



8JORNINC-3JORPROCIV

8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Porto, 1 e 2 de junho 2023

LIVRO DE ATAS

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P.PORTO

*8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil
Instituto Superior de Engenharia - Portugal - 1-2 de junho de 2023*

TÍTULO: Atas das 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e as 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV)

EDITOR:

Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP

COORDENADORES DA EDIÇÃO:

Elza M. M. Fonseca; Hernâni R. Lopes; Armando V. Campos;

Ana R. João; António G. Magalhães; João F. Silva

ISBN:

978-989-35087-3-2

TIRAGEM:

USB Flash Drive

1ª edição, junho de 2023

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer outra forma ou por qualquer meio, eletrónico, fotocópia, ou outros, sem prévia autorização escrita dos editores.

A qualidade científica e os conteúdos dos resumos são da inteira responsabilidade dos respetivos autores.

PREFÁCIO

Este livro de ATAS contém os artigos apresentados às 8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e às 3as Jornadas de Proteção Civil (8JORNINC-3JORPROCIV), que decorreram no Porto, Portugal.

Na presente edição das 8JORNINC-3JORPROCIV foram submetidos 50 trabalhos, tendo sido aceites 42. Os trabalhos foram distribuídos em 8 sessões paralelas temáticas, em adição a 2 sessões plenárias, apresentados no dia 2 de junho de 2023.

O evento foi iniciado e promovido em Portugal, sob a organização do professor Doutor João Paulo Rodrigues, com as 1as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, em 2005, na Universidade de Coimbra, bem como nos anos seguintes, as 2as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2011 e as 3as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2013, também na Universidade de Coimbra.

As edições seguintes aconteceram em diferentes locais: as 4as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2014, no Instituto Politécnico de Bragança; as 5as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos em 2016, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Lisboa; as 6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e 1as Jornadas de Proteção Civil em 2018, na Universidade de Coimbra; e as 7as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e 2as Jornadas de Proteção Civil, em 2021, no Instituto Politécnico de Castelo Branco.

As 8JORNINC apresentam grande importância num contexto atual de vários e graves incêndios urbanos, florestais e de interface em Portugal. A pertinência do tema da segurança na prevenção e no combate a incêndios, quer pelas consequências emergentes deste tipo de acidentes, quer pela necessidade de redução das ocorrências, do número de vítimas mortais, feridos, prejuízos materiais, patrimoniais, ambientais e sociais, leva a que as Jornadas se destinem a um leque alargado de profissionais e público em geral.

As 3JORPROCIV têm como objetivo promover conhecimentos nas áreas da prevenção civil, de riscos e planos de emergência. Pretendem assim, contribuir para a atualização dos conhecimentos técnicos e científicos da segurança e proteção civil, no âmbito do planeamento e prevenção perante cenários de crise e emergência. As Jornadas de Proteção Civil permitem partilhar um leque de conhecimentos multidisciplinares suscetíveis de impulsionar uma intervenção por parte de técnicos, especialistas e dos agentes da proteção civil. A visão interdisciplinar e integradora dos problemas e desafios que a proteção civil apresenta será refletida na prevenção e mitigação dos riscos inerentes a uma situação de acidente.

ÍNDICE

PREFÁCIO.....	ii
COMISSÃO EXECUTIVA.....	iv
COMISSÃO ORGANIZADORA.....	iv
ORADORES CONVIDADOS.....	iv
COMISSÃO CIENTÍFICA.....	v
ATAS DAS JORNADAS.....	8
ANACRONISMO DA REGULAMENTAÇÃO DE SCIE PORTUGUESA FACE À DE OUTROS PAÍSES EUROPEUS.....	9
ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE SCIE BASEADO NO DESEMPENHO DE UM EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO.....	14
MEDIDAS DE AUTOPROTEÇÃO E INCÊNDIOS FLORESTAIS – A AUSÊNCIA DE REQUISITOS ESPECÍFICOS DO CÓDIGO NO REGULAMENTO PORTUGUÊS.....	21
PERFIS EM ALUMÍNIO COM E SEM PROTEÇÃO AO FOGO: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO SIMPLIFICADO E NUMÉRICO.....	28
AVALIAÇÃO TÉRMICA DE LIGAÇÕES AÇO-MADEIRA EM CORTE SIMPLES QUANDO SUBMETIDAS AO FOGO.....	38
AVALIAÇÃO DA SEÇÃO RESIDUAL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE SUPORTE EM MADEIRA COM PROTEÇÃO SUBMETIDOS AO FOGO.....	48
AVALIAÇÃO DAS DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA REGULAMENTARES ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FOGOS FLORESTAIS.....	56
PROPOSTA PARA REGULAMENTAÇÃO NA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE HABITAÇÕES AO FOGO FLORESTAL.....	68
NUMERICAL ASSESSMENT OF FIREBRAND ACCUMULATION.....	89
EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF FIREBRANDS ACCUMULATION TEMPERATURE-TIME CURVES IN PLANE SURFACES.....	102
MODELLING TECHNIQUES FOR THE FIRE PERFORMANCE OF EMPTY CAVITIES IN LSF WALLS.....	113
DESIGNING COMPRESSED MEMBERS OF TRUSSES AND BRACING SYSTEMS IN FIRE USING MACHINE LEARNING MODELS.....	123
PASSIVE FIRE PROTECTION AND ANTICORROSION PROTECTION: COMBINATION OF ANTICORROSION TESTS UNDER ISO 12944 AND FIRE RESISTANCE TESTS.....	135
AUSTENITIC HOLLOW STAINLESS STEEL BEAMS AT ELEVATED TEMPERATURES: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL VALIDATION.....	145
SMOKE FLOW IN SLOPED TUNNELS.....	155
FINITE ELEMENT ANALYSIS TO MODEL THE FIRE BEHAVIOUR OF MULTILAYER WOOD-BASED SYSTEMS.....	165
A NEW PROPOSAL FOR ESTIMATING THE TEMPERATURES ON THE STEEL DECK COMPONENTS OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE.....	172
VELOCIDADES DE EVACUAÇÃO PEDONAL EM CENÁRIO DE INCÊNDIO - CASO DE ESTUDO DE CABANÕES.....	183
RISCOS PARA A SAÚDE DOS OPERACIONAIS DURANTE O COMBATE A INCÊNDIOS E NECESSIDADES NO APOIO SANITÁRIO EM PORTUGAL.....	192
CONTRIBUIÇÃO DO COMBATE AOS INCÊNDIOS URBANOS PARA A EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL COMO BOMBEIRO.....	200
NÍVEIS DE PARTÍCULAS RESPIRÁVEIS LIBERTADOS DURANTE FOGOS CONTROLADOS URBANOS.....	209
FIRE BEHAVIOUR OF MORTARS WITH PORTLAND CEMENT AND RESIDUAL DIATOMACEOUS EARTH.....	219
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PROVETES DE GRANITO SUJEITOS A TEMPERATURAS ELEVADAS.....	225
SIMULAÇÃO CFD DA DESENFUMAGEM DE UM PARQUE DE ESTACIONAMENTO EM CASO DE INCÊNDIO.....	230

A NEW PROPOSAL FOR ESTIMATING THE TEMPERATURES ON THE STEEL DECK COMPONENTS OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE



Carlos Balsa*
Professor
CeDRI-IPB
Bragança



Lídia R. S. Lima
MSc Student
IPB
Bragança



Paulo A. G. Piloto
Professor
INEGI LAETA-IPB
Bragança

ABSTRACT

This study aims to improve the estimation of the temperatures on the steel deck of a composite slab under fire. An accurate estimation of these temperatures is crucial to determine the load-bearing capacity (R) of the slab. A new proposal, alternative to the simplified method provided by Eurocode 4, that enables temperature estimation on the steel deck components (web, lower and upper flange), is derived from the numerical results, obtained with a three-dimensional computational model. This new proposal considers the effect of the concrete thickness h_1 and includes the fire rating and, contrary to the Eurocode 4 proposal, fits very well the numerical results.

Keywords: Composite slabs; Fire resistance; Numerical simulation; Least squares method.

1. INTRODUCTION

Steel-concrete composite slabs include of reinforced concrete and a profiled steel deck that can operate as permanent formwork, see Figure 1. This is one of the main advantages of this building solution because it reduces construction time, presenting itself as a more efficient, requires less concrete, and lighter solution when compared to conventional reinforced concrete slabs. Composite slabs can suffer significant damage when exposed to fire since the steel elements responsible for ensuring the slabs' flexural resistance capacity are significantly affected under fire

*Autor correspondente – Instituto Politécnico de Bragança, Dep.de Matemática, Campus Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal email: balsa@ipb.pt <http://www.ipb.pt>

conditions. Therefore, it is necessary to perform a thermal analysis before the structural analysis, thus ensuring that this construction element has fire resistance under regulations and standards.

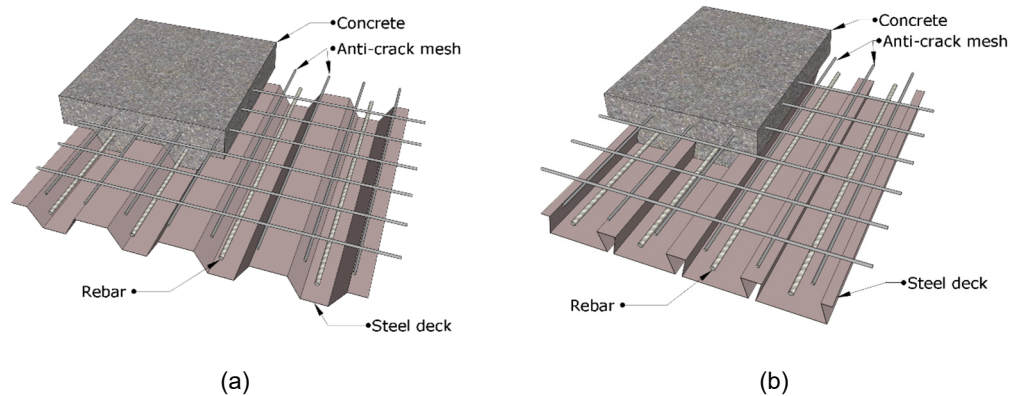


Figure 1: Typical layout of a composite slab with the (a) Trapezoidal and (b) Re-entrant steel deck.

The European Standard EN 13501-2 [1] defines these criteria and the fire rating classification of building products and elements. The three criteria (REI) are the classification time during which all criteria are satisfied (R- loadbearing capacity, E- integrity, and I- thermal insulation). Structural elements need to meet fire-safety requirements according to building codes. Seeking to guide the safety design and application of this technology, in 1983 the European Convention for Steel Construction (ECCS) published the first technical note for calculating the fire resistance of composite concrete slabs with profiled steel decks [2]. This standard was developed to guarantee structural safety according to the fire resistance classes established by ISO 834-1 [3] without the obligation to carry out experimental tests. The note provided geometric requirements, such as the minimum slab height, based on the desired fire resistance class of the structural element. Since this date, several studies have been conducted to evaluate the fire resistance of concrete slabs with steel deck. In 1990 Hamerlinck et al., developed a numerical computation model that satisfactorily predicted the fire behaviour of different slab geometries to analyse the mechanical and thermal behaviour of composite slabs [4]. Later, in 1991, Hamerlinck [5] described in detail all the procedures used to perform experimental and numerical studies on the mechanical and thermal behaviour of reinforced composite slabs during a fire. The experimental investigation was carried out to confirm the standard rates. The models considered the mechanical responses of the slab as well as the temperature evolution over time. This author concluded that there was a minimal variation between the predicted and the observed data. In recent years, several investigations have been carried out, where several finite element programs have developed a wide range of thermal and structural models to predict the structural and thermal behaviour of steel-concrete composite slabs under fire conditions. In 2019 Piloto et al. [6], [7] presented 3D numerical validation models on load bearing (R) and insulation (I) fire resistance criteria. The main objective of the investigation was to determine how load affected the resistance criterion (R) and how concrete thickness affected the insulation criterion (I). Due to experimental findings, these authors adopted an alternative model with air gaps between the steel deck and the concrete [4].

When the composite slab is exposed to fire from below, the steel deck heats up and expands rapidly, causing separation from the concrete. The authors concluded that the current standard overestimates the actual fire resistance (R) of the composite slab for load levels less than 40% and underestimates it for load levels greater than 40% when using the air gap model. When using perfect contact between materials, the numerical model underestimates the insulation fire resistance (I).

The present paper deals with the determination of the thermal behaviour of composite slabs under a standard ISO - 834 fire [3], focusing on the temperature evolution at the steel deck components (web, lower and upper flange) using MATLAB Partial Differential Equations Toolbox (PDE Toolbox). As these components are, along with the rebar, the structural components of the composite slab, that are mainly affected by the temperature, an accurate and reliable estimation of the temperatures in these structural components are required. Specially to determine the load-bearing criterion (R) because these temperatures have a direct influence on the reduction factors for the steel components and thus on the bending resistance of the slabs. The results of a numerical analysis, carried out with different slab geometries models (re-entrant and trapezoidal), and different concrete thickness h_1 (from 40 to 150mm), are used to obtain a new proposal, alternative to Annex D of EN 1994-1.2 [8], that enables to estimate accurately the temperatures on the steel deck.

2. THERMAL ANALYSIS

A 3-D representative volume of the slab (left side of Figure 2) is generated computationally in MATLAB to solve the nonlinear transient thermal problem by finite elements (right side of Figure 2). This method requires the solution of the energy equation in the multiple subdomain, corresponding to the different materials, with the respective boundary conditions. The thermal properties are temperature dependent and vary according to the material (steel and concrete) [2] and air [11]. The temperature has also been averaged from the affected four components to define the new proposal for the temperature calculation over the main fire ratings (30, 60, 90 and 120 min).

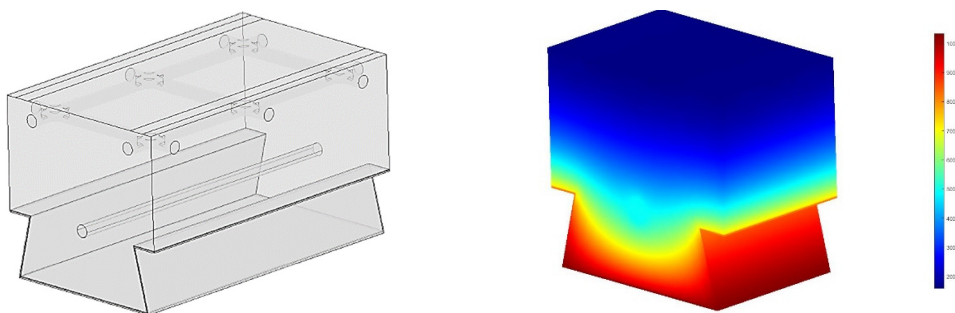


Figure 2: Representative volume and finite element results after 120 min for Multideck with concrete cover $h_1 = 90$ [mm].

The heat conduction inside the physical domain is mathematically modelled by the energy conservation Equation (1).

$$\rho(\theta)C_p(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda(\theta)\nabla\theta) \quad (1)$$

Where θ represents the respective material temperature [$^{\circ}\text{C}$], $\rho(\theta)$ is the specific mass [kg/m^3], $C_p(\theta)$ is the specific heat [J/kgK], $\lambda(\theta)$ is the thermal conductivity [W/mK], t is the time in [s] and $\nabla = (\partial_x, \partial_y, \partial_z)$ is the gradient. The discretization of Equation (1) by finite elements gives rise to matrix formulation of the energy equations.

$$C(\theta)\dot{\theta} + K(\theta)\theta = F \quad (2)$$

where K is the conductivity matrix, F is the vector of the thermal loads, including the boundary conditions, $\dot{\theta}$ is the vector of the time derivatives of the nodal temperatures, and C is the capacitance matrix. Only the tetrahedral finite element type is used in the composite slab's finite element model. Four nodes make up this finite element, which employs linear interpolation techniques. The final mesh comprises five sub-domains, each with unique thermal properties: concrete, steel deck, rebar, anti-crack mesh and air-gap. Two examples of meshes are presented in Figure 5.

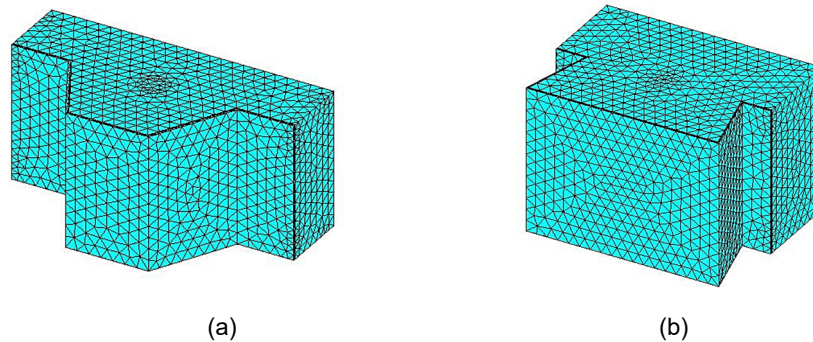


Figure 5: Finite elements mesh: (a) Trapezoidal and (b) Re-entrant profile.

The non-linear transient thermal analysis was developed and solved using the MATLAB PDE toolbox. Simulations were carried out with different values of the parameters that define the geometry of the mesh and can influence the temperature of the structural components. Table 1 resumes the ranges of the investigated parameters.

The boundary conditions that affect how heat is transferred through composite slabs were defined according to EN 1991-1-2 [12]. These boundary conditions are illustrated in Figure 6.

Table 1: Parameters of the parametric study.

Steel deck profile	h_1 [mm]	t_d [mm]	ϕ_{reb} [mm]	Steel mesh [mm//mm]
ArcelorMittal Cofraplus 60 (Trapezoidal)	50,70,90,110,125	1.00,1.25	10,16	$\phi 6//50$
ArcelorMittal Polydeck 59S (Trapezoidal)	50,70,90,110,125	1.00,1.25	10,16	$\phi 6//50$
Kingspan Multideck (Re-entrant)	60,70,90,110,125	1.00,1.20	10,16	$\phi 6//50$
Lysaght Bondeck (Re-entrant)	60,70,90,110,125	0.75,1.00	10,16	$\phi 6//50$

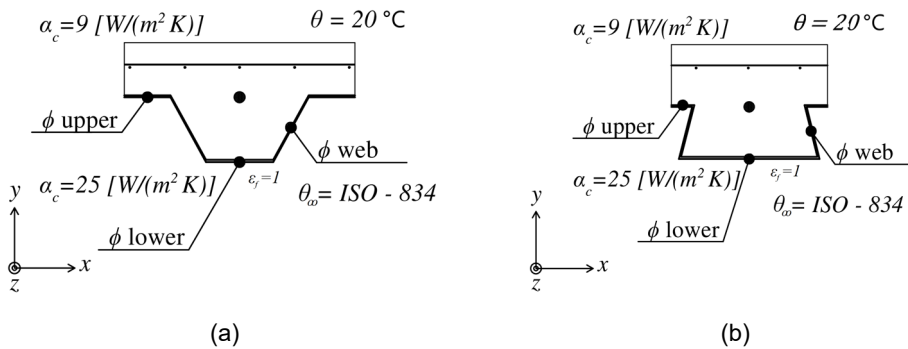


Figure 6: Boundary conditions: (a) Trapezoidal profile, (b) Re-entrant profile.

3. SIMPLIFIED CALCULATION METHOD

The simplified solution method for the load-bearing criterion (R) can be applied to simply supported composite slabs with steel deck when exposed to an ISO 834 standard fire [3], is available in the Annex D of EN 1994 Part 1-2 [8]. According to EN 1994-1-2, the temperatures of the steel decking components can be estimated by

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

where b_i are tabulated empirical coefficients given by EN 1994 1.2 [8] for each steel deck part (web, lower and upper flange) and depending on the type of concrete. The factor Φ corresponds to the view factor of the upper flange. The parameter l_3 is the distance within the ribs.

4. NUMERICAL AND ANALYTICAL RESULTS

A parametric analysis was developed, regarding the evolution of temperature and the fire resistance of composite slabs by load-bearing criteria (R). The critical temperatures of the steel components were determined based on fire resistance criteria. A total of 80 numerical simulations of fire exposure for 2 hours were carried out, using the air gap of $t_a=0.5$ [mm]. This value has been determined and optimized through previous investigations [13], [6], [7], [14]. Results presented herein are related to slabs with rebar diameter ϕ_{rebar} of 10 [mm] and the thickness of the steel deck t_s of 1.0 [mm], with a concrete topping h_f equal to 90 [mm]. The numerical results were compared with one obtained by the simplified method provided by Annex D of EN 1994-1-2[8] (Figure 7 to Figure 10).

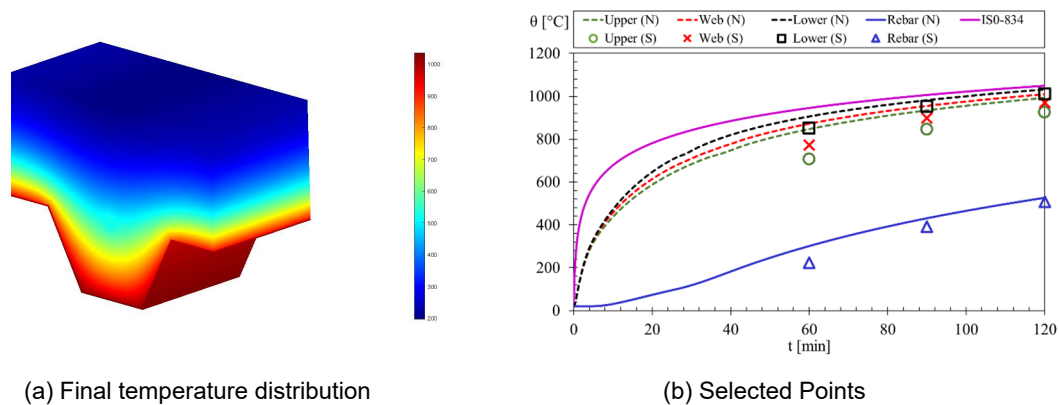


Figure 7: Polydeck 59S. (a) Final temperature distribution. (b) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for simplified method.

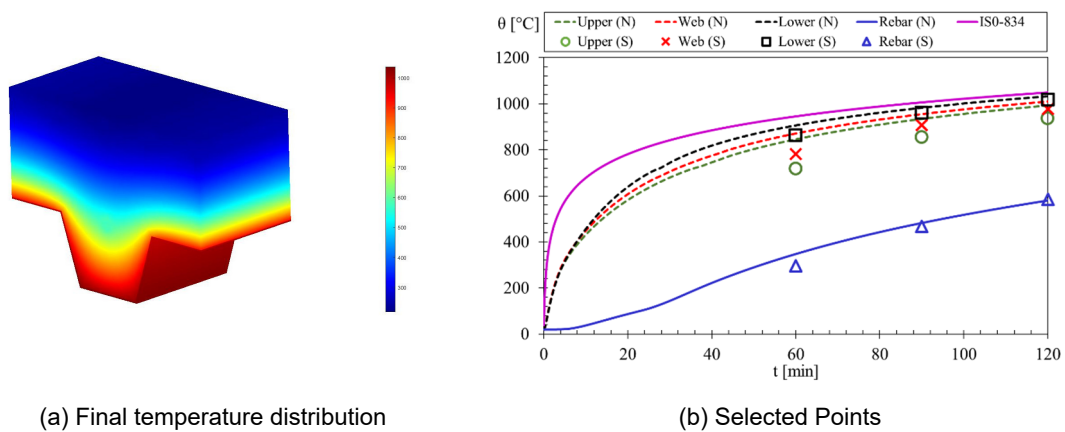


Figure 8: Cofraplus 60. (a) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for the simplified method. (b) Unexposed temperature evolution.

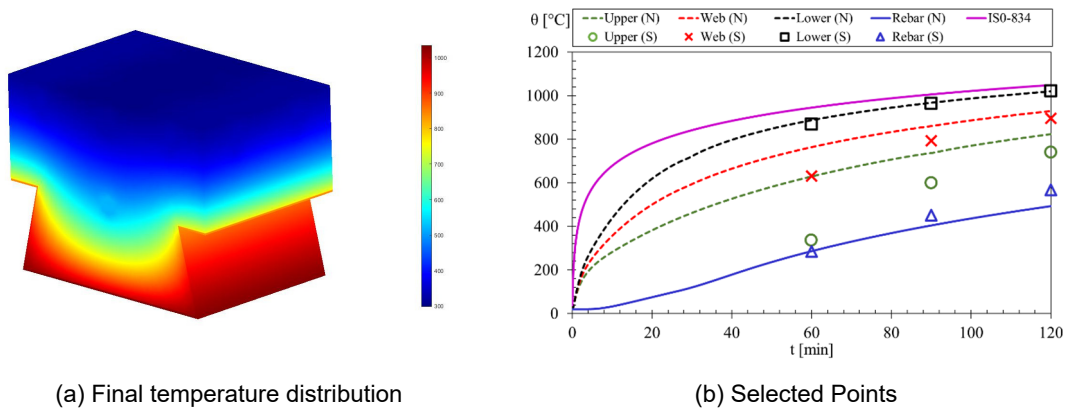


Figure 9: Multideck. (a) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for the simplified method. (b) Unexposed temperature evolution.

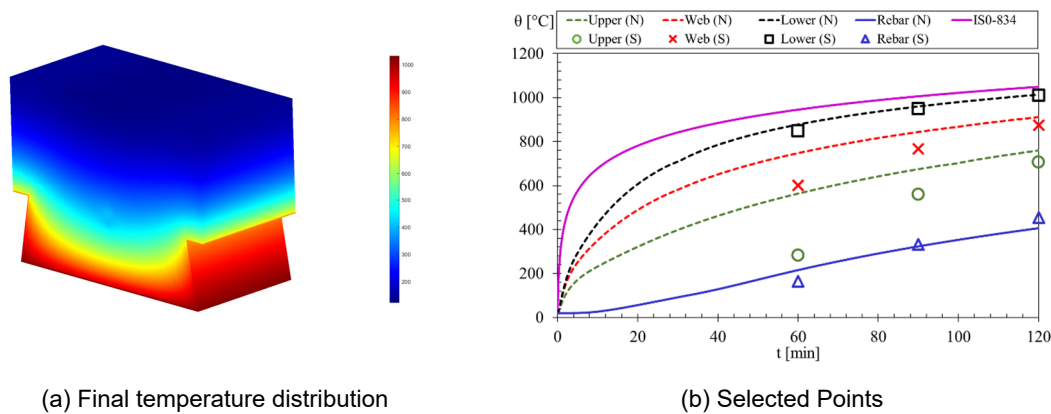


Figure 10: Bondeck. (a) Temperature evolution: (N) stands for numerical and (S) for the simplified method. (b) Unexposed temperature evolution.

It can be observed that the EN 1994-1-2 simplified method (S), used to determine the fire resistance, is, in most of the cases, on the unsafe side. The fire resistance obtained with this simplified calculation method (S) gives a critical temperature value quite below to the one obtained with the numerical simulation (N).

5. THE NEW PROPOSAL

The new proposal (NP) is a linear combination of different geometric parameters of the slab, where the coefficients are provided for the three components of the steel deck, with the possibility to specify the fire rating. The Equations 5 establish new optimized coefficients for trapezoidal and re-entrant profiles, including the new parameter for the “fire rating” t [min] and the usual geometric

parameters (l_3 , A/L_r), the view factor Φ of the upper flange, the new parameter for the concrete thickness h_1 and the new parameter for the diameter of the rebar ϕ_{reb} .

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2 + b_5 \cdot h_1 + b_6 \cdot t + b_7 \cdot \phi_{reb} \quad (5)$$

The empirical coefficients were determined by fitting the mathematical model to the numerical results by a least-square method, which minimizes the sum of the squared difference between the numerical and the analytical results. The resulting coefficients used to determine the temperature on the steel deck, for trapezoidal and Re-entrant slabs, are presented in Table 2.

Table 2: Coefficients of the new proposal to determine the temperature of the steel deck components.

Profile	Flange	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
Trapezoidal	Lower	279.01	-4.30	-1.49	279.01	279.01	-0.002	2.06	-0.03
	Web	489.29	-7.71	17.23	-132.97	-330.37	-0.05	2.27	-0.02
	Upper	438.00	-6.94	2.05	230.10	100.74	-0.23	2.54	-0.68
Re-entrant	Lower	277.16	-0.76	-1.83	277.14	277.16	-0.20	2.20	0.21
	Web	59.50	-0.14	22.26	6.74	-194.19	-0.09	2.67	-0.20
	Upper	668.94	-1.83	-7.50	153.03	28.05	-0.36	3.09	0.13

6. COMPARISON RESULTS

To verify the differences between the results proposed by the simplified method (S), presented in EN 1994-1-2 [8], the numerical results (N), and the new proposal (NP), deviations (errors) in relation to numerical results were calculated. In Tables 3 to 5, the values obtained by the analytical methods y_i for $i = 1, 2, \dots, 80$, given by the simplified method, or by the New Proposal are compared with the numerical results x_i for $i = 1, 2, \dots, 80$. The Root Mean-Squared Error (RMSE) is used as an error measure to compare the results:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (7)$$

and the Bias, representing the systematic errors, given by:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (8)$$

To complement the RMSE and Bias metrics, the Standard Deviation of the Error (SDE), that is a measure of the random errors, is also considered [15]. The SDE simply corresponds to:

$$SDE = \sqrt{RMSE^2 - Bias^2} \quad (9)$$

Table 3: Errors for EN 1994-1-2 and the new proposal concerning the Lower Flange.

Lower flange												
Fire Rating	45 [min]			60 [min]			90 [min]			120 [min]		
Error	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE
EN 1994-1-2	-	-	-	95.26	95.57	7.74	57.26	57.51	5.36	42.30	42.52	4.29
NP (Trapezoidal)	45 60 90 120 [min]											
	Bias			RMSE			SDE					
	0			38.69			38.69					
NP (Re-entrant)	0			41.74			41.74					

Table 4: Errors for EN 1994-1-2 and the new proposal concerning the Web.

Web												
Fire Rating	45 [min]			60 [min]			90 [min]			120 [min]		
Error	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE
EN 1994-1-2	-	-	-	130.46	133.35	27.62	70.78	73.10	18.25	38.88	39.84	8.70
NP (Trapezoidal)	45 60 90 120 [min]											
	Bias			RMSE			SDE					
	0			42.57			42.57					
NP (Re-entrant)	0			46.96			46.96					

Table 5: Errors for EN 1994-1-2 and the new proposal concerning the Upper Flange.

Upper flange												
Fire Rating	45 [min]			60 [min]			90 [min]			120 [min]		
Error	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE	Bias	RMSE	SDE
EN 1994-1-2	-	-	-	72.53	203.19	189.8	101.63	108.5	38.0	65.15	68.52	21.21
NP (Trapezoidal)	45 60 90 120 [min]											
	Bias			RMSE			SDE					
	0			48.19			48.19					
NP (Re-entrant)	0			52.46			52.46					

It can be seen that the new proposal is not biased (Bias is zero in all cases) and that the new proposal gives better results than the Eurocode proposal. Moreover, the new proposal is generic for all fire ratings, it results in lower RMSE values for all these times.

7. CONCLUSION

A series of heat transfer analyses were conducted to determine the adequacy of the prescriptive codes to safeguard against standard fires. New and more realistic computational models were developed to evaluate the thermal behaviour of composite slabs under standard fire conditions. The parametric analysis results allow us to determine the temperatures for different slab geometries and compare them with those provided by the simplified calculation method of EN

1994-1-2. The steel-concrete interface includes the air gap effect. The EN 1994-1-2 proposal for the fire resistance (R) is on the unsafe side, that is, the fire resistance obtained with the simple calculation method, proposed in the Eurocode, gives a critical temperature value quite lower to the one obtained with the numerical simulation. The new proposal, developed from the numerical results of the simulations, includes the previous parameters provided by the current version of the EN 1994-1-2, but also includes additional parameters, as the effect of the concrete thickness h_1 , the rebar diameter ϕ_{reb} and the fire rating time t , which makes the analysis even more simplified and straightforward. The new proposal establishes new optimized coefficients by fitting the new proposal to the numerical results using a least-squares method for both steel deck geometries in order to improve the simplified calculation approach. Future works should study the effect of other parameters comprising a series of different steel deck geometries, for both normal weight and lightweight concrete.

REFERENCES

- [1] CEN, *EN 13501-2 Fire classification of construction products and building elements*. Brussels, 2009.
- [2] "ECCS, "Calculation of the fire resistance of composite concrete slabs with profiled steel sheet exposed to the standard fire," *Fire Saf. Steel Struct. Eur. Conv. Constr. Steelwork - Comm. T3*, p. 48, 1983.
- [3] ISO, "ISO 834-8, Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction, International Organization for Standardization, Geneva," *Elem. Build. Constr. Genova ISO*, 1999.
- [4] R. Hamerlinck and J. W. B. Stark, "Scholars ' Mine A Numerical Model for Fire-exposed Composite Steel / concrete Slabs," 1990.
- [5] R. Hamerlinck, *The Behaviour of Fire-Exposed Composite Steel/Concrete Slabs*. 1991. doi: 10.6100/IR348360.
- [6] P. A. G. Piloto, C. Balsa, F. Ribeiro, L. Santos, R. Rigobello, and É. Kimura, "Three-Dimensional Numerical Modelling of Fire Exposed Composite Slabs With Steel Deck," *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 48–67, 2019, doi: 10.20319/mijst.2019.52.4867.
- [7] P. A. G. Piloto, C. Balsa, L. M. C. Santos, and É. F. A. Kimura, "Effect of the load level on the resistance of composite slabs with steel decking under fire conditions," *J. Fire Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 212–231, 2020, doi: 10.1177/0734904119892210.
- [8] "CEN - European Committee for Standardization, EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures - Part 1 - 2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005," *CEN - Eur. Comm. Stand.*, vol. 1, no. 2005, 2005.
- [9] CEN - EN 1993-1-2, "Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design Eurocode," 2005
- [10] CEN - EN 1992-1-2, "Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design," 2004
- [11] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [12] "CEN - European Committee for Standardization, EN 1991-1-2: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. Brussels," 2002.
- [13] P. A. G. Piloto, C. Balsa, F. Ribeiro, and R. Rigobello, "Computational Simulation of the

- Thermal Effects on Composite Slabs Under Fire Conditions,” *Math. Comput. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 155–171, 2021, doi: 10.1007/s11786-020-00466-0.
- [14] P. Piloto, C. Balsa, L. Prates, and R. Rigobello, “The air gap effect on the fire resistance of composite slab with steel deck,” *Numer. Methods Eng. – C*, 2019, pp. 610–624, 2019.
- [15] T. Chai and R. R. Draxler, “Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature,” *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, Jun. 2014, doi: 10.5194/gmd-7-1247-2014.

VELOCIDADES DE EVACUAÇÃO PEDONAL EM CENÁRIO DE INCÊNDIO - CASO DE ESTUDO DE CABANÕES

Andreia Rodrigues*
Bolsista de
Investigação
ISISE, UC - Coimbra

Aldina Santiago
Professora Auxiliar
ISISE, UC - Coimbra

Luís Laím
Investigador
Doutorado
ISISE, UC - Coimbra

Domingos Xavier
Viegas
Professor
Catedrático
ADAI, UC - Coimbra

José Luís Zêzere
Professor
Catedrático
IGOT, ULisboa -
Lisboa

SUMÁRIO

Os incêndios rurais representam um risco crescente não só em Portugal, mas quase em todo o Mundo, afetando cada vez mais as populações residentes em áreas rurais, sendo de registar um crescente número de vítimas mortais. Em Portugal, especialmente no interior norte e centro, muitas são as aldeias dispersas, com acessos débeis e onde a evacuação apenas é possível de forma pedonal. Este estudo visa a obtenção das velocidades e consequente estimativa de tempos de evacuação pedonal deste tipo de aldeias, habitada maioritariamente por idosos.

PALAVRAS-CHAVE: incêndios rurais; caracterização da população; idosos; velocidade de movimento, evacuação.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os incêndios rurais têm apresentado velocidades de propagação e intensidades cada vez mais elevadas, aproximando-se com maior frequência dos aglomerados urbanos [1], e causando a movimentação temporária de milhares de pessoas em todo o mundo. Países como os Estados Unidos da América e a Austrália tem vindo a ser assolados ao longo dos anos por estes fenómenos extremos que obrigam a ações de evacuação extensas e complexas. Na Europa, apesar de haver um histórico significativo de incêndios rurais, a necessidade de evacuação de populações é uma realidade relativamente recente e verifica-se um hiato nos procedimentos de intervenção e combate a incêndios rurais, nomeadamente no que concerne aos esquemas e ações de evacuação.

* Autor correspondente – Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, R. Luis Reis dos Santos 290, 3030-790 Coimbra, Portugal, email: andrea.rodrigues@dec.uc.pt

A necessidade de evacuação torna-se mais relevante nas aldeias que não se encontram estruturalmente preparadas para abrigar os seus habitantes em segurança. A opção da evacuação é influenciada pela localização e comportamento do incêndio, pela vegetação, topografia, infraestruturas da comunidade e contexto social, onde muitas vezes existem vulnerabilidades, como infraestrutura de transporte e serviços, originando desafios significativos durante evacuações em grande escala [1].

Apesar da existência de vários estudos internacionais de modelação da evacuação, assim como propostas de metodologias para estimativa de tempos de evacuação em situações de incêndio em grandes aglomerados habitacionais, tendo por base a auto-evacuação com uso de viaturas particulares [2], são ainda escassas as informações e os estudos adaptados à realidade portuguesa, nomeadamente quanto à evacuação pedonal.

Em Portugal, as necessidades de evacuação em situação de incêndio rural estão relacionadas sobretudo com aldeias isoladas, com difíceis acessos e habitadas maioritariamente por pessoas idosas. A medida de proteção deste tipo de aldeias é geralmente de confinamento em um local de abrigo, onde a evacuação é feita normalmente de forma pedonal, primeiramente até uma zona de concentração dentro do aglomerado (ponto de reunião) e posteriormente para um abrigo, localizado no exterior ou no interior da própria aldeia. As aldeias com estas características carecem de evacuações atempadas e sobretudo preventivas, de modo a não colocar em risco os seus habitantes e as forças de socorro, evitando as fugas de última hora.

Este trabalho corresponde à 1ª fase de um estudo de evacuação preventiva na aldeia de Cabanões no município da Lousã onde o objetivo principal foi compreender o comportamento de idosos em situação de evacuação, medir o tempo médio que leva a chegar ao abrigo e assim proceder ao cálculo das suas velocidades pedonais, para posterior modelação do tempo necessário de evacuação e criação de metodologias de apoio à decisão.

2. EVACUAÇÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIOS RURAIS

Ao longo dos anos tem havido um claro aumento de ocorrências associadas a incêndios florestais com necessidade de evacuação de pessoas. Nos Estados Unidos da América esta é já uma realidade frequente nas últimas quatro décadas. Os incêndios da Califórnia obrigaram à evacuação de mais de 10 000 pessoas na sequência de 11 grandes incêndios entre 2017 e 2019 [3]. Mais recentemente, em 2021, um incêndio de grandes dimensões na região de South Lake Tahoe, na Califórnia ameaçou a área urbana havendo registo de tentativa de evacuação de 22 000 pessoas. Durante este evento, as autoridades tentaram acalmar a população à medida que conduziam as evacuações de em bairro, mas devido ao desespero e ao pânico, muitas pessoas decidiram abandonar a cidade de forma autónoma, provocando engarrafamentos com centenas de carros parados durante horas.

Já em Portugal, a maior das dificuldades da análise desta problemática é a falta de informação sobre as ocorrências passadas. O registo sistematizado dos teatros de operações é uma realidade relativamente recente e essa informação é ainda muito pouco coerente.

Em 2012 um relatório, a pedido pelo Ministério da Administração Interna, analisou um dos incêndios com maior área ardida até então. Este incêndio desenvolveu-se numa área caracterizada por um elevado número de aglomerados populacionais dispersos, quase todos com um número reduzido de habitantes, em geral idosos e sem recursos nem mobilidade para fazer frente ao perigo que se avizinhava [4]. Este incêndio obrigou a evacuação de aldeias nos primeiros 40 minutos de incêndio. Devido à dispersão dos aglomerados e a necessidade de proteção das populações, durante a fase de ataque inicial aos incêndios, grande parte dos meios disponíveis estavam exclusivos à proteção das pessoas e das suas habitações.

Passados 4 anos, ocorreram os trágicos incêndios de 2017 que vem novamente obrigar a refletir sobre a importância da análise de incêndios para preparação e intervenção futura. Também no incêndio de Monchique em 2018 considerou-se que *“a segurança das populações foi, neste incêndio, uma preocupação fundamental, um esforço de evitar a repetição, ainda que em menor escala, das tragédias de 2017”* [5]. Este relatório [5] refere uma evacuação massiva de lugares com potencial de risco, levando a uma evacuação de 608 pessoas no total distribuídas por 75 lugares.

Também o ano 2022 foi marcado por incêndios muito intensos e de grandes dimensões, levando à necessidade de evacuação de um elevado número de pessoas. De referir ainda que as duas únicas vítimas mortais civis a lamentar foram um casal de idosos durante o seu percurso de fuga da sua aldeia pelos seus próprios meios, contrariando as ordens das autoridades.

É assim claro que após 2017 se verificou um aumento significativo da decisão operacional de evacuação em situação de incêndio rural. O aumento da intensidade, velocidade e o comportamento errático dos incêndios, fazem com que os operacionais optem por evacuação como forma de proteção das populações, baseado as suas decisões em perceções empíricas da dinâmica do incêndio.

3. ANÁLISE DE TEMPOS DE EVACUAÇÃO

Analisando a realidade portuguesa, importa compreender como se procede à evacuação em Portugal. As aldeias isoladas, com poucos habitantes, maioritariamente idosos preocupam especialmente as autoridades. Muitas destas aldeias encontram-se longe das áreas urbanas e os seus acessos são muitas vezes realizados por vias estreitas, degradadas e em forte envolvente florestal.

Aliada às questões relativas aos acessos, a organização da aldeia e o tipo de construções são também fatores que contribuem para a forte exposição ao risco. Muitas delas foram construídas e organizadas a pensar apenas no acesso pedonal, não havendo possibilidade de acesso de viaturas ao interior da aldeia. Nestes casos, a única alternativa viável é a evacuação pedonal até um local onde seja possível o acesso de viaturas que, posteriormente transportará os habitantes para local seguro.

Da análise da bibliografia, verificou-se que existem estudos de velocidade de evacuação para outros riscos, em outros contextos, como casos de incêndios em edifícios [6] e também para

evacuação em situação de incêndio rural, mas com recurso a viaturas [7] [8]. Relativamente à evacuação pedonal em situação de incêndio rural, adaptado à realidade portuguesa verifica-se efetivamente uma lacuna. Numa caminhada em ambiente urbano e sem qualquer declive, a velocidade média de pessoas sem dificuldades de mobilidades e sem fator de *stress* é de 5 km/h [9]. Com base neste valor médio, considera-se fundamental testar as velocidades de acordo com as características da população residente e as condicionantes do ambiente rural.

Na tentativa de apuramento dos tempos de evacuação necessários à evacuação de aldeias com as características apresentadas, foram realizados testes de tempos de evacuação com habitantes da própria aldeia e figurantes. Estes ensaios permitiram estudar a velocidade de movimentação de pessoas idosas (mais de 65 anos), com e sem limitações de mobilidade, de modo a prever o tempo necessário para a evacuação da aldeia.

3.1 Enquadramento Geográfico

A aldeia de Cabanões localiza-se na união de Freguesias da Lousã e Vilarinho, pertencendo especificamente à antiga freguesia de Vilarinho localizada a norte do Município da Lousã, que possui cerca de 2513 hectares e um grande número de localidades. Cabanões é uma dessas aldeias, que não sendo conhecida informação sobre a sua origem, foi em tempos uma aldeia com muitos habitantes que se dedicavam sobretudo a agricultura e exploração florestal.

Com o passar dos anos, a aldeia foi ficando desertificada e atualmente são cerca de 26 habitantes, mas apenas 9 com residência permanente. Dos restantes destaca-se 6 pessoas, que não sendo habitantes permanentes, passam grande parte do ano na aldeia pois são casais reformados, com habitação e morada fiscal em grandes cidades, nomeadamente Lisboa, Setúbal e Marinha Grande. Este grupo específico de pessoas apresenta uma preocupação pelas condições de segurança da aldeia e mostram interesse em saber mais sobre as medidas a adotar. Importa ressaltar que dois dos habitantes não permanentes, apesar de manterem a habitação, optaram por residir na vila da Lousã, permanecendo apenas na aldeia durante o dia, alguns dias por semana. No centro da aldeia existe uma casa dedicada a alojamento local, com capacidade para 4 pessoas, que apesar de atualmente não estar em funcionamento pleno, encontra-se ocupado por um casal que se dedica a artes plásticas, podendo pontualmente receber visitantes. Um dos habitantes permanentes é estrangeiro, mas apesar das dificuldades linguísticas, está perfeitamente enquadrado na aldeia. Destes 26 habitantes (permanente e não permanentes), 75 % têm mais de 65 anos. Na data de realização do exercício, nenhum dos habitantes estava condicionado quanto à mobilidade, havendo apenas dois dos habitantes que se deslocavam com auxílio de muleta como função de apoio. Apenas reside na aldeia uma criança.

A aldeia localiza-se a meia encosta, em zona de vale encaixado, com apenas um acesso pavimentado e com grandes limitações de largura de via sendo o seu principal acesso é maioritariamente estreito, com poucos locais com possibilidade de passagem de duas viaturas. A sua orografia e a envolvente com matos e floresta, tornam esta aldeia muito exposta a incêndios florestais (figura 1).



Figura 1- Vista aérea da aldeia de Cabanões.

3.2 Metodologia

Tal como já referido, os ensaios realizados tiveram como objetivo prever o tempo médio de evacuação de diferentes tipos de pessoa, com maior ênfase para idosos e pessoas com dificuldade na mobilidade.

Para a realização destes ensaios, estabeleceram-se protocolos de colaboração com a Junta de Freguesia de Lousã e Vilarinho e outras entidades locais que permitiu a divulgação da atividade e a possibilidade de angariar voluntários para realizarem os percursos. Participaram neste estudo 15 idosos, com idades compreendidas entre os 65 e os 86 anos. Neste grupo a maioria era autónomo e sem problemas de mobilidade havendo apenas 5 dos participantes que utilizavam equipamentos de apoio à marcha.

Foram estudados 3 percursos independentes com diferentes características tendo-lhe sido atribuída a codificação: Troço 1, Troço 2 e Troço 3.

O Troço 1 representa o percurso a percorrer pela população desde o ponto mais extremo da aldeia até ao ponto de reunião, junto à fonte da aldeia. Este percurso apenas pode ser feito a pé ou com recurso a veículo ligeiro. O acesso de uma ambulância ou de uma carrinha é de extrema dificuldade. Este tem sentido ascendente e apresenta um declive médio de 17%.

O Troço 2 representa o percurso a percorrer pela população desde o ponto mais alto da aldeia até ponto de reunião. Este percurso apenas pode ser feito a pé ou com recurso a veículo ligeiro, sendo que a única opção de inversão de marcha é já em caminho de terra batida. Este troço dá acesso a zona florestal e à cumeada, tem sentido descendente e um declive médio de 7%.

Já o Troço 3 é o percurso a percorrer pela população desde o ponto de reunião, no interior da aldeia, até ao abrigo (capela). Este percurso deverá ser feito preferencialmente com recurso a viatura ligeira de passageiros (9 lugares) mas poderá haver necessidade de ser feito a pé, caso

este recurso não esteja disponível. O declive deste 3º troço é de apenas 1% em sentido descendente, não tendo sido considerado o impacto do declive no estudo. Reunidos no abrigo, já seria possível o uso de um autocarro para retirar a população para fora da aldeia.

Para cada um dos percursos foram analisados 2 ensaios com grupos diferentes: um grupo de indivíduos com mais de 65 anos, sem dificuldades de mobilidade e sem problemas de saúde que influenciem a marcha e um outro grupo, também com mais de 65 anos, com dificuldades de mobilidade e uso de equipamento de apoio à marcha. Desta forma, foi feita uma medição de tempo em troços previamente medidos e identificados, de modo a permitir o cálculo da velocidade média de percurso de cada um dos troços. No troço 3 todos os participantes foram organizados em três grupos de forma aleatória, de modo que todos os grupos contemplassem pessoas com e sem dificuldades de mobilidade. Os ensaios foram cronometrados por observadores e registado o tempo que cada pessoa demorava a percorrer o mesmo percurso. Cada um dos participantes apenas percorreu cada percurso uma vez, no mesmo dia e com o mesmo grupo de pessoas. Foi atribuído um código a cada participante, por salvaguarda dos dados pessoais, que consentiram fornecer sob a condição de não serem divulgados.

3.3 Apresentação e discussão dos resultados

A tabela 1 apresenta os resultados do ensaio 1, onde foi realizado um ensaio de evacuação do Troço 1 por pessoas sem dificuldades de mobilidade e outro com figurantes que usam equipamentos de apoio à marcha.

Tabela 1 – Resultados ensaio 1

Ensaio 1	Indivíduos com mais de 65 anos, sem dificuldades de mobilidade e sem problemas de saúde que influenciem a marcha. Sentido ascendente. Temperatura sentida: 29 °C. Distância: 100 metros	
Código de individuo	Tempo de percurso (minutos)	Velocidade média
#C002	01:31:00	3,13 km/hora
#C012	01:25:14	
#C005	01:32:39	
#C006	01:10:36	
#C003	01:58:18	
#C008	02:19:59	
#C014	01:00:06	
#C015	01:15:00	

A tabela 2 apresenta os resultados do ensaio 2, onde foi realizado um ensaio de evacuação do troço 1 por pessoas que usam equipamentos de apoio à marcha.

Tabela 2 – Resultados do ensaio 2

Ensaio 2		
Indivíduos com mais de 65 anos, com dificuldades de mobilidade e uso de equipamento de apoio à marcha. Sentido ascendente. Temperatura sentida: 29 °C. Distância:100 metros		
Código de individuo	Tempo de percurso (minutos)	Velocidade média
#C010	02:07:00	2,24km/hora
#C004	03:08:00	
#C013	06:13:00	
#C003	02:42:00	
#C009	02:39:00	
#C001	02:19:00	

A tabela 3 e 4 apresentam os resultados do ensaio 3 e 4 respetivamente, onde se realizou o mesmo tipo de ensaio que relatado nos ensaios 1 e 2, mas desta vez no troço 2. Neste caso trata-se de um troço descendente com declive acentuado.

Tabela 3 - Resultados do ensaio 3

Ensaio 3		
Indivíduos com mais de 65 anos, sem dificuldades de mobilidade e sem problemas de saúde que influenciem a marcha. Sentido descendente. Temperatura sentida: 29 °C. Distância:100 metros		
Código de individuo	Tempo de percurso (minutos)	Velocidade média
#C006	01:06	3,65 km/hora
#C003	01:37	
#C012	01:40	
#C014	01:15	
#C002	01:40	
#C008	02:50	

Tabela 4 - Resultados do ensaio 4

Ensaio 4		
Indivíduos com mais de 65 anos, com dificuldades de mobilidade e uso de equipamento de apoio à marcha. Sentido descendente. Temperatura sentida: 29 °C. Distância:100 metros		
Código de individuo	Tempo de percurso (minutos)	Velocidade média
#C011	01:52	2,47 km/hora
#C004	03:10	
#C010	02:40	
#C002	01:40	
#C009	02:26	
#C011	01:52	

A tabela 5 apresenta os resultados do ensaio 5, onde se testou o tempo e o comportamento dos habitantes da aldeia, desde o ponto de reunião (refúgio) no centro da aldeia até ao abrigo (capela). Neste caso em específico simulou-se a ordem de evacuação dada pelas autoridades competentes e foi contabilizado o tempo desde essa ordem até à chegada ao abrigo.

Tabela 5 - Resultados do ensaio 5

Ensaio 5	Evacuação em Grupo para o Abrigo. Indivíduos com mais de 65 anos. Temperatura sentida: 29 °C. Distância: 250 metros	
Código de indivíduo	Tempo de percurso (minutos)	Velocidade média
Grupo 1	00:05:02	2,5 km/hora
Grupo 2	00:06:01	
Grupo 3	00:07:26	

Com base nos resultados apresentados verifica-se que as velocidades atingidas são superiores quando se trata de troços descendentes em ambos os grupos, mas é de ressaltar que no caso dos idosos com dificuldade de mobilidade, as velocidades em declives negativos e positivos são muito próximas. Durante os testes, verificou-se que estes mostram muito receio em percorrer percursos a descer por receio de queda, tendo mesmo havido necessidade de apoio de outra pessoa, para percorrer o troço. Já a subir, apesar do esforço físico exigido ser maior, sentem-se mais seguros ao fazer o percurso. Quanto à evacuação em grupo, foi possível apurar que as velocidades diminuem – velocidade média de 2,5 km/h – facto este que poderá ser explicado pelo facto de os idosos com dificuldades de mobilidade esperarem e apoiarem os idosos com mais dificuldades. Esta observação permite antever que, em casos reais, a evacuação até ao abrigo, quando possível, deve ser feita com recurso a viaturas.

4. CONCLUSÕES

Com estes ensaios foi possível apurar que os idosos sem problemas de mobilidade apresentam uma velocidade média de 3,13 km/h em sentido ascendente e 3,65 km/h em sentido descendente. Já os idosos com dificuldade de mobilidade apresentam velocidades médias menores tanto a subir como a descer: 2,24 km/h e 2,47 km/h, respetivamente. Os idosos com dificuldades de mobilidade apresentam velocidades muito próximas para diferentes declives. Durante os testes, verificou-se que estes mostram muito receio em percorrer percursos a descer por receio de queda. Quando inseridos em grupo misto, a velocidade diminui drasticamente pois os idosos autónomos tendem a esperar pelos idosos com dificuldades. Neste estudo não foi possível testar o tempo de saída das pessoas das suas habitações, que empiricamente se apresenta como bastante significativo, dada a relutância cultural que o habitante tem em deixar as suas habitações e os seus bens [10].

REFERÊNCIAS

[1] Wang, Y. *at al. Case studies of large outdoor fires involving evacuations*, Emergency Management & Evacuation (EME) Subgroup, Large Outdoor Fires & the Built Environment

- (LOF&BE) Working Group of the International Association for Fire Safety Science, 2022 July. Doi: 10.5281/zenodo.6544760
- [2] Dapeng L., *A data-driven approach to improving evacuation time estimates during wildfires for communities with part-time residents in the wildland-urban interface*, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 82, 2022, 103363, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103363>.
- [3] Wong, D. *at al*, *Review of California Wildfire Evacuations from 2017 to 2019*. UC Office of the President: University of California Institute of Transportation Studie, 2020.
- [4] Viegas, D., *Relatório do Incêndio de Tavira/São Brás de Alportel*. Coimbra. Centro de Estudos de Incêndios Florestais – ADAI, 2012.
- [5] Comissão Técnica Independente. *Avaliação do Incêndio de Monchique*. 2019.
- [6] Kobes M. *at all Building safety and human behaviour in fire: A literature review*, Fire Safety Journal, Volume 45, Issue 1, 2010, Pages 1-11, ISSN 0379-7112, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>.
- [7] Dapeng L., *A data-driven approach to improving evacuation time estimates during wildfires for communities with part-time residents in the wildland-urban interface*, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 82, 2022, 103363, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103363>.
- [8] Niu C. *at all*, *Are wildfire fatalities related to road network characteristics? A preliminary analysis of global wildfire cases*, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 80, 2022, 103217, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103217>.
- [9] Tobler, W. *Three presentations on geographical analysis and modeling: Non-isotropic geographic modeling, speculations on the geometry of geography, global spatial analysis*, Technical report (National center for geographic information and analysis). 1993.Vol. 93-1.
- [10] Tedim, F. *O futuro dos incêndios rurais em Portugal: Será possível construir uma sociedade resiliente a eventos extremos? O rural depois do fogo*, 2018.