

## Cabeçalho:



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

**Nº do Projeto:** 3483

**Acrónimo do Projeto:** INOV\_LAMI

**Título do projeto:** Desenvolvimento de sistemas de reforço inovadores e aperfeiçoamento dos modelos de cálculo em lajes mistas aço-betão

**Área Científica:** Construção Metálica e Mista

### **Enquadramento do Projeto:**

As lajes mistas com cofragem metálica colaborante são amplamente utilizadas na construção dos pavimentos em edifícios e pontes em estruturas metálicas e mistas. A chapa corrugada serve de cofragem na fase de construção e funciona como armadura de tração na fase definitiva. Trata-se, por isso, de um sistema eficiente, simples e rápido em termos de execução. Compreenda-se que uma laje mista é o elemento estrutural composto por uma chapa perfilada de aço, armaduras e betão, funcionando combinadamente entre si, por forma a tirar partido das vantagens que cada constituinte apresenta. A chapa perfilada, que serve de superfície cofrante à laje, também é perfeitamente capaz de substituir a armadura inferior da mesma.

Face às lajes de betão armado, as lajes mistas apresentam um vasto conjunto de vantagens associadas à diminuição dos custos de construção, à facilidade de aplicação, à polivalência de funcionalidades da chapa perfilada e à flexibilidade da solução estrutural. O seu dimensionamento envolve a verificação dos estados limites últimos previstos no Eurocódigo 4 (EN 1994): esforço transversal vertical, corte longitudinal e flexão, e ainda a verificação dos estados limites de utilização relevantes: deformação, vibração e fendilhação do betão.

Apesar de se tratar de um sistema estrutural bastante eficaz, na realidade, para vãos correntes da ordem dos 3 a 5 m, o seu dimensionamento é geralmente condicionado pelo corte longitudinal, não se tirando vantagem da elevada capacidade à flexão, em particular em lajes mistas sob flexão positiva. Além disso, os modelos regulamentares de dimensionamento, em particular no que se refere à verificação do esforço transversal vertical, são demasiado conservadores por apenas contabilizarem a resistência assegurada pelo betão localizado nas nervuras. Em resultado destes dois aspetos, os materiais constituintes (chapa de aço e betão) não são adequadamente aproveitados, não se tirando vantagem da potencial eficiência do sistema.

A resistência ao corte longitudinal pode ser aumentada através de sistemas de reforço adicionais: dispositivos de amarração de extremidade, armaduras de reforço

nas nervuras, entre outros. No entanto, para se tirar vantagem destes sistemas, é necessário reformular os modelos de verificação da resistência ao esforço transversal atualmente disponíveis, particularmente relevante em lajes mistas com chapa perfilada de altura elevada. Segundo a atual regulamentação europeia, em particular o Eurocódigo 3 (EN 1993), a resistência ao esforço transversal da chapa metálica isolada (na fase de montagem) é, em geral, maior do que a resistência obtida com o modelo do Eurocódigo 4 para a fase definitiva, o que constitui um contrassenso.

Tendo em conta que a empresa promotora já produz chapas perfiladas (perfil *H60*) com altura 60 mm para lajes mistas convencionais e pretende desenvolver chapas de altura superior (da ordem dos 120 mm ou superior) para utilização em pavimentos convencionais ou em pavimentos com vigas embebidas (tipo *slim floor*), torna-se imperativo desenvolver estudos que permitam otimizar o seu cálculo e desempenho. Esta é a principal motivação que levou à candidatura do presente projeto, em parceria com o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, instituição com larga experiência no desenvolvimento de soluções estruturais mistas aço-betão e de colaboração com a empresa promotora. O desenvolvimento do perfil de chapa *H60* resultou precisamente de uma parceria entre a Universidade de Coimbra, através do seu Departamento de Engenharia Civil e a empresa promotora deste projeto, O Feliz Metalomecânica SA.

**Investigador Responsável:** Professor Doutor Rui António Duarte Simões

**Programa de Financiamento:** Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização do Portugal 2020

**Instituição Financiadora:** Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)

**Data de início:** 01-01-2016

**Data de conclusão:** 31-12-2018

**Instituições participantes no Projeto:** O Feliz Metalomecânica SA; Universidade de Coimbra

**Custo total elegível (EUR):** 115.500,00 €

**Despesa total executada (EUR):** 107.308,92 €

**Local do projeto:** Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra

**Síntese e objetivos do projeto:**

Em face de estudos preliminares desenvolvidos na Universidade de Coimbra, onde foram testadas lajes mistas com um dispositivo de amarração de extremidade inovador, verificou-se que é possível aumentar significativamente a capacidade resistente das lajes. Neste estudo verificou-se ainda que o modelo de cálculo da resistência ao esforço transversal previsto no Eurocódigo 4, ao não considerar adequadamente a contribuição da chapa metálica, conduz a um

sobredimensionamento das lajes numa gama alargada de vãos. O caso de investigação tem como objetivo a otimização do desempenho de lajes mistas, de forma a obter soluções mais económicas e consequentemente mais sustentáveis, pelo que contempla os seguintes objetivos fulcrais:

- i. Desenvolver e comprovar a eficácia de novos sistemas de reforço que permitam aumentar a resistência ao corte longitudinal;
- ii. Calibrar expressões que permitem quantificar a resistência dos sistemas de reforço propostos;
- iii. Reformular os modelos analíticos disponíveis para a verificação da resistência ao esforço transversal;
- iv. Desenvolver e comprovar o desempenho de uma nova chapa perfilada em aço, com altura de 120 mm (ao invés de 200 mm como inicialmente previsto);
- v. Reformular as tabelas e programa de cálculo de lajes mistas produzidas pela empresa promotora, incorporando os desenvolvimentos resultantes do projeto.

Conforme referido acima, os objetivos fundamentais do projeto consistem no desenvolvimento de um sistema mecânico através da colocação de varões transversais que permitam tirar vantagem da capacidade à flexão das lajes mistas com chapa perfilada colaborante, independentemente da altura da secção da chapa; adicionalmente pretende-se ainda aferir os modelos de cálculo disponíveis, em particular no que se refere à verificação do esforço transversal.

Como objetivo complementar, incluiu-se também no projeto o desenvolvimento de uma nova chapa perfilada com uma altura mais elevada, suficientemente distinta das já produzidas pela empresa (chapa H60 com cerca de 60 mm de altura) que permitisse conceber vãos de maior dimensão e que adicionalmente à chapa H60, seria também incluída nos estudos a desenvolver no âmbito do projeto. Em fase de candidatura indicou-se o valor de 200 mm apenas como referência; numa fase inicial de desenvolvimento do projeto e após um aprofundamento da revisão bibliográfica e do estudo do mercado, os parceiros verificaram que uma altura de 120 mm poderia ser uma melhor opção, quer do ponto de vista estrutural, quer do ponto de vista comercial. Na realidade o trabalho envolvido no estudo da chapa com 120 mm foi exatamente o mesmo, caso se tratasse de uma chapa com 200 mm.

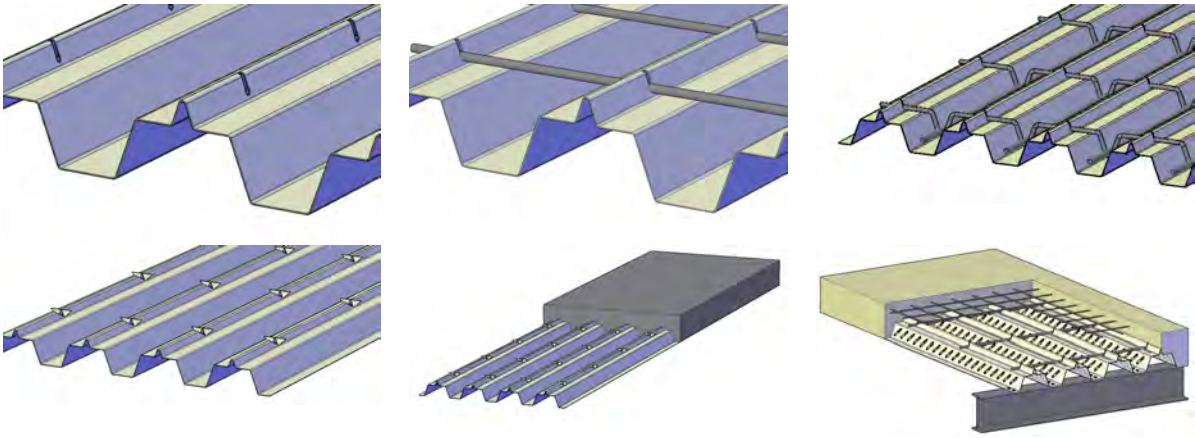
O projeto incluiu estudos analíticos, numéricos e um programa experimental extenso. O estudo aplica-se a lajes mistas convencionais e a lajes mistas com chapas de altura elevada.

**Técnico do Projeto:** Eng.<sup>a</sup> Alexandra Feliz

**Contacto:** 917 850 078

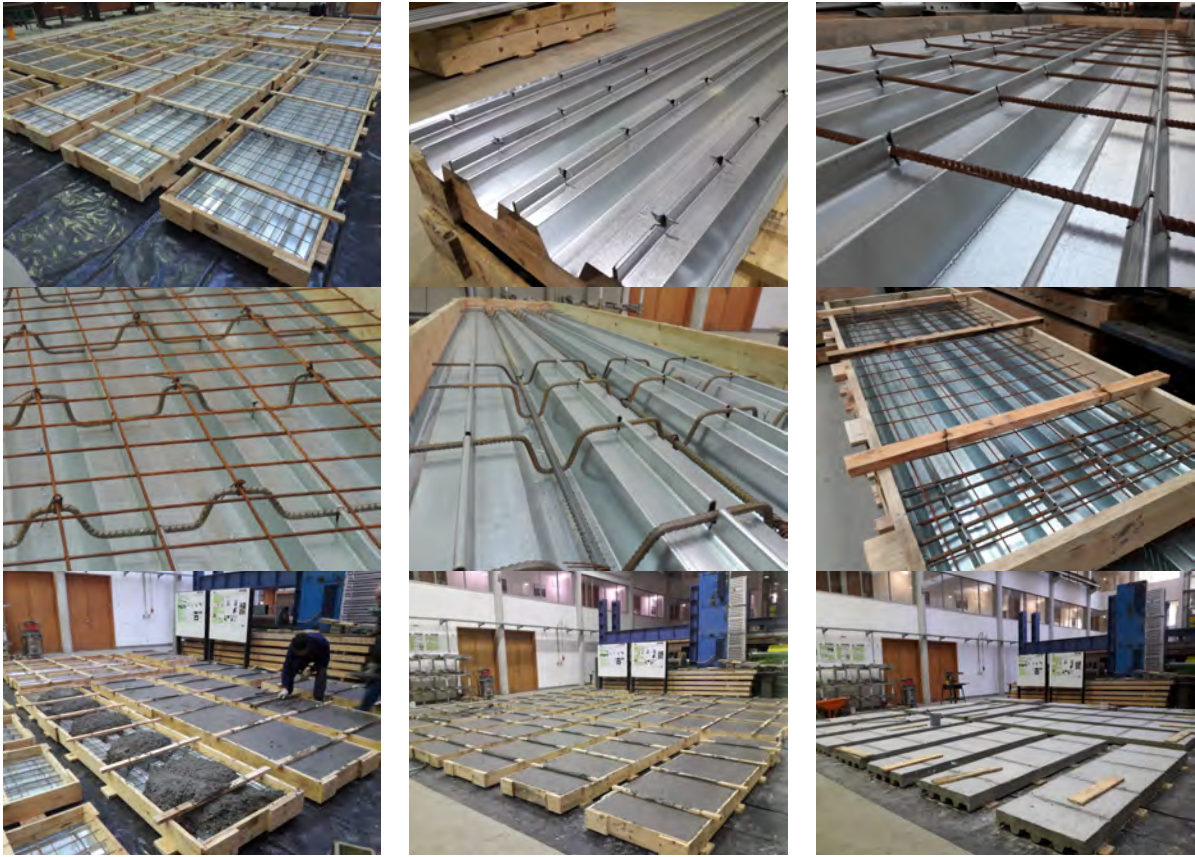
**Galeria de fotos do Projeto:**

**1) Desenvolvimento de sistemas de reforço para lajes mistas**

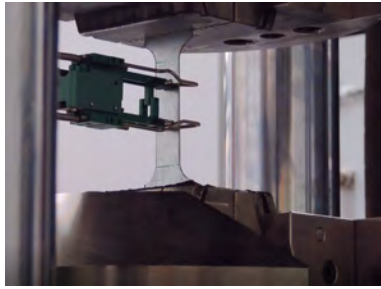


**2) Campanha experimental**

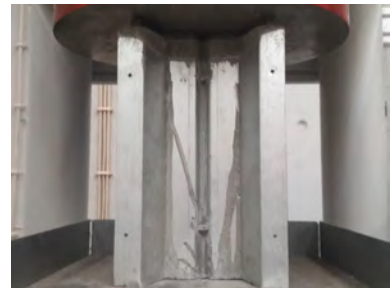
**a. Preparação e montagem dos provetes**



b. Caracterização dos materiais



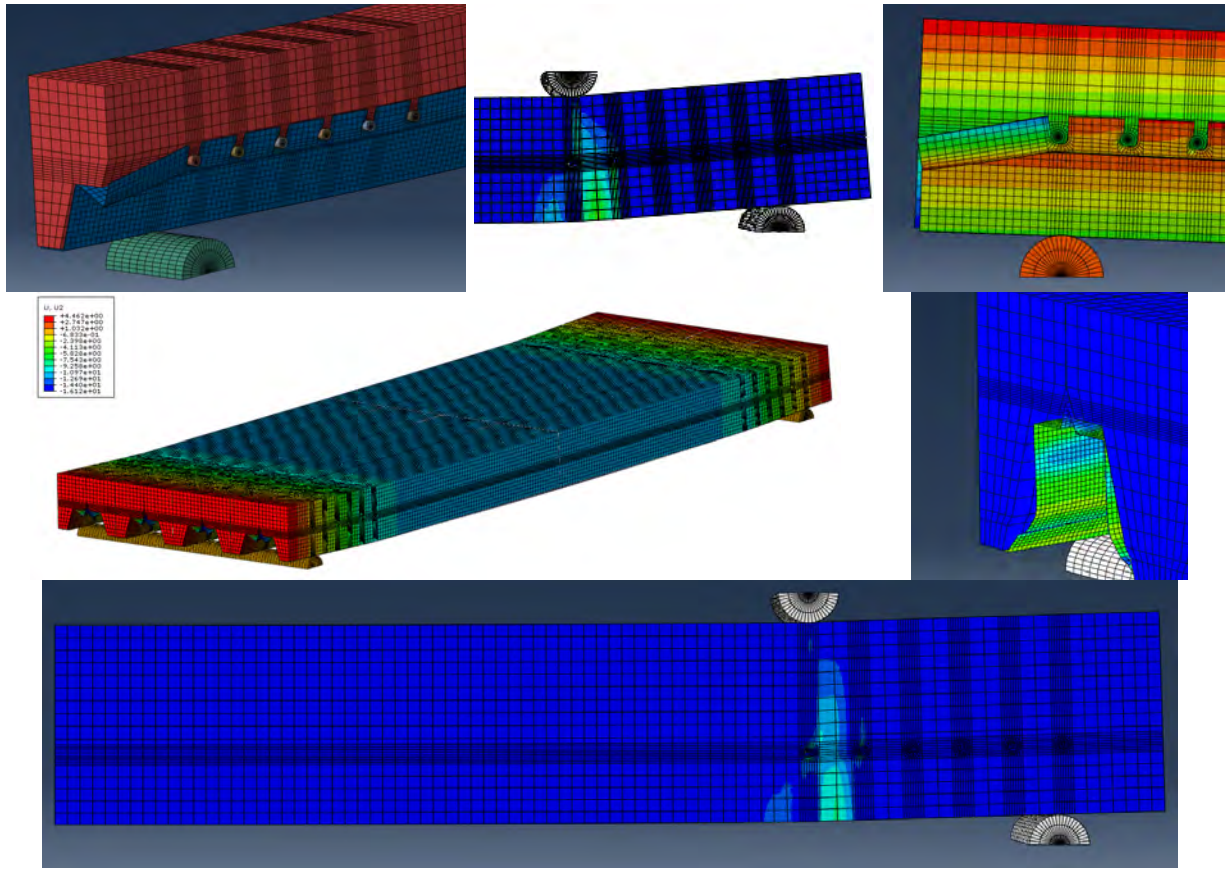
c. Ensaaios de dimensões reduzidas



d. Ensaaios de grandes dimensões



### 3) Modelação numérica



### 4) Ferramenta de cálculo

Perfil da chapa		H60
Classe do betão		C 30/37
Classe do aço da chapa		S320 GD-Z
Espessura da chapa		1.0 mm
Número de vãos		1 vão
Considerar $V_{red}$ ?		Sim
Armadura longitudinal nas nervuras?		Não
Método de cálculo do corte longitudinal?		Conexão Parcial
Flecha máxima na fase construtiva		$L/240$
Flecha máxima na fase definitiva		$L/300$

Método de Conexão Parcial		0.271 MPa
Tensão de corte resistente ( $\tau_{cr}$ )		0.271 MPa
Amarração de Extremidade?		Nenhuma
Implementação da Solução de Reforço?		Sim

Parâmetros da Solução INOV LAMI		8 mm
Diâmetro dos varões		8 mm
Afastamento entre os varões		200 mm

Carga máxima característica suportada - $q_{mix}$ (kN/m <sup>2</sup> )																
$L/h$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
1.2	61.29	66.36	71.28	76.08	80.77	85.38	89.91	94.36	98.76	103.10	107.40	111.64	115.84	120.01	124.14	128.24
1.4	46.23	50.49	54.62	58.63	62.55	66.40	70.17	73.89	77.55	81.17	84.75	88.29	91.79	95.26	98.70	102.11
1.6	36.22	39.88	43.42	46.85	50.20	53.48	56.71	59.88	63.00	66.09	69.14	72.15	75.14	78.10	81.03	83.94
1.8	29.21	32.40	35.48	38.47	41.39	44.24	47.04	49.79	52.50	55.18	57.82	60.44	63.03	65.60	68.14	70.67
2.0	22.80	26.91	29.63	32.26	34.83	37.34	39.81	42.23	44.62	46.97	49.30	51.60	53.88	56.14	58.38	60.60
2.2	16.70	22.73	25.16	27.51	29.80	32.04	34.23	36.39	38.51	40.61	42.68	44.73	46.76	48.77	50.76	52.73
2.4	12.47	15.42	18.87	23.78	25.84	27.85	29.82	31.76	33.67	35.55	37.41	39.25	41.07	42.87	44.66	46.44
2.6	9.44	15.42	18.87	20.79	22.66	24.48	26.26	28.01	29.74	31.45	33.13	34.79	36.44	38.07	39.69	41.30
2.8	7.21	11.96	15.63	18.34	20.05	21.71	23.33	24.93	26.50	28.06	29.59	31.10	32.61	34.09	35.57	37.03
3.0	5.54	9.35	12.29	15.82	17.88	19.40	20.89	22.35	23.80	25.22	26.62	28.01	29.38	30.74	32.09	33.43
3.2	4.26	7.36	9.74	12.60	15.97	17.45	18.82	20.17	21.50	22.81	24.10	25.38	26.64	27.89	29.14	30.37
3.4	3.27	5.80	7.75	10.09	12.86	15.79	17.06	18.30	19.53	20.74	21.94	23.12	24.29	25.44	26.59	27.73
3.6	2.48	4.58	6.18	8.11	10.40	13.08	15.53	16.69	17.83	18.95	20.06	21.15	22.24	23.31	24.38	25.43
3.8	-	3.60	4.92	6.53	8.44	10.68	13.27	15.28	16.34	17.39	18.42	19.44	20.45	21.45	22.44	23.42
4.0	-	2.80	3.90	5.24	6.85	8.73	10.91	13.41	15.04	16.01	16.97	17.93	18.87	19.80	20.73	21.64
4.2	-	2.15	3.07	4.19	5.54	7.14	8.99	11.11	13.52	14.79	15.69	16.58	17.46	18.34	19.20	20.06
4.4	-	-	2.38	3.32	4.46	5.82	7.40	9.21	11.28	13.19	14.13	15.08	16.02	16.97	17.84	18.65
4.6	-	-	-	2.60	3.57	4.72	6.07	7.63	9.40	11.41	12.61	13.45	14.30	15.15	15.99	16.84
4.8	-	-	-	-	2.81	3.80	4.96	6.30	7.83	9.57	11.27	12.03	12.79	13.54	14.30	15.06
5.0	-	-	-	-	2.17	3.02	4.01	5.17	6.50	8.01	9.70	10.77	11.45	12.13	12.81	13.49
5.2	-	-	-	-	-	2.35	3.21	4.21	5.36	6.68	8.16	9.65	10.26	10.88	11.49	12.10
5.4	-	-	-	-	-	-	2.52	3.39	4.39	5.54	6.83	8.28	9.21	9.76	10.31	10.87
5.6	-	-	-	-	-	-	-	2.68	3.55	4.55	5.69	6.96	8.26	8.76	9.26	9.76
5.8	-	-	-	-	-	-	-	2.06	2.82	3.70	4.70	5.82	7.07	7.86	8.31	8.76
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	2.19	2.96	3.83	4.82	5.93	7.06	7.46	7.87

Vão máximo sem escoramento - $L_{e,max}$ (m)																
$h$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
$L_{e,max}$	2.60	2.60	2.60	2.40	2.40	2.40	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00