



# Lajes de concreto com fôrma incorporada – Fundamentos e Recomendações Técnicas para execução.

## *Concrete slabs with incorporated formwork – Fundamentals and Technical Recommendations for execution.*

Ribeiro, L. F. <sup>1</sup>

*Graduanda, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil*

Oliveira, M.A. <sup>2</sup>

*Professor Esp., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil*

<sup>1</sup> [lhorraynels@hotmail.com](mailto:lhorraynels@hotmail.com); <sup>2</sup> [profmarco@pucgoias.edu.br](mailto:profmarco@pucgoias.edu.br)

**RESUMO:** Em busca de agilidade e eficiência no canteiro de obras, o método construtivo de laje com fôrma colaborante tem sido bastante utilizado, embora ainda apresente diversas falhas executivas. Logo, este trabalho teve como finalidade exemplificar o desempenho dessa laje, apontar os devidos cuidados no armazenamento do seu material, estabelecer os critérios e verificações durante a execução, além das limitações construtivas em situações de incêndio, através de uma fundamentação teórica embasada em pesquisas, artigos acadêmicos e manuais técnicos disponibilizados pelos seus respectivos fabricantes, além de consultas e questionários com empresas e engenheiros civis da área, sendo atestado o baixo ou nenhum conhecimento técnico por parte dos profissionais. Por fim, foi sintetizado as principais etapas, de forma que possa orientar posteriormente os profissionais da área de engenharia civil durante o processo executivo, auxiliando a sanar as dúvidas e possíveis problemas devido à má execução.

*Palavras-chaves: Laje com fôrma colaborante; Steel Deck; Laje de concreto com telha fôrma incorporada.*

**ABSTRACT:** In search of agility and efficiency at the construction site, the collaborative form of slab construction method has been widely used, although it still presents several executive flaws. Therefore, the respective work aims to exemplify the performance of this slab, to point out the proper care in the storage of its material, to establish the criteria and checks during the execution, in addition to the constructive limitations in fire situations, through a theoretical foundation based on research, academic articles and technical manuals made available by the manufacturers. Finally, it summarizes the main steps, so that it can guide professionals in the field of civil engineering during the executive process, helping to resolve doubts and possible problems due to poor execution.

*Keywords: Slab with collaborative shape, Steel Deck, Concrete slab with embedded form tile.*

**Área de Concentração:** 01 – Estruturas, 02 – Estruturas Metálicas, 03 – Laje Mistas, 04 – Laje Fôrma Incorporada.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, ainda é um desafio construir mais em menor tempo, sem comprometer a qualidade e a sustentabilidade do seu empreendimento. Em busca da simplificação dos processos construtivos, algumas técnicas têm sido adotadas, como por exemplo, a industrialização do canteiro de obras, permitindo maior eficiência e agilidade, minimizando drasticamente o prazo de execução.

A busca por processos racionais de construção ainda perpetua no meio da construção civil, com objetivo de acelerar as etapas construtivas partindo de componentes industrializados e metálicos, aumentando a qualidade do seu processo e simultaneamente a produtividade (DA SILVA, 2010).

De acordo com Da Silva (2010), a utilização do aço como material para construção trouxe transformações significativas na sociedade, tendo como principal característica a pré-fabricação, possibilitando métodos industrializados, reduzindo perdas e tempo de execução.

Dessa forma, estruturas mistas aço-concreto vêm conquistando o seu espaço no mercado da construção civil. Além disso, uma pesquisa realizada pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) e pela Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM), em 2016, mostrou que há no mercado 121 fabricantes cadastrados, de fôrmas colaborantes *Steel Deck*.

A laje mista é a composição do aço com o concreto, sendo constituída por uma chapa de aço que funciona como fôrma autoportante durante a concretagem, e como armadura positiva após a cura do concreto. Sua maior diferença em relação as lajes tradicionais é que ela se mantém mesmo após a concretagem, ou seja, não é necessário retirar as fôrmas, pois estão atuando como elemento estrutural também.

Nos dias atuais, a busca por tecnologias inovadoras é cada vez maior e o método construtivo com a laje com fôrma colaborante, quando bem planejado e executado, serve como solução para problemas como, peso próprio da estrutura, restrições de espaço no canteiro de obras, tempo de execução, diminuição de escoramento ou até mesmo a eliminação delas, além de possibilitar a redução de entulhos no canteiro.

A laje com fôrma colaborante é um sistema construtivo de alta eficiência, o que permite o seu uso em grandes obras, como shoppings, edifícios comerciais, hotéis, hospitais, conjuntos habitacionais, garagens e edifícios industriais em geral, no entanto, devido ser um sistema

ainda em pequena utilização, apresenta bastantes dúvidas quanto a sua adequada execução.

Esse sistema possui diversas vantagens em relação a outros. Embora a primeira norma regulamentadora para o dimensionamento da laje com fôrma colaborante a ABNT NBR 16421:2015 tenha entrado em vigor em 2015, ainda há grandes falhas no processo executivo desse sistema de laje, implicando em práticas de obra equivocadas que geram manifestações patológicas e outros tipos de problemas.

Logo, a sintetização das etapas do processo executivo será fundamentada em uma revisão bibliográfica, servindo como uma estratégia capaz de oferecer adequada orientação ao engenheiro civil durante a execução da laje mista com fôrma colaborante no cenário nacional.

O presente estudo busca instruir a adequada execução de lajes mistas com fôrma incorporada, através de uma revisão bibliográfica com os respectivos objetivos específicos:

- a) Exemplificar o desempenho da laje como fôrma colaborante em lajes mistas;
- b) Apontar os cuidados de armazenamento e montagem;
- c) Determinar os critérios e verificações de vão máximo sem escoramento;
- d) Determinar os procedimentos de concretagem e armadura adicional;
- e) Estabelecer os parâmetros de reforços das aberturas e apoios mínimos;
- f) Estabelecer as limitações construtivas e cuidados para situações de incêndio;
- g) Sintetizar as principais etapas executivas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 *Desempenho da laje como fôrma-incorporada em lajes mistas*

Observa-se como a crescente participação de estruturas metálicas e mistas tem influenciado diretamente na industrialização dos canteiros de obra na construção civil, destacando-se a utilização de lajes mistas devido a sua racionalização. A aplicação da laje com fôrma colaborante, apesar de ser uma solução estrutural de grande interesse no mercado, ainda sofre com a

escassez de estudos, principalmente em relação a sua execução e montagem (DA SILVA, 2010).

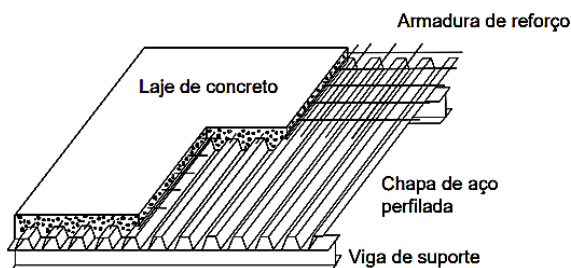
A utilização da laje com forma incorporada é uma solução construtiva amplamente utilizada em obras que demandam racionalização de recursos e agilidade de execução, sendo uma telha de aço galvanizado, perfilada e com nervuras. Durante a concretagem da laje, ela funciona como fôrma para o concreto, eliminando parcialmente ou totalmente os escoramentos. Esse sistema estrutural é composto por telas eletrosoldadas, funcionando como armadura de reforço, retração, negativa e de canto. A fixação das formas varia para cada modelo construtivo. Em estruturas de aço utiliza-se a solda ponto e em estruturas de concreto a solidarização é feita por pinos (NAKAMURA, 2019).

De acordo com Nakamura (2019), o desempenho técnico das lajes com forma incorporada, torna-se mais perceptível quando consideradas ainda na fase de projeto, podendo ser adotados vãos adequados para a sua aplicação. Esse tipo de laje sobressai em relação aos demais sistemas convencionais quando aplicado em vãos de 2 a 4 metros, sendo possível dispensar o uso de escoramentos.

A própria chapa de aço perfilada é responsável por combater os momentos fletores positivos atuantes na estrutura, estando o concreto comprimido nas suas nervuras. Para combater os momentos negativos é necessário incorporar uma armadura de reforço na parte superior da laje (SAÚDE e RAIMUNDO, 2006).

Para que a seção possa trabalhar toda em conjunto (aço-concreto), torna-se necessária uma boa aderência para que funcione como uma estrutura mista. Em função disso, as chapas, a forma das nervuras e reentrâncias na sua superfície precisam apresentar um perfil particular, sendo acompanhados de mecanismos de conexão, tendo em vista a resistência da seção à tensão longitudinal de cisalhamento solicitada na interface entre a chapa e o concreto, como ilustra a figura 1. (SAÚDE e RAIMUNDO, 2006).

**Figura 1 - Lajes mistas.**

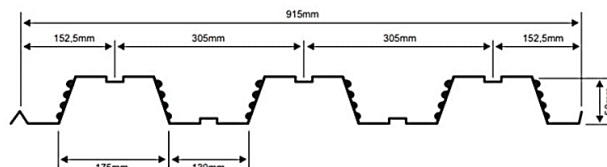


**Fonte: ARAÚJO (2017).**

De acordo com Saúde e Raimundo (2006), as chapas são formadas a frio e devem obedecer às especificações

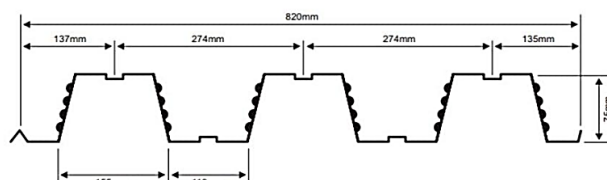
da parte 1.3 do Eurocódigo 3. Dentre suas características geométricas, a altura da chapa pode variar de 50 milímetros a 80 milímetros e possuir espessuras de 0,7 milímetros a 1,2 milímetros. Suas reentrâncias e espaçamento entre nervuras, variam em função do modelo de chapa escolhido, de acordo com disponibilidade no mercado (figuras 2 e 3).

**Figura 2 – Chapa de aço perfilada – Modelo MF-50**



**Fonte: Metform (2019)**

**Figura 3 – Chapa de aço perfilada – Modelo MF-75**



**Fonte: Metform (2019)**

Os modelos apresentados das chapas de aço, são fornecidos pela Metform, uma das fabricantes brasileiras com grande representatividade em fôrmas metálicas para lajes de concreto do tipo mista. O modelo MF-50, é caracterizado por apresentar 50 milímetros de altura e largura útil de 915 milímetros, sendo mais adotado em obras urbanas tipo hotéis, hospitais, escritórios, edifícios, garagens etc. Já o modelo MF-75, apresenta altura de 75 milímetros e largura útil de 820 milímetros, recomendado para empreendimentos industriais e lajes com necessidade de resistência às cargas elevadas (METFORM, 2019).

## 2.2 Cuidados de armazenamento e montagem

De acordo com Nakamura (2018), independente da aplicação da laje mista, é necessário atentar-se a alguns cuidados. Deve-se respeitar o limite dos vãos, sobrecargas, espessuras das chapas e do concreto, conforme as informações do fabricante.

A fôrma colaborante e seus acessórios são produzidos em aço galvanizado. Portanto, todas as precauções a serem tomadas na obra deverão sempre evitar o aparecimento de algum tipo de corrosão causada pela penetração e retenção de água entre as peças galvanizadas. De maneira geral, o material é enviado para a obra em fardos, com os materiais firmemente cintados, de forma a evitar que a vibração durante o

transporte possa danificar as peças. Caminhões transportam somente painéis com até 8 metros de comprimento, já para painéis de 12 metros, são utilizadas as carretas.

De acordo com o Manual Técnico (METFORM, p.63, 2007) de especificações e recomendações para o uso da fôrma colaborante, assim que o material é posto na obra, deverá ser feita uma conferência visual, atestando o perfeito estado de chegada, sendo descarregado os fardos através de guas ou guindastes.

Durante o içamento, é recomendável o uso de uma proteção de madeira ou borracha, de forma que as cintas não fiquem diretamente em contato com as fôrmas colaborantes e que a distância máxima entre as cintas seja de 3,50 metros, sendo necessária a utilização da viga balanço para içamento de fardos com comprimento superior a 3 metros.

O armazenamento temporário deverá ocorrer em local seco, coberto, arejado, com pequenas variações de temperatura e protegido de umidade. Os fardos deverão ser posicionados sobre estrados de madeira ou aço, evitando o contato direto com o solo. Para precaução, inclinar os fardos para possibilitar o escoamento da água em caso de acidentes. Entre os fardos, garantir espaço para facilitar a ventilação.

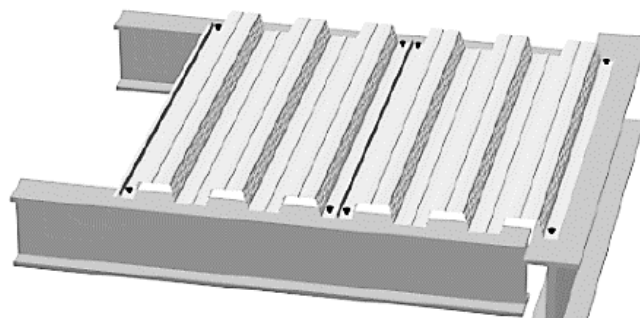
Deve se atender ao prazo máximo de armazenamento de material em obra de 01 mês (30 dias), sendo imprescindível atentar-se que durante este período de armazenagem, em hipótese alguma deve-se colocar carga sobre o material, pois isso poderia provocar o amassamento das fôrmas colaborantes.

Após a conclusão da montagem das vigas da estrutura, começa a instalação das fôrmas colaborantes. Na face superior da viga (a área da mesa superior que receberá a fôrma colaborante) deverá estar nivelada e limpa de sujeiras ou ferrugem. Se for necessário a solda de conectores de cisalhamento do tipo Stud Bolt, é fundamental que essa área não possua nenhum tipo de pintura para que o processo de solda não seja prejudicado.

Eventualmente, nos cantos e no contorno dos apoios poderão ser necessários recortes para ajuste das fôrmas, nesse caso, os recortes poderão ser realizados mediante o uso de máquinas com discos para corte de metal.

Para a fixação preliminar, na extremidade de cada painel deverão ser utilizados pelo menos dois rebites, prendendo a fôrma colaborante na mesa superior das vigas principais. Essa fixação preliminar, objetiva o alinhamento dos painéis e elimina possíveis movimentações devido ao vento (figura 4).

**Figura 4 – Fixação preliminar.**



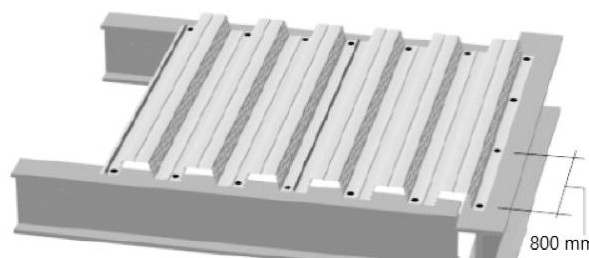
**Fonte: Metform (2007).**

A fixação definitiva, deverá ser executada por meios de ponto de solda bujão. A princípio, deve-se fazer uma abertura na fôrma colaborante com diâmetro aproximadamente de 16 milímetros, podendo-se utilizar para isto o próprio eletrodo de solda e em seguida preencher a abertura com a deposição do material de solda.

Para as vigas de suporte dos painéis (perpendiculares às nervuras) é recomendável que se faça um ponto de solda bujão em todas as ondas baixas da fôrma colaborante. No entanto, para as vigas paralelas as nervuras, recomenda-se que os pontos de solda bujão sejam executados ao longo do comprimento dos painéis com um espaçamento entre si de até 800 milímetros (figura 5).

Após a execução da fixação definitiva da fôrma colaborante, a junção longitudinal dos painéis deverá ser executada através de “mordidas” com um alicate especial, com um espaçamento entre si de até 800 milímetros.

**Figura 5 – Fixação definitiva.**



**Fonte: Metform (2007).**

Normalmente, ao longo das extremidades das lajes e contorno das aberturas, são utilizadas cantoneiras em aço, conhecidas como arremates laterais, servindo como contenção lateral para o concreto fresco, além de possibilitar um bom acabamento para as lajes.

A fixação dos arremates laterais deverá ser realizada por meio de soldas de filete, com comprimento igual a 25 milímetros e espaçadas entre si de até 300

milímetros. Atentar-se durante a montagem dos arremates laterais, para que a aba horizontal das peças tenha uma largura de apoio mínima da mesa superior das vigas de 50 milímetros.

Durante e após a montagem, não é recomendável o armazenamento de materiais sobre a fôrma colaborante. Equipamentos necessários para a montagem, deveram ser posicionados preferencialmente sobre placas de madeira (facilitar a distribuição dos pesos) apoiadas sobre o eixo das vigas de suporte.

Em vigas mistas que servirão de suporte para a fôrma colaborante, será necessário realizar a conexão entre a fôrma e o concreto, sendo utilizado os conectores de cisalhamento Stud Bolt. Estes conectores deverão ser executados pela equipe de montagem da estrutura metálica, com auxílio de um diagrama de locação dos conectores com a correta indicação da quantidade e da distribuição ao longo do comprimento das vigas, sendo fornecido pelo engenheiro calculista da estrutura metálica em questão.

A fixação dos conectores Stud Bolt, se dá por uma solda de eletrofusão dos pinos nas vigas. Como dito anteriormente, é fundamental que a face superior da mesa das vigas esteja limpa, sem pintura e seca.

Para as vigas perpendiculares às nervuras da fôrma colaborante, os conectores serão instalados através dos painéis. Em casos nos quais as ondas baixas da fôrma colaborante possuem instalação de conectores, a solda bujão poderá ser dispensada, sendo substituída pela solda do Stud Bolt.

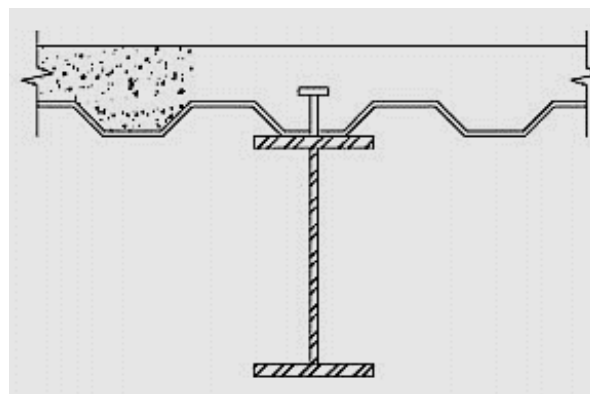
### 2.3 Critérios e verificações de vãos máximos sem escoramento

O dimensionamento da laje com fôrma colaborante normalmente é realizado a partir de tabelas fornecidas pelos fabricantes. É possível identificar a espessura da chapa e da capa de concreto ideais para atender às solicitações de sobrecarga e os vãos determinados no projeto a partir das tabelas disponibilizadas, possibilitando identificar a eventual necessidade do uso de escoras no centro do vão. Quando for necessário a utilização desses elementos, sua retirada poderá ser feita após oito dias da concretagem da laje (CICHINELLI, 2014).

O mercado brasileiro disponibiliza a fôrma de aço com três espessuras de chapa – 0,80mm, 0,95mm e 1,25mm – apresentando dois modelos de fôrma colaborante – MF-50 e MF-75 – com comprimentos que variam de acordo com o projeto, chegando a 12 metros (limite máximo de transporte por carreta) (CICHINELLI, 2014).

Para garantir a solidarização da laje com a forma metálica, em projetos que consideram o sistema de viga mista no dimensionamento da estrutura, as fôrmas possuem nervuras largas, permitindo a utilização de conectores de cisalhamento tipo Stud Bolt, sendo mais adequado o *Stud Bolt-Sd* (figura 6) (METÁFORA, 2015).

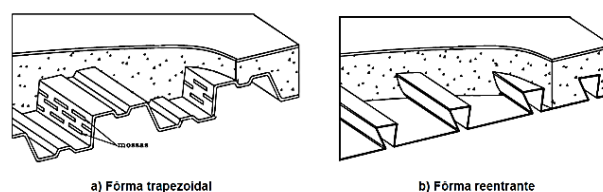
**Figura 6 - Conectores Stud Bolt fazem a solidarização da laje com a estrutura metálica.**



**Fonte: Malite (p.9, 1990).**

Conforme a NBR 8800 (2008) a fôrma de aço necessita transmitir o cisalhamento longitudinal na interface entre o aço e o concreto. Portanto, não se pode considerar válida a aderência natural entre o aço e concreto, necessitando garantir a conexão através da ligação mecânica por meio de mossas nas fôrmas de aço trapezoidais ou por meio da ligação por atrito causado pelo enclausuramento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes, como mostra a figura 7.

**Figura 7 – Ligações das lajes mistas.**



**Fonte: ABNT NBR 8800 (2008).**

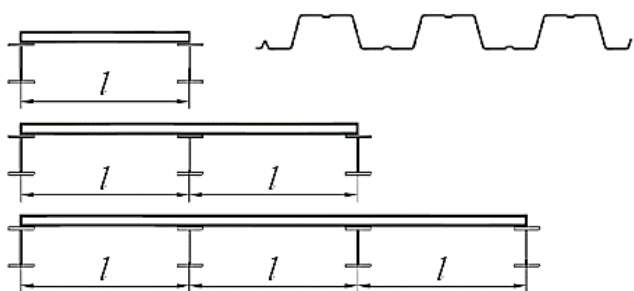
O dimensionamento da fôrma colaborante deverá seguir duas etapas, sendo a primeira fase antes da concretagem e a segunda fase após a cura do concreto.

De forma a eliminar a necessidade de escoramentos durante a etapa de construção (primeira fase), é disponibilizado algumas tabelas de seus respectivos fabricantes da fôrma colaborante, baseadas na norma.

Os valores das tabelas foram obtidos considerando-se a atuação dos carregamentos, bem como a possibilidade de continuidade da fôrma colaborante sobre as vigas de apoio (formando vãos duplos ou triplos) conforme a figura 8.



**Figura 8 – Formação de vãos duplos ou triplos.**



**Fonte: Metform (2007).**

A segunda fase envolve a verificação do sistema de laje mista para suportar as cargas do edifício. Nessa etapa, admite-se que o concreto já tenha atingido uma resistência a compressão maior ou igual a 75% do  $f_{ck}$  do projeto.

#### 2.4 Procedimentos de concretagem e armadura adicional

Após a montagem da fôrma colaborante e da instalação dos conectores de cisalhamento, começa a montagem das armaduras adicionais. Estas armaduras geralmente são fornecidas pelo auto do projeto estrutural.

O sistema de laje com fôrma colaborante consiste, basicamente, no uso de uma fôrma metálica colaborante com uma capa de concreto e uma tela metálica (com função antifissuração). Em alguns casos, o conjunto pode ser completado por uma armadura adicional negativa para absorver os momentos negativos da laje, sobretudo quando esse elemento tiver continuidade e a tela metálica não for dimensionada para absorver estes esforços (CICHINELLI, 2014).

Para a armadura de antifissuração, são utilizadas telas soldadas, ou malhas de barras trefiladas, em aço com limite de escoamento 500MPa ou 600MPa. Essa armadura possui função de evitar fissuras oriundas da retração e variação térmica do concreto, estando localizada sempre na parte superior da laje, com o uso de espaçadores para o correto posicionamento da malha, garantindo o cobrimento mínimo de 20 milímetros. De acordo com especificações da NBR 14323 a armadura de fissuração em ambas as direções, deverá ter área de seção superior a 0,10% da área de capeamento de concreto acima da telha fôrma (em caso de alto controle de abertura das fissuras, em função das características do ambiente em que as lajes estejam inseridas, a área de capeamento citada acima deve ser aumentada) (METFORM, 2017).

Podem ser projetadas armaduras de reforço, (figura 7) com objetivo de suportar os esforços gerados que

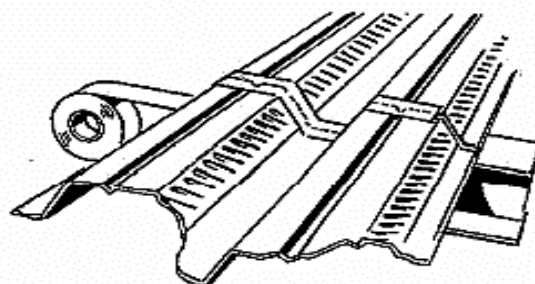
ultrapassam a resistência da fôrma colaborante e do concreto, além disso, em situações de balanços, acima das vigas principais e no contorno de pilares, nas quais a armadura de antifissuração não seja capaz de resistir aos esforços de tração gerados, pode ser necessária a utilização de armaduras adicionais na parte superior da laje (METFORM, 2017).

As armaduras adicionais são constituídas em sua maioria pelas telas soldadas, que serão posicionadas de forma a garantir um cobrimento mínimo de 20 milímetros.

Ao colocar as armaduras de reforço nas aberturas sem vigas de contorno, deverá ser previsto nichos, em isopor ou madeira, para que o concreto seja isolado da região do vazio. No entanto, atentar-se que a fôrma colaborante só poderá ser recortada após a cura do concreto.

A junção das fôrmas (na região das vigas de suporte) é realizada através de fita adesiva (tipo fita crepe), buscando evitar possíveis vazamentos de nata de cimento durante a concretagem e proporcionando um melhor acabamento na parte inferior da laje (figura 9).

**Figura 9 – Junção das fôrmas com fita adesiva.**



**Fonte: Metform (2007).**

De acordo com o manual técnico da Metform (2017), deverá sempre ser adotado concreto estrutural convencional (densidade  $24\text{kN/m}^3$ ), com resistência característica à compressão,  $f_{ck}$  maior ou igual a 20MPa. A concretagem deve ser realizada em faixas, evitando-se o acúmulo de concreto em um único ponto e, conseqüentemente, a ocorrência de flecha excessiva.

De acordo com Cichinelli (2014), os fabricantes sugerem evitar o uso de aditivos à base de cloretos para aceleração de cura do concreto, tendo em vista o comprometimento da galvanização das chapas de aço. Da mesma forma, existe o risco de corrosão em edificações construídas em ambientes agressivos como áreas litorâneas, pode ser exigida armaduras de reforço para lajes mistas.

SOUZA et al. (1995) afirmam que para a obtenção de lajes racionalizadas, é necessária a elaboração de um projeto de produção destinado a orientar os serviços de concretagem, contemplando:

- Definição do caminhamento da concretagem, delimitando os painéis em função da dimensão da régua de sarrafeamento;
- Posicionamento de taliscas;
- Posicionamento de componentes das instalações, que eventualmente sejam embutidos na espessura da laje;
- O posicionamento dos caminhos empregados para circulação de operários e equipamentos;
- Orientação para o recebimento do concreto: verificação do fator água-cimento, extração de corpos de prova e mapeamento da laje de acordo com cada caminhão betoneira;

## 2.5 Reforços de aberturas e controle de fissuração em lajes com fôrma colaborante

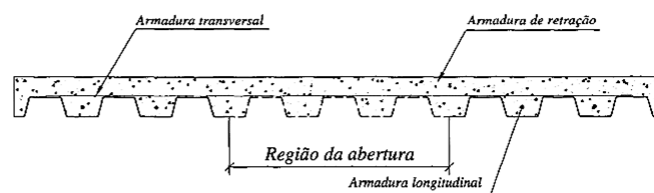
Segundo a Metform (2007), aberturas pequenas são aquelas cuja maior dimensão não ultrapasse 200 milímetros. Neste caso, não se faz necessária qualquer consideração de reforço da laje. Estas aberturas podem ser realizadas com máquinas perfuradoras com coroas diamantadas. A distância mínima entre os centros dos furos será de duas vezes o diâmetro perfurado. Para regiões em que o concreto perfurado faça parte da largura efetiva da viga mista, a distância mínima deverá ser aumentada para cinco vezes o diâmetro da abertura.

Para grandes aberturas, nas quais, pelo menos uma das dimensões ultrapasse o valor de 200 milímetros, deve ser previsto armadura de reforço longitudinal e transversal.

A armadura longitudinal deverá ser posicionada dentro das nervuras da fôrma colaborante na região adjacente ao furo. A resistência desta armadura deve equivaler à resistência da seção da fôrma colaborante que foi retirada na execução da abertura. O comprimento de ancoragem desta armadura deve ser determinado conforme a ABNT NBR 6118 2014.

A armadura transversal deverá ser posicionada perpendicularmente às nervuras da fôrma colaborante, apoiando diretamente sobre a mesa superior dela. Esta armadura deve estender-se por no mínimo duas nervuras da fôrma colaborante, além da largura da abertura (figura 10).

**Figura 10 – Disposição das armaduras.**



**Fonte: Metform (2007)**

A armadura transversal pode ser considerada como no mínimo 20% da armadura longitudinal, distribuída em no mínimo três barras, cujo espaçamento seja inferior a 300 milímetros.

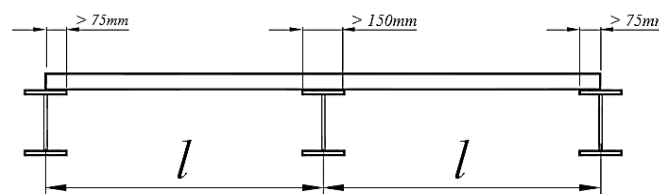
Opcionalmente a armadura de distribuição poderá ser substituída por perfis U, laminados ou formados a frio, em chapas de pequena espessura, embutidos no concreto. Dessa forma, os perfis U trabalharão a à flexão e deverão absorver as cargas atuantes na região da abertura, transmitindo-as para as regiões adjacentes.

Deverão ser previstas vigas no contorno de aberturas, cuja dimensão perpendicular as nervuras da fôrma colaborante seja maior que 600 milímetros.

## 2.6 Largura mínima de apoios da fôrma colaborante

Os valores dos “vãos máximos sem escoramento” para o modelo MF-75, fornecidos pelos seus fabricantes, foram obtidos adotando-se 75 milímetros para largura de apoio externo e 150 milímetros para largura de apoio interno da fôrma. Estas larguras mínimas de apoio determinam o valor da resistência ao esmagamento da alma da fôrma colaborante durante a fase de construção (figura 11).

**Figura 11 – Comprimento de apoios mínimos MF-75.**



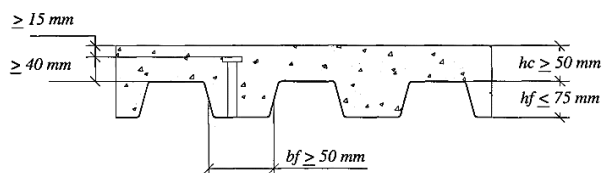
**Fonte: Metform (2007)**

Já para o modelo MF-50, os valores de “vãos máximos sem escoramento” foram obtidos adotando-se 50 milímetros para largura de apoios externos e 100 milímetros para largura de apoios internos. Ao se executar uma laje com fôrma colaborante, não deverão ser usadas larguras de apoio inferiores aos valores adotados. Entretanto, caso a mesa superior da viga de aço não permita a utilização das larguras mínimas consideradas para apoio, o Departamento Técnico dos respectivos fabricantes deverá ser consultado, para uma análise da situação.

## 2.7 Limitações construtivas

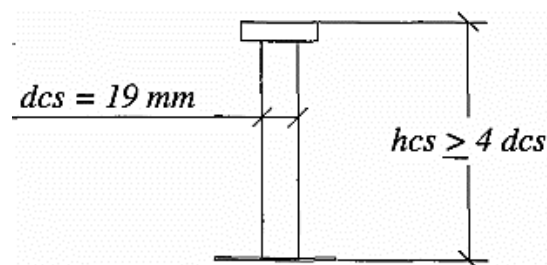
O sistema de laje mista com fôrma colaborante deve seguir algumas limitações e recomendações prescritas na ABNT NBR 8800:2008, listadas a seguir (figuras 12 e 13).

**Figura 12 – Limitações construtivas na seção transversal.**



Fonte: Metform (2007)

**Figura 13 – Altura mínima dos conectores Stud Bolt.**



Fonte: Metform (2007)

1. Para que as vigas de aço sejam consideradas no sistema misto, a altura máxima das nervuras da forma colaborante ( $h_f$ ) deverá ser 75 milímetros e a largura média das nervuras ( $b_f$ ) não deve ser inferior a 50 milímetros;
2. A ligação do concreto da laje com a viga de aço deve ser executada mediante conectores tipo Stud Bolt com diâmetro igual a 19 milímetros (3/4"). O comprimento dos conectores deve ser maior ou igual a 4 vezes o diâmetro deles;
3. Caso a ligação do concreto da laje com a viga de aço seja feita através da fôrma colaborante, a espessura mínima da fôrma deve ser menor que 1,5 milímetros.
4. Para trespassar de duas chapas, a espessura máxima de cada deve ser 1,2 milímetros.
5. A soma das camadas de galvanização da fôrma colaborante deve ser menor que 385g/m<sup>2</sup>.
6. Após a instalação dos conectores, a altura da mesa superior da fôrma colaborante até a cabeça do Stud Bolt não pode ser menor que 40 milímetros.

7. Deverá ter no mínimo 50 milímetros de espessura a camada de cobrimento de concreto acima da mesa superior da fôrma colaborante.
8. O cobrimento de concreto acima dos conectores Stud Bolt deverá ser no mínimo 10 milímetros e lateralmente (exceto quando no interior das nervuras) o cobrimento deve ser no mínimo 25 milímetros.

## 2.8 Cuidados para situações de incêndio

De acordo com a ABNT NBR 14323:2003, em situação de incêndio, a laje de concreto com fôrma colaborante deverá preservar suas características resistentes por um tempo mínimo que depende da altura da edificação, estando também relacionado a esse tempo, a espessura efetiva mínima da fôrma colaborante, desde que seja verificado o critério de isolamento térmico de acordo com a norma. É imprescindível que a laje seja verificada para situação de incêndio em projeto e especificado o tipo de proteção a ser utilizada, sendo a proteção ativa ou passiva.

Para TRRF (Tempo Mínimo de Resistência ao Fogo) superiores a 30 minutos (60, 90 ou 120 minutos) deverão ser realizadas verificações adicionais, nas quais, todo o carregamento aplicado durante o incêndio deverá ser suportado pelas armaduras adicionais com os elementos (concreto e aço de armaduras) com resistência minorada devido ao efeito de temperatura (consultar Anexo C ABNT NBR 14323:2003).

No entanto, quando é feita a consideração da resistência da laje em situação de incêndio garantida exclusivamente pelo concreto e armaduras utilizadas, torna-se uma solução mais econômica, dispensando o gasto com material para proteção e isolamento térmico da fôrma colaborante.

## 2.9 Principais etapas executivas

De acordo com DA SILVA (2010), as principais etapas executivas de forma sucinta, são:

1. Transporte: os fardos de material podem ser levados para o local de montagem através de guinchos;
2. Içamento: o içamento pode ser manual ou com auxílio de guias, dependendo das condições do canteiro de obra.
3. Distribuição das fôrmas: são posicionadas e distribuídas manualmente;
4. Montagem da estrutura: a montagem ocorre após o adequado posicionamento das peças de acordo com o processo executivo, tendo seus vãos e condições mínimas de montagem definidas por cada fabricante;



5. Escoramento nas áreas necessárias: para os vãos previstos com escoramento, é necessário executar rigorosamente este serviço de acordo com o projeto de escoramento, verificando o travamento e a solidez do apoio da escora;

6. Fixação da estrutura através dos conectores de cisalhamento: as junções principais das fôrmas com a estrutura são feitas através de Stud Bolt, em que os respectivos locais de instalação não devem ser pintados, zincados ou cadmiados, além de estarem isentos de ferrugem, óleos, graxas, umidade ou qualquer outra substância que possa interferir no processo de soldagem.

7. Fixação dos arremates: após o travamento final das fôrmas e a verificação do posicionamento e acomodação entre as peças e estruturas, é montada uma cantoneira ou perfil metálico em U nas extremidades da laje, para garantir a qualidade do acabamento e promover a estanqueidade durante o lançamento do concreto, sendo necessário o nivelamento e conferência de folgas para a execução da soldagem;

8. Aplicação da fita adesiva nas juntas: o uso de fitas adesivas nas juntas permite a unificação das fôrmas na direção transversal aos conectores;

9. Colocação da tela antifissuração: deve ser feito o posicionamento das armaduras negativas e positivas de reforço, caso necessário, e conferência antes da concretagem;

10. Inserção dos espaçadores: a malha de forma deve estar posicionada 2 centímetros abaixo da face superior do concreto, garantindo o cobrimento mínimo e a resistência aos esforços de tração.

11. Proteção das áreas de recorte: as instalações hidro sanitárias devem ser posicionados e fixadas após a certificação de que as fôrmas e suas junções estejam prontas para a concretagem;

12. Colocação das mestras: no posicionamento das mestras deve-se verificar o nível e o esquadro entre elas para que o concreto atinja a espessura desejada de modo uniforme;

13. Concretagem: após a checagem de todos os serviços anteriores, dá se início à fase de concretagem. Deve-se manter o traço especificado em projeto e garantir a vibração adequada caso o concreto não seja autoadensável e ter os devidos cuidados especiais;

14. Nivelamento: em caso de concreto autoadensável, dispensa-se o nivelamento. Caso contrário, deve se conferir o posicionamento das mestras, pois este cuidado assegurará a planicidade da superfície;

15. Acabamento superficial: a realização do acabamento superficial é feita através de sarrafeamento, de maneira a obter uma superfície plana.

### 3 METODOLOGIA.

Ao longo da pesquisa, foram realizadas consultas com engenheiros civis e empresas da área de estruturas metálicas, buscando quantificar e identificar respectivamente seu conhecimento e dificuldades técnicas para execução da laje com fôrma incorporada, levantar dúvidas da equipe de montagem, com propósito de pontuar as principais falhas que geram colapsos para o sistema de laje mista em questão.

Portanto, após pesquisas e consultas, foram levantados os principais problemas e em seguida a elaboração de um questionário direcionado, de forma a identificar o grau de influência desses problemas correlacionados diretamente com o colapso desse sistema estrutural em obras já executadas pelos seus respectivos participantes.

Diante disso, o presente estudo consiste em uma fundamentação e recomendação técnica, para a execução de lajes com fôrmas colaborantes, numa revisão bibliográfica, alicerçado em publicações periódicas, artigos científicos, teses de mestrado e doutorado, normas técnicas, revistas eletrônicas e manuais técnicos de empresas especializadas na área e em consultas com engenheiros experientes na execução do tipo de laje abordada.

De forma geral, a seleção das fontes de pesquisa atendeu a dois critérios:

1. Possuir relevância no âmbito profissional da Engenharia Civil;
2. Serem fontes de informações confiáveis e atualizadas, provenientes de instituições renomadas.

Informações em meio digital foram retiradas de sites especializados, tais como:

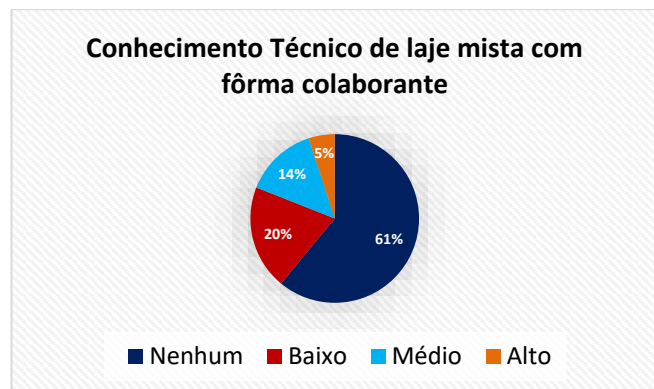
- Centro Brasileiro da Construção em Aço – (CBCA)
- Arquitetura, Construção e Engenharia – (AECWEB)

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Perante a verificação do conhecimento técnico da laje mista em questão, foi realizada uma pesquisa, cujo cunho principal era quantificar o nível (nenhum, baixo, médio ou alto) de compreensão desse sistema. Sendo arbitrada uma amostra de profissionais recentes no

mercado profissional, com até 5 anos de atuação, tendo os resultados exemplificados pelo gráfico 1.

**Gráfico 1 – Nível de conhecimento técnico de recentes engenheiros civis.**



**Fonte: Autoral**

Portanto, conforme apresentado no gráfico 1, constata-se apenas 5% dos profissionais consultados possuem alto conhecimento técnico do tipo de sistema estrutural, indo contra 61%, que não há conhecimento nenhum a respeito.

De modo a correlacionar os problemas causadores das falhas executivas da laje com fôrma colaborante, com o seu grau de influência nos colapsos estruturais, foi elaborado um questionário e enviado as empresas de estruturas metálicas e engenheiros civis da área, com critério de no mínimo 10 anos de atuação no mercado, na qual já haviam executado esse tipo de laje e obtiveram problemas em sua execução, onde deveria ser preenchido com uma nota de 0 a 10, pontuando o nível em que esses problemas pré-estabelecidos estavam relacionados com os colapsos ocorridos em suas respectivas obras (tabela 1).

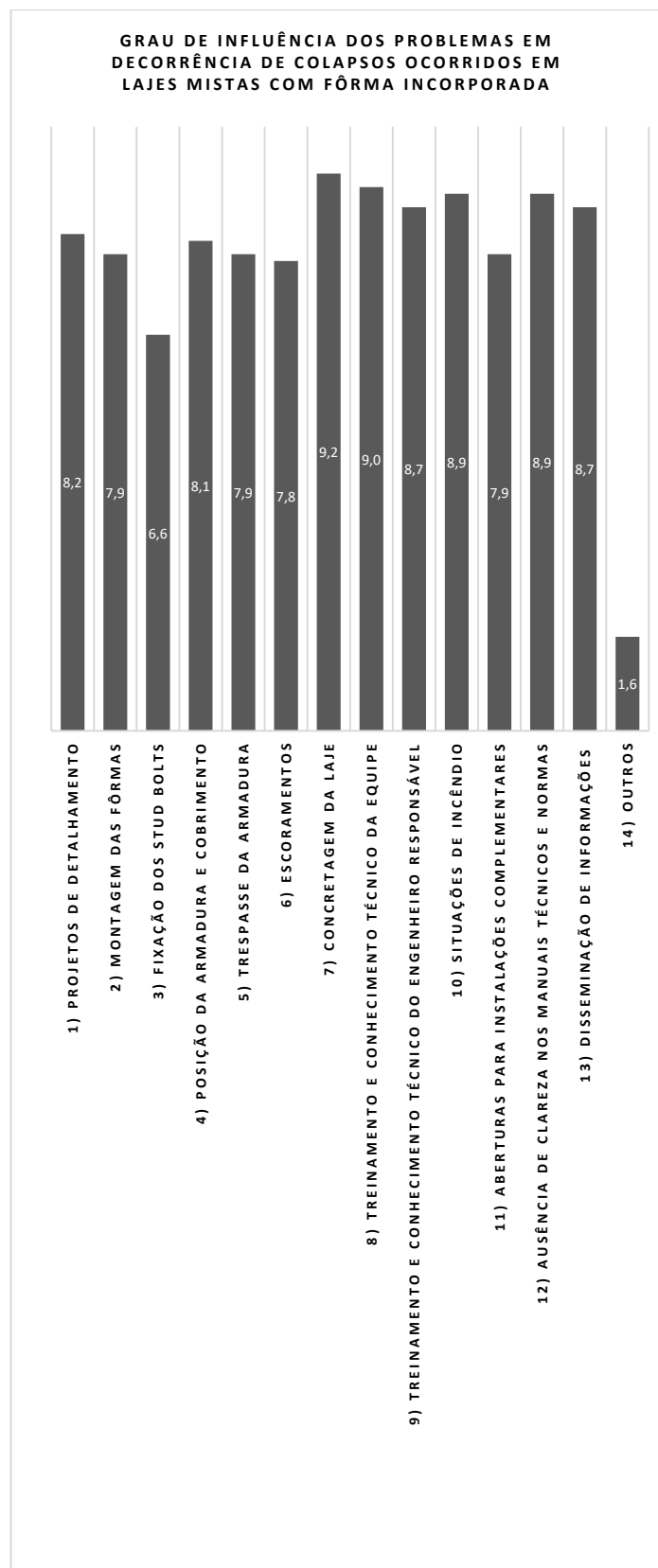
**Tabela 1 – Grau de influência dos problemas em decorrências de colapsos ocorridos em lajes mistas com fôrma incorporada.**

PROBLEMAS	Em pre sa 01	Em pre sa 02	Em pre sa 03	Em pre sa 04	Em pre sa 05	Eng . Civi l 01	Eng . Civi l 02	Eng . Civi l 03	Eng . Civi l 04
1) Projetos de detalhamento	8	8	8	9	9	8	9	8	7
2) Montagem das fôrmas	7	8	7	9	8	7	9	7	9
3) Fixação dos Stud Bolts	6	7	7	7	5	6	7	7	7
4) Posição da armadura e cobrimento	8	8	8	8	8	9	9	7	8
5) Trespasse da armadura	8	7	8	8	8	8	8	8	8
6) Escoramentos	7	6	8	8	8	8	7	9	9
7) Concretagem da laje	9	9	9	10	9	8	10	10	9
8) Treinamento e conhecimento técnico da Equipe	9	9	10	9	9	10	8	9	8
9) Treinamento e conhecimento técnico do Engenheiro Responsável	10	9	8	9	9	8	9	8	8
10) Situações de Incêndio	9	9	8	8	10	9	9	8	10
11) Aberturas para instalações complementares	8	7	8	8	7	8	8	8	9
12) Ausência de clareza nos manuais técnicos e normas	10	9	9	8	9	9	8	9	9
13) Disseminação de informações	8	8	9	10	9	8	8	8	10
14) Outros	1	2	2	1	1	2	2	1	2
15) Tendo em vista a carência em material técnico para execução adequada das lajes mistas com fôrma colaborante, após a aprovação e publicação do referido Trabalho de Concluso de Curso 02, utilizariam o material para auxílio em suas obras?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

**Fonte: Autoral**

Com base na tabela 2, o gráfico 2 apresenta de forma mais clara os resultados obtidos das empresas e engenheiros civis que participaram do questionário.

**Gráfico 2 – Média do grau de influência dos problemas**



Fonte: Autoral

Portanto, de forma geral, todos os problemas obtiveram uma média alta, sendo considerado a concretagem da laje e a falta de treinamento e conhecimento técnico da equipe como as principais complicações que levaram ao colapso o sistema estrutural de laje mista com fôrma incorporada.

Dentre os problemas descritos como “outros”, apontaram o transporte do material, que se realizado de forma inadequada, pode danificar as fôrmas. Além disso, indicações sobre o içamento do material e armazenagem.

## 5 CONCLUSÕES

O uso de estruturas mistas na construção civil, tem se intensificado cada vez mais, com objetivo de acelerar as etapas construtivas. No entanto, o sistema de laje com fôrma colaborante tem sido utilizado em diversas obras, mas com práticas de execução equivocadas.

Dessa forma, a pesquisa teve como objetivo identificar as falhas de execução e recomendar os cuidados para armazenamento do material, critérios pré-estabelecidos de verificações do dimensionamento, os procedimentos adequados para a concretagem da laje com fôrma colaborante, estabelecer parâmetros de reforços embasados na norma regente e evidenciar suas limitações construtivas em situações de incêndio, de maneira que não traga problemas para o sistema estrutural.

Portanto, à frente das respostas obtidas sobre o nível de conhecimento técnico da laje mista, observa-se o breve entendimento por parte dos profissionais, sendo justificado pela baixa disseminação de informações desse tipo de laje, no entanto, aqueles que já tiveram contato com esse sistema, mesmo com uma margem de atuação no mercado considerável, ainda apresentam nível reduzido de instrução a respeito de processos e etapas executivas, alegado pela ausência de material técnico e carência de clareza das informações que já estão difundidas em catálogos, normas, manuais e entre outros meios.

Logo, a vista dos resultados obtidos no questionário, depreende-se que todas as práticas listadas estão totalmente relacionadas com as causas que geram colapso do sistema estrutural de laje mista com fôrma colaborante, visto que, somente as atividades como transporte, içamento e armazenagem obtiveram uma média menor que 6,6, ou seja, não possuem grande grau de relevância para o desmoronamento da laje.

Por consequência, essas atividades que apresentaram grandes índices, inferem que ainda há muitas dúvidas a respeito da execução, por parte dos engenheiros civis,

empresas e respectivas equipes de montagem. Por ser um sistema estrutural de laje simples, quando em comparação de sistemas convencionais, não deveria apresentar tantos problemas.

Sendo assim, ao longo do desenvolvimento do trabalho, foram retratadas as principais recomendações para o uso de cada elemento que compõe o sistema, buscando fundamentar um manual orientativo de execução que sirva de apoio para os profissionais da área de engenharia civil que posteriormente poderão desempenhar a atividade com aptidão, tendo em vista que todas as empresas e engenheiros que participaram do questionário, votaram “sim” para a utilização posterior deste trabalho para auxílio em suas obras.

## 6 AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que permitiu que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante todos os meus anos de estudos e agora estar realizando o meu sonho.

Agradeço às pessoas com quem convivi e se tornaram meus amigos ao longo desses anos de curso, que me incentivaram, apoiaram e que certamente tiveram impactos positivos na minha formação acadêmica.

Ao meu orientador Marco Antônio por aceitar e conduzir o meu trabalho de conclusão de curso e em especial ao Cezar Mortari que também acompanhou a elaboração e pôde me auxiliar da melhor forma possível.

Gratidão pelos meus pais, Jovan e Rani, por todo apoio e amor incondicional apesar da distância. Este trabalho é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena.

Por último, mas não menos importante, à Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC GO) por proporcionar ensino de qualidade com todos os professores qualificados, que mesmo de longe, confiaram e depositaram confiança em mim para que fizesse a diferença no resultado deste trabalho.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCEM: Associação Brasileira da Construção Metálica. SAÚDE, Jorge; RAIMUNDO, Duarte. **Lajes mistas: aspectos construtivos e respectivas recomendações do eurocódigo 4**. 2006. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Lajes%20Mistas.pdf> . Acesso em: 23 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16421: **Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto - Requisitos e ensaios**. Rio de Janeiro, p. 10. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323 – **Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800 – **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ARAÚJO, João Paulo Alves. **Propriedades do concreto na influência da durabilidade e estimativa da vida útil em estruturas de concreto armado**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 77p. 2017.

CBCA: Centro Brasileiro da Construção em Aço. NAKAMURA, Juliana (ed.). **Dimensionamento de vãos é ponto crítico em projeto de lajes steel deck**. AECWeb, 19 jun. 2019. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias/dimensionamento-de-vaos-e-ponto-critico-em-projeto-de-lajes-steel-deck> . Acesso em: 26 out. 2020.

CICHINELLI, Gisele. **Lajes em steel deck**. 2014. Disponível em: <http://www.cbcaacobrasil.org.br/noticias-detelhes.php?cod=6415> . Acesso em: 23 nov. 2020

DA SILVA, Tecn Raphael. **Projeto de produção para construção metálica aplicado em lajes mistas steel deck**. 2010.

MALITE, M. **Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: ênfase em edifícios**. 1990. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

---

METFORM. **Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem.** Betim: Metform, 2017.

METFORM. **Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem.** Betim: Metform, 2007.

METFORM. **Têlha-forma.** 2015. Disponível em:<http://www.metform.com.br/wordpress/?project=telha-forma> . Acesso em: 26 maio 2020.

METFORM. **Têlha-forma.** 2019. Disponível em: <http://www.metform.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2019/11/Cat%C3%A1logo-Steel-Deck-2019.pdf>. Acesso em: 21 junho 2021.

NAKAMURA, Juliana. **Montagem e concretagem de steel deck exigem cuidados especiais.** 2018. Disponível em:[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/montagem-econcretagem-de-steel-deck-exigem-cuidados-especiais\\_17427\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/montagem-econcretagem-de-steel-deck-exigem-cuidados-especiais_17427_10_0) . Acesso em: 23 nov 2020.

SAÚDE, Jorge; RAIMUNDO, Duarte; PROLA , Luís Carlos; PIERIN, Igor. **Lajes Mistas: Aspectos Construtivos e Respectivas Recomendações Do Eurocódigo 4.** In: Construmetal 2006. 2006. São Paulo.