

2. Sistemas de Lajes

2.1.

Considerações Gerais de Lajes Empregadas em Estruturas de Aço

Neste capítulo são apresentados os tipos mais comuns de sistemas de lajes utilizadas na construção civil.

2.1.1.

Laje Maciça

A laje maciça é o sistema construtivo mais difundido atualmente na construção civil (casas, edifícios, garagens, etc.). A laje consiste de fôrmas e escoras de madeira que sustentam a estrutura durante o processo de cura do concreto [2]. A estrutura final é mais pesada do que as estruturas utilizadas em outros métodos construtivos e apresenta um alto tempo de espera para utilização. Este sistema de laje maciça também apresenta um custo elevado se comparado a outros tipos de sistemas construtivos. A Figura 2.1 mostra as escoras e as fôrmas necessárias para se construir uma laje maciça.



Figura 2.1 – Detalhe das escoras e fôrmas para uma laje maciça.

2.1.2.

Lajes Pré-fabricadas ou Pré-moldadas com Nervuras e Blocos

As lajes pré-moldadas são utilizadas com elementos já prontos para montagem, ou seja, usam vigotas e blocos de concreto ou tijolos cerâmicos para execução da laje do forro e do piso. A praticidade do uso de lajes pré-moldadas é devido a sua facilidade e a sua rapidez durante a montagem. A Figura 2.2 apresenta um sistema de laje que utiliza blocos de concretos e vigas pré-moldadas.

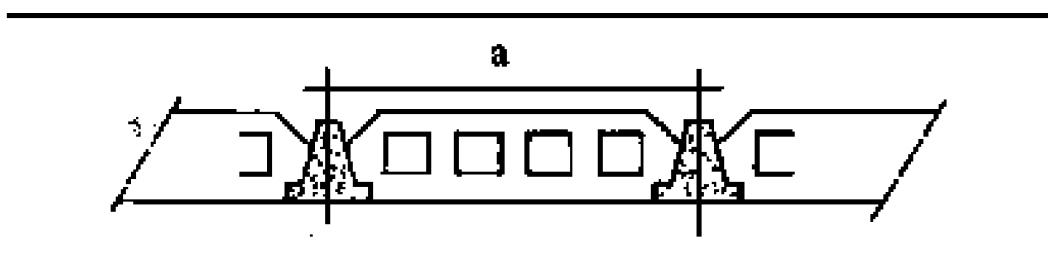


Figura 2.2 – Disposição dos elementos de uma laje pré-fabricada [2].

A variável “a” na Figura 2.2 representa a distância entre vigotas em lajes pré-moldadas. Os valores de “a” podem ser vistos na Tabela 2.1

Tipo de Blocos	Valores de “a” (cm)
Cerâmicos comuns	47
Cerâmicos médios	41
Cerâmicos pequenos	34
Cimento	52

Tabela 2.1 – Valores de “a” para diversos tipos de blocos [2].

Os valores para os blocos de concreto listados na Tabela 2.1 mais utilizados neste sistema são apresentados na Tabela 2.2.

Blocos	Eixo a Eixo (cm)	Quantidade por m ²	Peso (Kg)
Cerâmicos comuns	47	11.3	4.0
Cerâmicos médios	41	12.53	3.0
Cerâmicos pequenos	34	15.70	2.0
Cimento	52	10.0	7.2

Tabela 2.2 – Dimensões dos blocos de concreto [2].

A Figura 2.3 mostra o início da concretagem de uma laje pré-moldada com blocos cerâmicos.



Figura 2.3 – Concretagem de uma laje pré-moldada com blocos cerâmicos.

2.1.3.

Lajes Trelaçadas

A laje trelaçada é composta de uma estrutura espacial com vigas (Figura 2.4) e elementos de enchimento que podem ser cerâmicas, EPS (isopor), concreto, concreto celular e outros [2]. Pode-se destacar algumas vantagens desse sistema de laje:

- vence vãos e sobrecargas maiores;
- possui melhor aderência concreto-viga, não possibilitando trincar;
- necessita menos mão-de-obra de montagem e de transporte;

- possibilita parede sobre a laje;

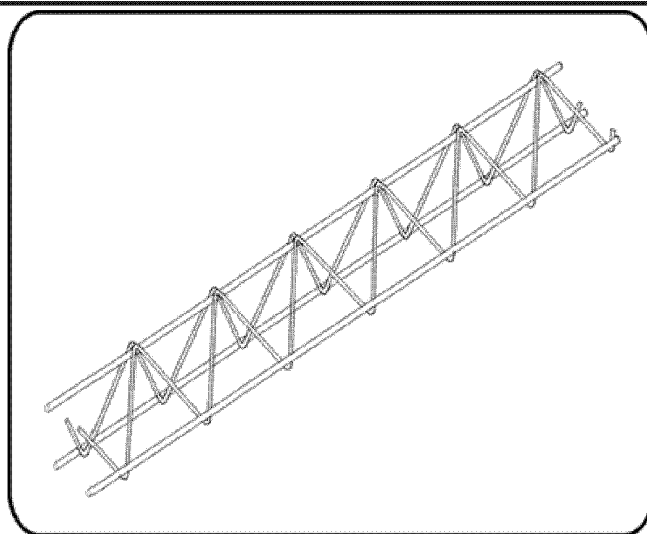


Figura 2.4 – Modelo de treliça utilizada nas lajes [3].

A Tabela 2.3 apresenta especificações técnicas dos tipos de treliças utilizadas neste sistema.

TIPOS DE TRELIÇAS PADRONIZADAS					
MODELO	ALTURA (mm)	PESO Kg/m	DIAMETROS DOS FIOS		
			SUPERIOR	SENOZOIDE	INFERIOR
TR 6 (644)	60	0.711	6.0	4.2	4.2
TR 8 (644)	80	0.735	6.0	4.2	4.2
TR 8 (646)	80	0.961	6.0	4.2	6.0
TR10 (644)	100	0.762	6.0	4.2	4.2
TR10 (645)	100	0.853	6.0	4.2	5.0
TR12 (644)	120	0.793	6.0	4.2	4.2
TR12 (645)	120	0.890	6.0	4.2	5.0
TR12 (646)	120	1.017	6.0	4.2	6.0
TR12 (745)	120	0.964	7.0	4.2	5.0
TR16 (745)	160	1.032	7.0	4.2	5.0
TR16 (746)	160	1.168	7.0	4.2	6.0
TR20 (746)	200	1.260	7.0	4.2	6.0
TR20 (756)	200	1.500	7.0	5.0	6.0
TR25 (856)	250	1.700	8.0	5.0	6.0
TR30 (856)	300	1.830	8.0	5.0	6.0

Tabela 2.3 – Especificação técnica das treliças [3].

As Figuras 2.5 e 2.6 apresentam exemplos de lajes treliçadas com enchimento de cerâmica e isopor.



Figura 2.5 – Laje treliçada com enchimento de cerâmica [3].



Figura 2.6 – Laje treliçada com enchimento de isopor [3].

2.1.4.

Lajes Protendidas

O concreto protendido tem evidenciado vantagens técnicas e econômicas no campo das construções de pontes e de reservatórios. Nos últimos anos, graças a estudos realizados [2], as características do concreto protendido vêm sendo utilizadas também em edifícios e particularmente em lajes.

Algumas características das lajes protendidas podem ser destacadas:

- as deformações são menores do que nas lajes de concreto armado e nas estruturas metálicas equivalentes;
- o emprego de aços de alta resistência torna as estruturas mais econômicas;
- as deformações devido ao peso próprio podem ser completamente eliminadas;
- é possível uma retirada antecipada do escoramento e das fôrmas, pelo fato de se trabalhar com tensões relativamente baixas;
- há um melhor comportamento da estrutura com relação às fissuras;
- A ausência de vigas oferece vantagens evidentes para execução da obra quanto à economia, tanto de material quanto de tempo;
- as resistências ao puncionamento são maiores.

As Figuras 2.7 e 2.8 apresentam o processo de montagem de lajes protendidas.



Figura 2.7 – Execução de uma laje protendida [4]



Figura 2.8 – Execução da protensão de uma laje [4].

2.2.

Lajes Mistas

Lajes mistas são aquelas em que a fôrma de aço é incorporada ao sistema de sustentação das cargas. Antes da cura do concreto, elas funcionam como suporte das ações permanentes e sobrecargas de construção. Depois da cura, funcionam como parte da armadura de tração da laje ou como a armadura em si [5].

Denomina-se comportamento misto aço-concreto aquele que passa a ocorrer após a fôrma de aço e o concreto terem sido combinados para formar um único elemento estrutural. Conforme apresentado na Figura 2.9 a fôrma de aço deve ser capaz de transmitir o cisalhamento longitudinal na interface aço-concreto por meio de:

- ligação mecânica por mossas nas fôrmas de aço trapezoidais (Figura 2.9a);
- ligação por atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço com cantos reentrantes (Figura 2.9b).

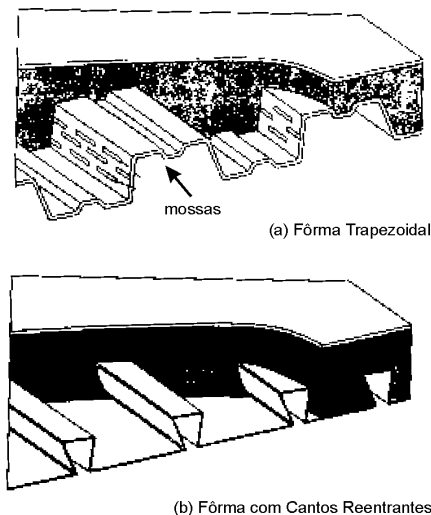


Figura 2.9 - Lajes com fôrma de aço incorporada [5].

As vantagens do sistema de lajes mistas são [5,6]:

- dispensa de escoramento;
- redução de desperdício de material;
- facilidade de instalação e maior rapidez na construção;
- facilidade de passagem de dutos e de fixação de forros;
- redução (ou eliminação) da armadura de tração na região de momentos positivos;
- maior segurança do trabalho, por funcionar como plataforma de serviço e de proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores;
- praticidade de execução, uma vez que a fôrma fica incorporada ao sistema, não havendo a etapa de desfôrma.

No entanto, algumas desvantagens podem ser citadas:

- necessidade de utilização de forros suspensos, por razões estéticas;
- maior quantidade de vigas secundárias, caso não se utilize o sistema escorado e/ou fôrmas de grande altura, devido a limitações dos vãos antes da cura do concreto.

2.2.1.

Tipos de Lajes Mistas

Nos próximos itens serão apresentados alguns tipos de lajes mistas.

2.2.1.1.

Sistema Misto com Deck-Metálico (*Steel Deck*)

Painéis de chapas metálicas (aço ou alumínio) de reduzida espessura e dobrados a frio podem ser utilizados eficientemente como fôrma permanente em lajes de piso de concreto [6]. As principais vantagens de um sistema deste tipo são a dispensa do uso de fôrmas e a redução ou ausência de escoramentos por ocasião da concretagem e a rapidez de execução da obra. Caso estes painéis possuam mostras ou corrugações eficientes entre aço e concreto, então a chapa de aço passa a funcionar como armadura positiva da laje e, neste caso, o painel passa a ser chamado de deck-metálico.

Para que o deck-metálico funcione de modo satisfatório nas várias etapas construtivas, é necessário que ele não apresente deformações excessivas no momento da concretagem e que após a cura do concreto seja desenvolvida uma forma efetiva de ligação entre os dois materiais. Deste modo, o problema do empoçamento do concreto é evitado e um comportamento adequado na fase de utilização é garantido.

A geometria e o tipo de mecanismo de aderência concreto-aço influenciam diretamente a capacidade de suporte de carga do deck-metálico. Conforme apresentado na Figura 2.10a), no início do desenvolvimento do deck-metálico, eram soldados vergalhões em painéis tipo telha. Os vergalhões possibilitam uma aderência necessária. Contudo, deve-se considerar o trabalho adicional de soldagem em perfil de chapa de espessura reduzida.

Na tentativa de evitar esse trabalho adicional, foi fabricado um perfil com reentrâncias e corrugações de alma e mesa, como mostrado nas Figuras 2.10b e 2.10c. O perfil da Figura 2.10c é mundialmente conhecido como “*HOLORIB*”, difundido principalmente nos países europeus e geralmente apresenta uma altura de 50 milímetros,. Nos países norte-americanos o deck-metálico trapezoidal (Figuras 2.10d e 2.10e) é o mais empregado. A altura deste perfil varia de 38 a 76 milímetros, podendo atingir até 90 milímetros; a espessura da chapa varia entre 0,76 a 1,5 milímetros.

A geometria do perfil tem grande influência na resistência por aderência mecânica, como mostra a reentrância na alma do perfil da Figura 2.10d. A principal função desta reentrância é aumentar a resistência ao escorregamento nas corrugações da parte inferior da canaleta, por confinamento do concreto nesta região.

Os perfis mostrados na Figura 2.10, em função da geometria e da espessura da chapa, são empregados em vãos desde 600 até 6.000 milímetros, dependendo também do peso e da resistência do concreto usado, existência ou não de linha de escoramento no centro do vão e da espessura da laje.

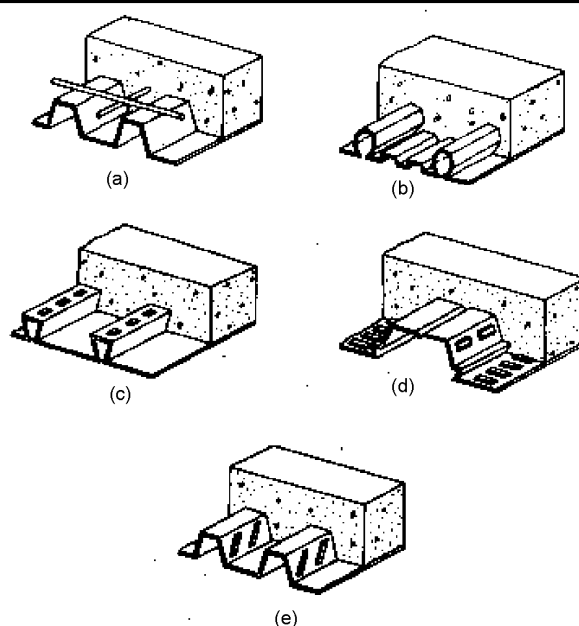


Figura 2.10 - Geometria e fôrmas de aderência mecânica [6].

Dependendo da geometria do deck-metálico e da eficiência dos elementos de aderência mecânica, a ruína da laje mista pode ocorrer de três maneiras:

- ruína por flexão na seção de máximo momento, de acordo com a seção I-I'd na Figura 2.11;
- ruína por deslizamento longitudinal quando a resistência à aderência é ultrapassada, segundo a seção II-II da figura 2.11;
- ruína por cisalhamento vertical (seção III-III, Figura 2.11).

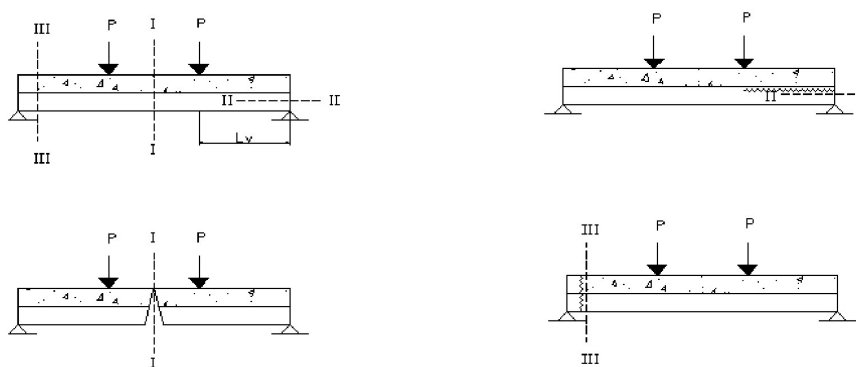


Figura 2.11 - Modos de ruínas de lajes mistas [6].

Uma interpretação de como cada um destes modos de ruína podem ser predominantes é mostrada no gráfico da Figura 2.12, no qual L_v é o comprimento do trecho da laje com cisalhamento máximo. Caso L_v seja grande, predomina a ruína por flexão, por tratar-se de laje sub-armada. Caso L_v seja pequeno, predomina a ruína por cisalhamento vertical. Com L_v intermediário, que é o caso mais usual, a ruína por escorregamento longitudinal é que controla a resistência da laje mista.

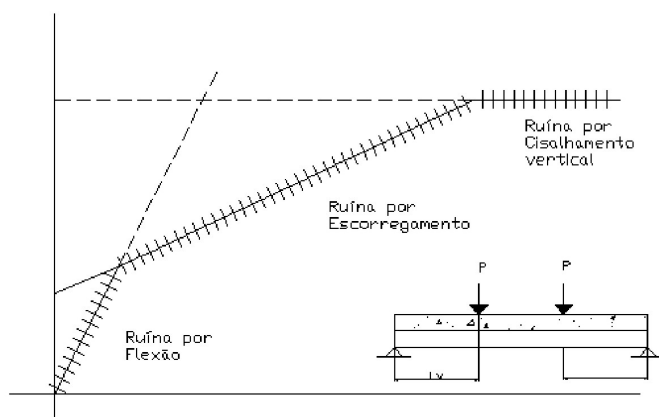


Figura 2.12 - Modos de ruínas [6].

2.2.1.2.

Sistema Proposto por Takey

O trabalho teórico-experimental proposto em [2] apresenta o estudo de uma laje mista com uso de perfis metálicos de chapa dobrada e isopor, seqüencialmente dispostos lado a lado e preenchidos com concreto armado.

Neste sistema misto, as vigotas de concreto foram substituídas por chapas de aço dobradas, preenchidas com concreto, e as lajotas de tijolo comum foram substituídas por blocos de isopor, tornando a estrutura mais leve.

O início da pesquisa apresentada em [2] se deu com o estudo da forma da seção de chapa dobrada. A idéia era que esta chapa atuasse tanto como fôrma quanto como armadura positiva.

Com base nessa idéia, Takey realizou um estudo das chapas dobradas a frio e suas influências nas propriedades mecânicas do aço. O aço trabalhado a frio produz um aumento de resistência, gerando propriedades diferentes entre seções na dobra e na parte plana do material [2].

A partir do projeto de perfis de chapa dobrada [2] foi realizada uma análise paramétrica de um perfil trapezoidal, variando suas dimensões e avaliando a sua resistência à tração uniforme, a flexão simples e os valores das cargas suportadas após a construção.

As principais variáveis adotadas em [2] foram as dimensões do perfil, a altura e a espessura da chapa metálica e o número de vãos contínuos. A espessura da chapa variou de 1,52 a 3,0 milímetros e a altura do perfil de 70 a 150 milímetros.

Em [2] diversos sistemas estruturais foram estudados, desde a situação bi-apoiada até uma com 4 apoios, variando os vãos de 1,5 a 6,0 metros. Também foram realizadas comparações do vão máximo para a flecha máxima da seção. Foram medidas a carga máxima suportada por cada vão para os momentos máximos positivos e negativos, cargas após a construção, a inércia e o peso do aço por vão. Depois de analisados e comparados todos esses parâmetros, foi obtido um perfil ideal para ser utilizado.

2.2.2.

Sistema de Laje Mista Proposto

O estudo apresentado nesta dissertação tem como objetivo propor uma solução alternativa de laje mista.

Pretende-se com esta solução aumentar a produtividade em tempo e material, e também investigar a sua aplicabilidade em setores diversos como residências, ambientes onde o escoramento é inviável e locais onde a rapidez de execução é imprescindível.

O objetivo deste estudo é produzir um sistema de laje mista com utilização de perfil de chapa dobrado incorporado e estudar o quanto este sistema é resistente quando uma determinada carga é aplicada. O perfil atua como fôrma e armadura positiva.