferroviárias, aéreas ou industriais), como da escala de aplicação do mesmo. A atribuição do grau de complexidade implica também uma colaboração estreita entre os vários departamentos municipais com atuação no tecido urbano, facto que reforça a subjetividade deste critério.

A elaboração de PAR ou PMRR para um município é já por si uma tarefa bastante complexa, que, além de um elevado número de modelações e cálculos, por vezes exige um trabalho de colaboração e decisão entre os vários departamentos municipais, entidades externas e decisores políticos. Desta forma, a utilização do modelo multicritério proposto reveste-se de elevada utilidade, já que através de um processo de cálculo relativamente simples, é possível calendarizar e elaborar os cronogramas financeiros das MMR, de acordo com os requisitos legais, de acordo com o Anexo V da Portaria n.º 42/2023, de 9 de fevereiro [3].

Futuros desenvolvimentos do presente estudo passarão pela implementação do método proposto em PAR ou PMRR com maior variabilidade de fontes de ruído e medidas de minimização, de forma a solidificar a sua aplicabilidade.

Agradecimentos

Este estudo foi suportado pela SOPSEC – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia, S.A., e pelo Projeto UIDB/04078/2020 da CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiado pelo FDT / MCTES (PIDDAC).

Referências

- [1] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2007) Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de agosto. *Diário da República* n.º 12/2007, Série I de 2007-01-17, páginas 389 – 398
- [2] Presidência do Conselho de Ministros. (2022). Regime de Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente, publicado pelo Decreto-Lei n.º 146/2006. de 31 de julho, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 84-A/2022, de 9 de dezembro. *Diário da República* n.º 236/2022, 2º Suplemento, Série I de 2022-12-09, páginas 2 - 19
- [3] Ministério da Economia e Mar, Ambiente e Ação Climática, Infraestruturas e Coesão Territorial. (2023). Portaria n.º 42/2023, de 9 de fevereiro. *Diário da República* n.º 29/2023, Série I de 2023-02-09, páginas 3 - 1010
- [4] Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (2024). Diretrizes para elaboração de planos de ação de ruído - métodos CNOSSOS-EU
- [5] Department for Communities and Local Government: London. (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. Communities and Local Government Publications
- [6] Alejandro Ruiz-Padillo, Antonio J. Torija, Ángel Ramos-Ridao, Diego P. Ruiz (2014). A methodology for classification by priority for action: Selecting road stretches for network noise action plans. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 29, 66-78. ISSN 1361-9209. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.04.002>
- [7] Alejandro Ruiz-Padillo, Antonio J. Torija, A.F. Ramos-Ridao, Diego P. Ruiz. (2016). Application of the fuzzy analytic hierarchy process in multi-criteria decision in noise action plans: Prioritizing road stretches. *Environmental Modelling & Software*, Volume 81, 45-55. ISSN 1364-8152. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.009>
- [8] Licitra, G., Ascari, E. & Fredianelli, L. (2017). Prioritizing Process in Action Plans: a Review of Approaches. *Current Pollution Reports*, Volume 3, 151–16. <https://doi.org/10.1007/s40726-017-0057-5>

- [9] Gong, Xiangpu, Benjamin Fenech, Claire Blackmore, Yingxin Chen, Georgia Rodgers, John Gulliver, and Anna L. Hansell. (2022). Association between Noise Annoyance and Mental Health Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, no. 5: 2696. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052696>
- [10] Zaman, M., Muslim, M. & Jehangir, A. (2022). Environmental noise-induced cardiovascular, metabolic and mental health disorders: a brief review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 76485–76500. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22351-y>
- [11] Singh, N.K., Markandeya, Manar, M.K. et al. (2023). Statistical and spatio-temporal analyses of noise pollution level and its health impact. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 82951–82963. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28264-8>
- [12] Debnath, A., Singh, P.K. & Banerjee, S. (2022). Vehicular traffic noise modelling of urban area—a contouring and artificial neural network based approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 39948–39972 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17577-1>
- [13] Soeta, Y., Ando, Y. (2015). Annoyance of Noise. In: Neurally Based Measurement and Evaluation of Environmental Noise. *Mathematics for Industry*, vol 20. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55432-5_7
- [14] Rimskaya-Korsakova, L.K., Pyatakov, P.A. & Shulyapov, S.A. (2022). Evaluations of the Annoyance Effects of Noise. *Acoust. Phys.* 68, 502–512. <https://doi.org/10.1134/S1063771022050098>
- [15] Guski, Rainer, Dirk Schreckenberg, and Rudolf Schuemer. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, no. 12: 1539. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121539>