

AVALIAÇÃO DO MÉTODO CONSTRUTIVO DAS VIGOTAS PARA LAJES PRE MOLDADAS NA CIDADE DE IPANEMA-MG

WHUEDER SANTOS DO NASCIMENTO

MANHUAÇU

2021

WHUEDER SANTOS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DO MÉTODO CONSTRUTIVO DAS VIGOTAS
PARA LAJES PRE MOLDADAS NA CIDADE DE IPANEMA-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACIG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia de Construção Civil

Orientador: Prof. José Francisco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. DESENVOLVIMENTO	2
2.1. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.2. METODOLOGIA DE PESQUISA	8
2.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	9
3. CONCLUSÃO	17
4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	19

1. INTRODUÇÃO

Segundo Tarcísio Nascimento e Gustavo Gidrao (2019) Desde a revolução industrial, o setor da construção civil passa por uma fase de grande evolução em busca de otimização, que pode ser evidenciada com o desenvolvimento de novas tecnologias, materiais e técnicas construtivas, visando maior qualidade, segurança e menor custo de suas edificações. Dentre os elementos pré-moldados, as lajes pré-fabricadas se destacam. Flório (2004) afirma que a utilização de tais elementos tem se intensificado nos últimos anos, devido ao objetivo de padronizar e aperfeiçoar as edificações, evitando problemas comuns que podem acontecer no canteiro de obra, como erros de execução.

No Brasil, as lajes treliçadas já são utilizadas há décadas, mas sua difusão e seu crescimento se deram no início da década de 90. Muitas fábricas de lajes oferecem as mais variadas opções de executar a laje treliçada, podendo ser lajes nervuradas unidirecionais ou bidirecionais. As lajes são descritas por Figueiredo Filho (1979) como uma placa, folhas planas submetidas principalmente a ações normais ao seu plano, constituídas de concreto, concreto armado ou protendido.

Há cerca de quinze anos atrás o engenheiro que quisesse desenvolver um projeto com lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto não contaria com literatura para se orientar. O que existia em língua portuguesa eram catálogos de fabricantes, muitos dos quais com pouco conteúdo técnico. Embora os catálogos da época tentassem informar os procedimentos que deveriam ser usados durante a execução havia, em geral, muito empirismo. A execução das lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas, ainda que simples, necessita de atenção em todos os detalhes para que se tenha um desempenho satisfatório durante sua vida útil, sem a manifestação de patologias que se dão por meio do processo construtivo (CARVALHO, et al. 2005)

O elemento pré-moldado é definido pela norma NBR 9062 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (ABNT, 1985) como o elemento que é executado fora do local de utilização definitiva da estrutura, com controle de qualidade menos rigoroso, dispensando a existência de laboratório ou instalações similares próprias. O elemento pré-fabricado, apesar de ter o termo e o método de execução parecido com o elemento pré-moldado, é precisado de forma diferente também pela norma NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto PréMoldado (ABNT, 1985), que o define como elemento executado industrialmente em instalações provisórias ou não, com rigoroso controle de qualidade, sendo indispensável à existência de laboratório e demais instalações permanentes.

A grande vantagem da utilização das lajes pré-moldadas é a redução da quantidade de fôrmas, em relação à laje maciça ou à laje nervurada moldada no local. E aliada a suas características geométricas, há redução do volume de concreto e armadura, se comparado às lajes maciças. Estes fatores propiciam maior economia de materiais e tempo de execução, sendo, por isso, um sistema que está sendo cada vez mais empregado, dito isto, este trabalho tem o objetivo de avaliar como são fabricadas as vigotas pré-moldadas para laje treliçada em Ipanema-MG e comparar com os resultados obtidos pelo software de computador. Sendo assim este trabalho

tem alta relevância, tendo em vista que as conclusões deste, serão apresentadas às fabricas onde foram colhidos os dados de fabricação de lajes pré-fabricadas na cidade de Ipanema-MG.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial Teórico

De acordo com BORGES (1997), é provável que os precursores da aplicação das lajes pré-moldadas no Brasil, tenham sido as indústrias de pré-moldados do Rio de Janeiro na década de 40. Segundo MUNIZ (1991), o sistema de lajes treliçadas surgiu e teve larga utilização a partir da Segunda Guerra Mundial. Foi criado para superar algumas deficiências que as lajes pré-moldadas convencionais apresentavam, e em muito contribuiu para solucionar o problema da reconstrução dos países destruídos pela guerra, e a grave crise habitacional consequente. Hoje estas lajes respondem pela maior fatia entre as opções de pavimentos, sobretudo em obras na Itália e na Espanha.

Flório (2004) afirma que uso de lajes pré-fabricadas tem se intensificado nos últimos anos. O que era, em princípio, uma solução adotada para edificações de pequeno e médio porte, se tornou viável em grandes obras como prédios de diversos andares e edificações de grandes vãos. O aumento na utilização ocorreu principalmente devido as grandes siderúrgicas que começaram a fabricar treliças metálicas para laje com vigota treliçadas.

Segundo Vasconcellos (2002), não se pode ter uma data precisa em que começou a pré-moldagem. O início do uso do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso. Sendo assim, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou após a invenção do concreto armado. De acordo com Rivera, et al (2005), no Brasil, a primeira obra executada com elementos pré-moldados foi em 1926. A obra é o Hipódromo da Gávea na cidade do Rio de Janeiro: foram usadas estacas pré-moldadas nas fundações e cercas no perímetro do hipódromo. Entretanto foi uma solução cara e trabalhosa em que as vantagens da pré-moldagem não foram eficazes.

Quanto à construção de edifícios de vários pavimentos com elementos préfabricados, Vasconcellos (2002) afirma que a primeira obra realizada foi o Conjunto 23 Residencial da Universidade de São Paulo – CRUSP, da cidade universitária Armando Salles de Oliveira, em São Paulo. Trata-se do conjunto residencial da USP de 1964, constituído de prédios com seis pavimentos, projetados pela Fundo de Construção da Universidade de São Paulo – FUNDUSP, para abrigar estudantes de outras cidades que ingressara.

De acordo com Santos (2006) o concreto é um material plástico, moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos. É composto por agregado miúdo, agregado graúdo e uma pasta de areia, água e cimento que é o aglomerante. No momento de sua criação empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir de fins do século XIX o concreto armado passa a ser utilizado também nas edificações. Em sua história, segundo Kaefer (1998), o concreto é

utilizado desde os primórdios da humanidade, com maior destaque no Império Romano a partir do século II a.C., porém, o concreto utilizado na atualidade, feito com cimento portland, proveniente da queima de calcário e argila, finamente moídos e misturados sob altas temperaturas, surge em 1824, desenvolvido pelo inglês Joseph Aspdin.

Botelho (1976) afirma que junto com o aço e o vidro, o concreto armado constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna, que são produzidos em escala industrial e viabilizam arranha-céus, pontes, silos, estações ferroviárias ou, em suma, aqueles novos objetos arquitetônicos característicos do cenário do mundo modernizado do século XX. De acordo com Santos (2006), em nenhum país no mundo modernizado a tecnologia do concreto armado foi tão predominante quanto no Brasil e ainda é o material estrutural mais utilizado nas construções das cidades brasileiras, sejam elas residências ou prediais.

Segundo a NBR 14931/04, especificamente no item 9.1, há duas modalidades de preparo do concreto: preparado pelo executante da obra ou o concreto preparado por empresa de serviços de concretagem. Como o volume de concreto em lajes normalmente é elevado, o adequado é que esse concreto seja preparado por empresa de serviços de concretagem. Em conformidade com o item 9.2 da NBR 14931/04, alguns cuidados preliminares devem ser tomados antes do lançamento do concreto, como a conferência das dimensões e posição das fôrmas, para que seja assegurada a geometria dos elementos estruturais conforme o estabelecido no projeto, a limpeza da superfície interna das fôrmas, verificação da estanqueidade das juntas de maneira a evitar a perda de pasta ou argamassa, entre outras.

Medrano, Figueiredo e Carvalho, (2005) afirmam que as lajes pré-moldadas treliçadas podem ser aplicadas em edifícios residenciais, pequenas habitações, edifícios comerciais, pontes, viadutos, fábricas, galpões, etc. Devido principalmente à facilidade de execução, têm se tornado uma opção bastante viável perante outros tipos de lajes.

Segundo a NBR 9062 (2001), as lajes pré-moldadas podem ser definidas como elemento pré-fabricado, ou seja, elemento este que é executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade, onde os elementos são produzidos em usina ou instalações analogamente adequadas aos recursos para produção e que disponham de pessoal, organização de laboratório e demais instalações permanentes para o controle de qualidade, devidamente inspecionada pela fiscalização do proprietário.

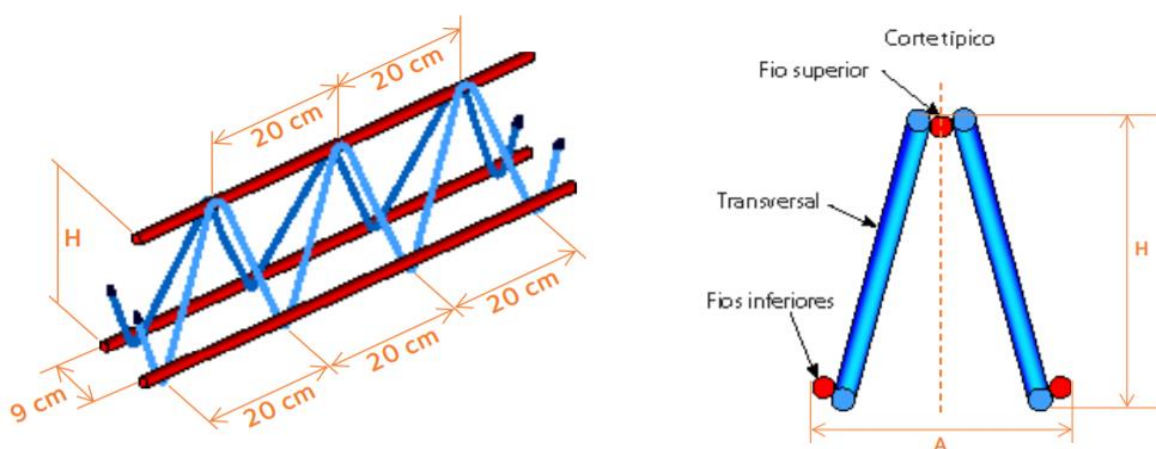
Lajes pré-moldadas são constituídas por vigas pré fabricadas de concreto armado, nas quais se apoiam elementos de material leve. Esses elementos podem ser lajetas de concreto, de cerâmica ou a mais utilizada de EPS. Sobre as vigas pré-fabricadas e os elementos de material leve, aplica-se uma camada de concreto, de modo a cobri-los completamente. Geralmente, são usadas para reduzir tempo e mão de obra na edificação, pois esse modo de construção é um processo construtivo rápido e econômico (CHAVES, 2012).

Conforme a NBR 14859-1, item 3.1.1, diz que as vigotas “são constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da

estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal. Segundo o Manual Técnicos de Lajes Treliçadas, “a armação treliçada é uma estrutura metálica espacial prismática em que se utilizam fios de aço (CA60), soldados por eletro fusão ou caldeamento, de modo a formar um elemento rígido composto de duas treliças planas, inclinadas e unidas pelo vértice superior”. Esse sistema tem por finalidade, segundo Melo (2004), minimizar o uso de fôrmas de madeira, que, conseqüentemente, diminui a mão de obra envolvida, propicia maior agilidade na montagem, racionalização do uso de armaduras, maior segurança no canteiro de obras, entre outras.

Quanto as treliças, segundo o grupo Arcelor Mittal (2010) são constituídas por um fio superior (banzo superior), que colabora como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da laje treliçada, e pode colaborar na resistência ao momento fletor negativo (em regiões de apoio central); dois fios inferiores (banzo inferior), os quais resistem às forças de tração oriundas do momento fletor positivo; as diagonais ou sinusóides, que, além de colaborarem como armadura resistente às forças cortantes (quando forem altas), servem para promover uma perfeita coesão ou aderência entre o concreto pré-moldado da vigota e o concreto do capeamento (moldado “in loco”). Das dimensões, ela possui altura, base, passo, saliência inferior, comprimento e diâmetro dos fios. A altura (h) é a distância entre a superfície limite inferior (face inferior da saliência inferior) e a superfície limite superior (banzo superior), perpendicular à base e no eixo da seção treliçada, dada em mm. A base (b) é a distância entre as faces externas entre os fios que compõem o banzo inferior, dada em mm, e mede entre 80 e 120 mm. Passo (p) é a distância entre eixos dos nós entre os aços que compõem a armação treliçada, dada em mm, e tem sempre 20 cm. A saliência inferior é a distância entre a face inferior do banzo inferior e a superfície limite inferior da armação treliçada. segundo a NBR 14862, especifica a treliça (TR) discriminando sua altura e, na sequência, o diâmetro dos seus fios. Exemplo: TR 8645 – treliça com 8,0 cm de altura, fio superior $\varnothing = 6,0$ mm, diagonais $\varnothing = 4,2$ mm e fios inferiores $\varnothing = 5,0$ mm.

Figura 1: modelo de treliça.



Fonte: Acelor Mittal (2010, p. 4).

As lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas podem ser executadas de duas maneiras: unidirecional ou nervurada. No sistema de laje unidirecional, as vigotas são arranjadas na direção do menor vão da laje e em uma única direção, como o próprio nome já diz. Já na laje nervurada, segundo Franca e Fusco (1997), as vigotas são colocadas também na direção do menor vão, mas com nervuras transversais moldadas no local de execução, armadas com barras de aço isoladas.

Gaspar (1997), afirma que de modo geral, as lajes pré-fabricada cumprem muito bem seu papel com vãos de até 6 metros, que são geralmente empregadas em obras residenciais ou com ocupação e utilização semelhantes, sem que haja cargas dinâmicas ou concentradas. A execução segue as normas da NBR 14931 de execução do concreto igualmente as de laje maciça simples e além disso também as normas da NBR 9062 de execução de pré-moldados. Mesmo possuindo mais etapas, é concluída em tempo menor do que a laje maciça simples, por praticamente excluir o uso de fôrmas nas execuções o que é um ganho imenso de tempo. As etapas são: Fabricação das vigotas; Armazenamento e transporte; Instalação e escoramento das vigotas; Preenchimento; Instalação das guias de acabamento; Instalação das esperas; Lançamento do concreto; e Cura do concreto.

Em relação ao adensamento da capa PEIXOTO (2002) o uso de vibração superficial, que poderia ser empregado em fábricas se mostrou menos eficiente. Esse trabalho mostra ainda que a cura controlada garante melhor uniformidade na resistência do concreto e também maior rigidez das nervuras. Em relação ao dimensionamento do escoramento para que suporte as ações durante a concretagem e cura do concreto, GASPAR (1997), em trabalho pioneiro nesse tema, realiza estudo teórico-experimental que resulta na indicação de um procedimento de verificação de escoramento de lajes com vigotas treliçadas. Posteriormente e quase que simultaneamente, SILVA (2000), DROPPA (2000) e FORTE (2000) desenvolvem experimentos para análise de espaçamento de escoras enquanto. DROPPA (2003) relata programa computacional para cálculo de espaçamento de escoras.

De acordo com o item 7.2.2.2 da NBR 14931/04, o escoramento deve ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos no concreto. Os escoramentos ou apoios verticais da laje podem ser feitos em pontaletes, escoras de eucalipto ou até mesmo em escoras metálicas, que possuem maior facilidade para o ajuste e nivelamento da laje. Para o escoramento horizontal ou cimbramento da laje, os barrotes de madeira são os mais utilizados. Semelhantemente ao processo de remoção de escoramento das lajes maciças, nas lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas deve-se seguir as mesmas normas e cuidados aplicados, ou seja, as escoras podem ser retiradas somente após o concreto ter adquirido a resistência desejada para que não ocorram deformações excessivas, e outros pontos abordados pela NBR 14931/04.

Um ponto muito importante durante a execução dos escoramentos é a previsão das contra flechas. Segundo a NBR 14859-1 (2002), diz que a contra flecha é o deslocamento vertical intencional aplicado nas vigotas durante a montagem, por meio do escoramento. Ela é utilizada como recurso para compensar as consequências

indesejáveis das deformações devidas à ação das cargas nas lajes.

Embora o dimensionamento à flexão de lajes pré-fabricadas em princípio não apresente grandes dificuldades, a sistemática, como é conhecida hoje, só aparece em publicações com CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (1998) e posteriormente no livro didático de ambos CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2001), além de em EL DEBS (2000). A NBR 6118:2003 é bem clara especificando que as lajes unidirecionais devem ser consideradas como vigas isoladas e as bidirecionais, guardadas algumas dimensões máximas, como maciça. Segundo DROPPA (1999) e FLÓRIO (2003) o ideal para o cálculo de momento fletor é usar o modelo de grelha equivalente. Em relação às lajes unidirecionais, CARVALHO et alli (1999) indica que é possível, pelo menos de forma teórica, calcular reações de ações de lajes unidirecionais na direção perpendicular às nervuras através da modelagem simplificada da capa. Esse processo de cálculo é apresentado em detalhes em CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2004). Em relação à continuidade, a seção em forma de tê da laje pré-fabricada é mais adequada para resistir a momentos positivos e menos adequada a momentos negativos. A nova versão da norma NBR 6118:2003 prevê o cálculo com redistribuição de momentos, porém com considerações de posição de linha neutra que ainda não foram confirmadas por experimentos nacionais.

Figura 2: Laje com vigotas treliçadas

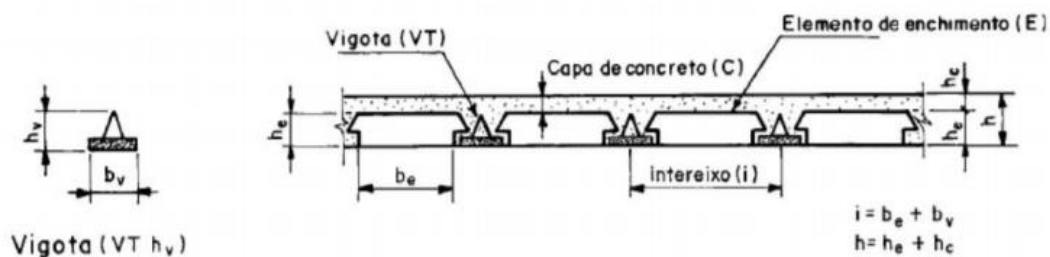


Figura 1 Fonte: NBR 14859-1, p. 3 (ABNT, 2016)

Cunha (2012) diz que os elementos de enchimento podem ser de blocos de concreto, blocos cerâmicos ou blocos de poliestireno expandido. Segundo a NBR 14860-1 (2002), item 3.1.3, diz que as armaduras complementares são armaduras adicionadas na obra, quando dimensionadas e disposta de acordo com o projeto da laje. Podem ser: Longitudinais: utilizada quando da impossibilidade de fazer a integração de toda a armadura passiva na pré-laje; Transversais: são armaduras que irão compor as armaduras inferiores das nervuras transversais de travamento (caso haja necessidade).

Posteriormente à execução das etapas anteriores e a conferência do nivelamento, escoramento e demais detalhes da laje, é feito o lançamento e adensamento do concreto, que, usualmente, pelo elevado volume de concreto, é feito por empresas de fornecimento de concreto. Os cuidados a serem tomados são os

mesmos fixados pelo item 9.5.1 da NBR 14931/04, estabelecendo que o concreto deva ser lançado e adensado de maneira que a armadura seja completamente envolvida, respeitando os cobrimentos mínimos previstos em projeto e mantendo a homogeneidade do concreto. Por razões de economia, apoia-se a primeira fileira de blocos de elementos leves de um lado sobre parede ou viga e de outro lado a primeira vigota. Com isso consegue-se economizar uma vigota em cada painel de laje. Esse procedimento facilita também a passagem de tubulações hidráulicas e elétricas embutidas, pois é sempre mais fácil quebrar um bloco de elemento leve do que quebrar uma vigota (BOTELHO, 1991).

Dentre as vantagens que as lajes treliçadas apresentam, segundo Marçal (2014), podemos apontar: – Baixo peso próprio; – Eliminação de fôrmas e redução do escoramento, minimizando o custo e mão de obra; – Fácil armazenagem, transporte, trabalhabilidade e montagem; – Baixo custo com materiais. Segundo a Brumatti (2008) a execução das lajes pré-fabricadas treliçadas resulta nas seguintes vantagens: O mercado oferece uma série de alternativas para execução de lajes pré-fabricadas. Os elementos pré-moldados empregados na laje apresentam boa capacidade portante no momento da moldagem do restante da laje, reduzindo assim a quantidade de fôrmas e escoramentos em relação ao sistema convencional. Quando as lajes treliçadas são executadas de forma nervurada, apresentam redução do volume de concreto e armaduras.

Como desvantagens, apresentam, segundo NAPPI (1993): – Menor rigidez na estrutura como um todo, dada devido à pequena espessura da capa; – Grande possibilidade de fissuras devido aos movimentos de retração e dilatação; Impossibilidade de aberturas em sua superfície, sem que hajam vigas periféricas de sustentação; – Limitação da carga de acordo com as especificações do fabricante. Segundo Gaspar (1997), as lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto armado apresentam duas limitações, que dificultam sua utilização: uma é não poder atender a grandes vãos, pois não há estribos nas vigotas; outra são as cargas acidentais, devido à má aderência entre a vigota e a capa de concreto ocorrendo fissuras na laje ao longo dos anos.

2.2. Metodologia

Para a realização da proposta de estudo, inicialmente foi realizado uma revisão bibliográfica sobre lajes treliçadas para que se possa obter maior conhecimento sobre o assunto. Após este levantamento foi realizado uma pesquisa de campo em fabricas de vigotas pré moldadas na localidade de Ipanema-MG para se ter modelos comparativos e coletas por meio de registro fotográficos confrontando com o dimensionamento feito junto ao software EBERICK.

Com a evolução das metodologias de construção faça-se necessário tal comparativo, por conta das fabricas terem adotado um tipo de vigota padrão para os diversos projetos de laje executados na cidade.

2.3. Discussão dos resultados

Fazendo uma visita técnica à fábrica em estudo, registrando por meio de imagens fotográficas, anotando medidas retiradas das treliças comercializada pela fábrica, que serão apresentadas a seguir, e seguindo itens abordados anteriormente será apresentado o resultado das vigotas fabricadas. Tal resultado será confrontado com os cálculos feitos com o auxílio do programa EBERICK. Serão lançados no programa diversos tamanhos de lajes utilizando a mesma treliça que a fábrica comercializa com o objetivo de encontrar um comprimento de vão em que a treliça em estudo não atenda o estado de utilização (ELS) e um vão em que a treliça não atenda o estado de limite ultimo (ELU).

A treliça padronizada na fábrica da cidade em estudo, vem sendo utilizada a mais de 40 anos e comercializada em todas as obras da cidade. Por se tratar de uma solução construtiva econômica, se comparado a outros métodos disponíveis, as lajes treliçadas 1D se tornou o método mais utilizado na cidade tanto para construções modestas quanto para grandes obras. Na figura a seguir é possível observar a treliça no estoque da fábrica.

FIGURA 3 – Treliça TR08644 armazenada no estoque da fábrica



Fonte: Acervo próprio: 2021

É possível visualizar na figura 3, as treliças no chão da fábrica aguardando para serem cortadas e concretadas. Já na figura 4 a seguir, será demonstrado a bancada onde é feita a concretagem das treliças.

FIGURA 4 – Bancadas onde são concretadas as treliças

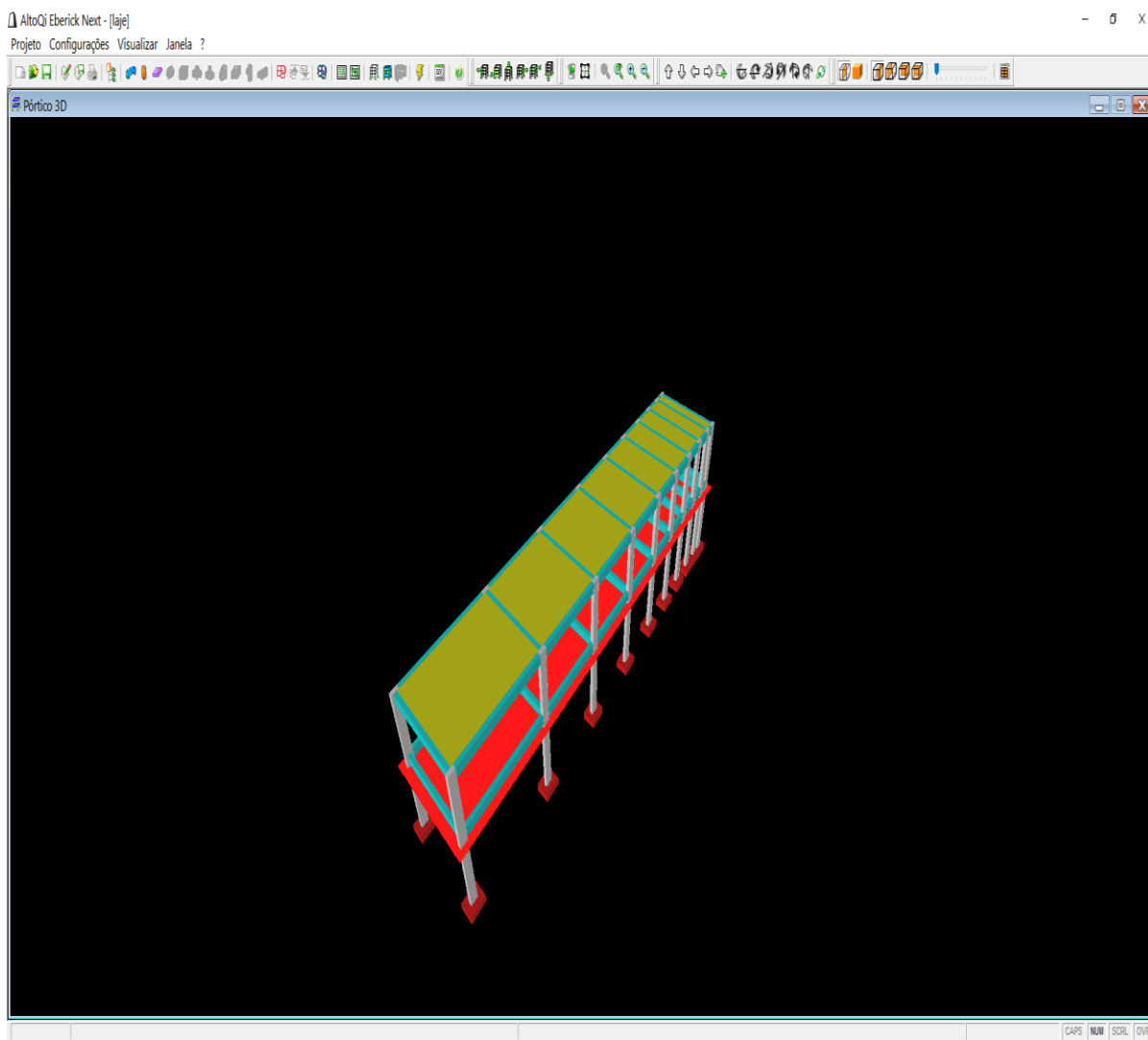


Fonte: Acervo próprio: 2021

Na figura 4, as treliças já concretadas e em processo de cura.

A treliça padronizada pela fabrica onde foi retirados estes dados se trata da TR08644 que é fabricada com aço CA-60 nervurado comercializado nos comprimentos de 8 m, 10 m e 12 m. A TR08644 trata-se de uma treliça com peso de 0,735 kg/m, uma altura de 8 centímetros, diametro do banzo superior de 6,0 mm, diagonais com diametro de 4,2 mm e banzo inferior com diametro de 4,2 mm formando assim uma treliça que no banzo inferior, possui 0,276 cm² de area de aço. na figura 5 a seguir, será demonstrado o pórtico 3D da estrutura de onde será coletado os dados para comparação.

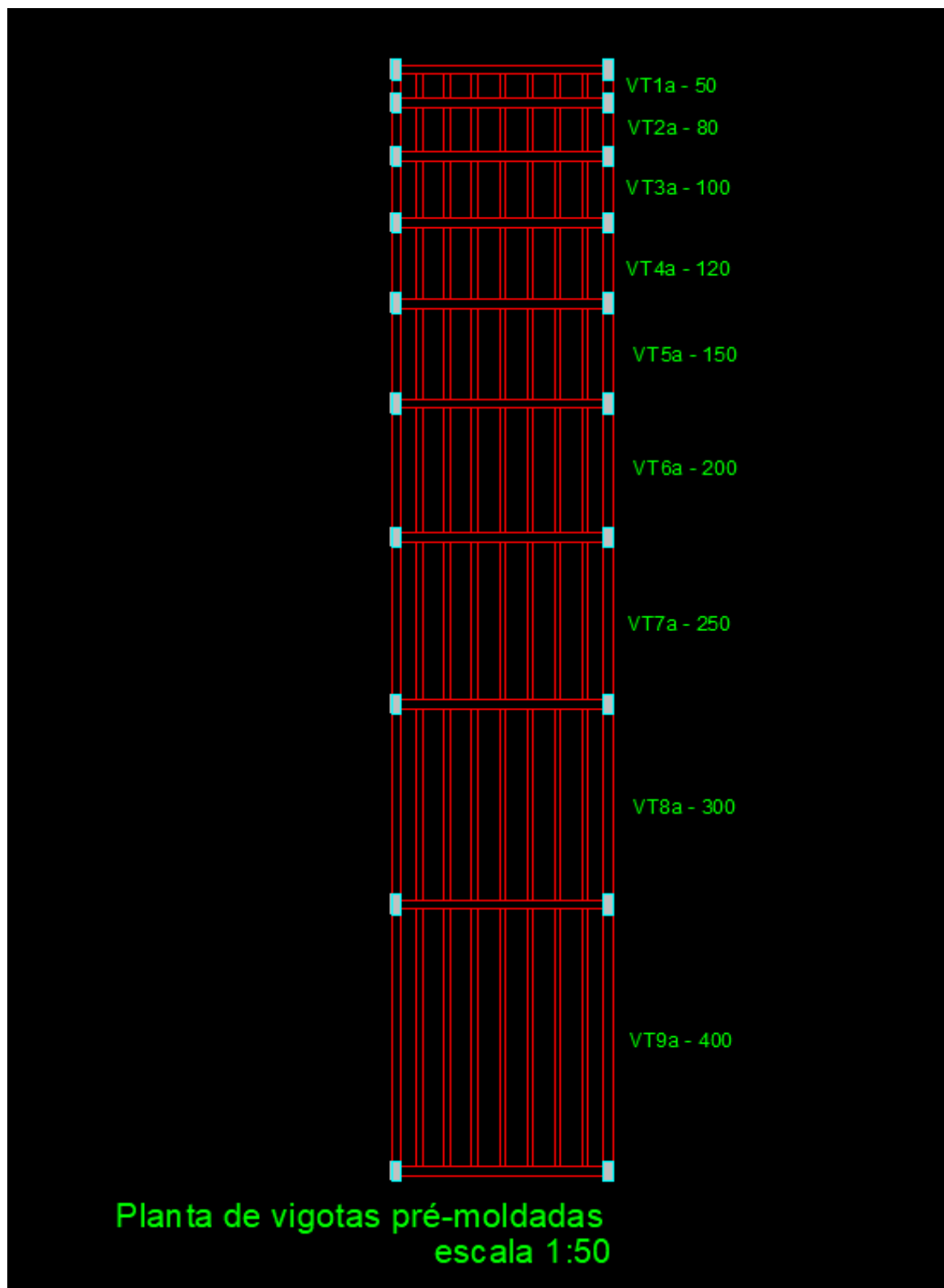
FIGURA 5 – Pórtico 3D da estrutura em análise



Fonte: Acervo próprio: 2021

Na figura 5, o pórtico 3D da estrutura contendo nove painéis de laje. Já na figura 6 a seguir, será demonstrado a orientação das vigotas e a medida.

FIGURA 6 – Planta das vigotas e medidas em centímetros



Fonte: Acervo próprio: 2021

FIGURA 7 – Dados da laje para processamento da estrutura

Dados das Lajes									
laje		fck =	25.00 Mpa	E =	23800 Mpa	Peso Espec =	25.00 kN/m³		
Lance		cobr =	3.50 cm						
Seção (cm)			Cargas (tf/m²)						
Laje	Tipo	H	ee	enx	eex	Peso	Acidental	Paredes	Total
			ec	eny	eey	Próprio	Revestimento	Outras	
L1	Trelçada 1D	13	8.00	21.00	30.00	0.21	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L2	Trelçada 1D	13	8.00	9.00	30.00	0.17	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L3	Trelçada 1D	13	8.00	21.00	30.00	0.21	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L4	Trelçada 1D	13	8.00	21.00	30.00	0.21	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L5	Trelçada 1D	13	8.00	21.00	30.00	0.21	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L6	Trelçada 1D	13	8.00	21.00	30.00	0.21	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L7	Trelçada 1D	13	8.00	21.00	30.00	0.21	1.50	0.00	2.21
			5.00				0.50	0.00	
L8	Trelçada 2D	14	8.00	9.00	40.00	0.24	1.50	0.00	2.24
			6.00	21.00	40.00		0.50	0.00	
L9	Trelçada 2D	14	8.00	9.00	40.00	0.24	1.50	0.00	2.24
			6.00	21.00	40.00		0.50	0.00	

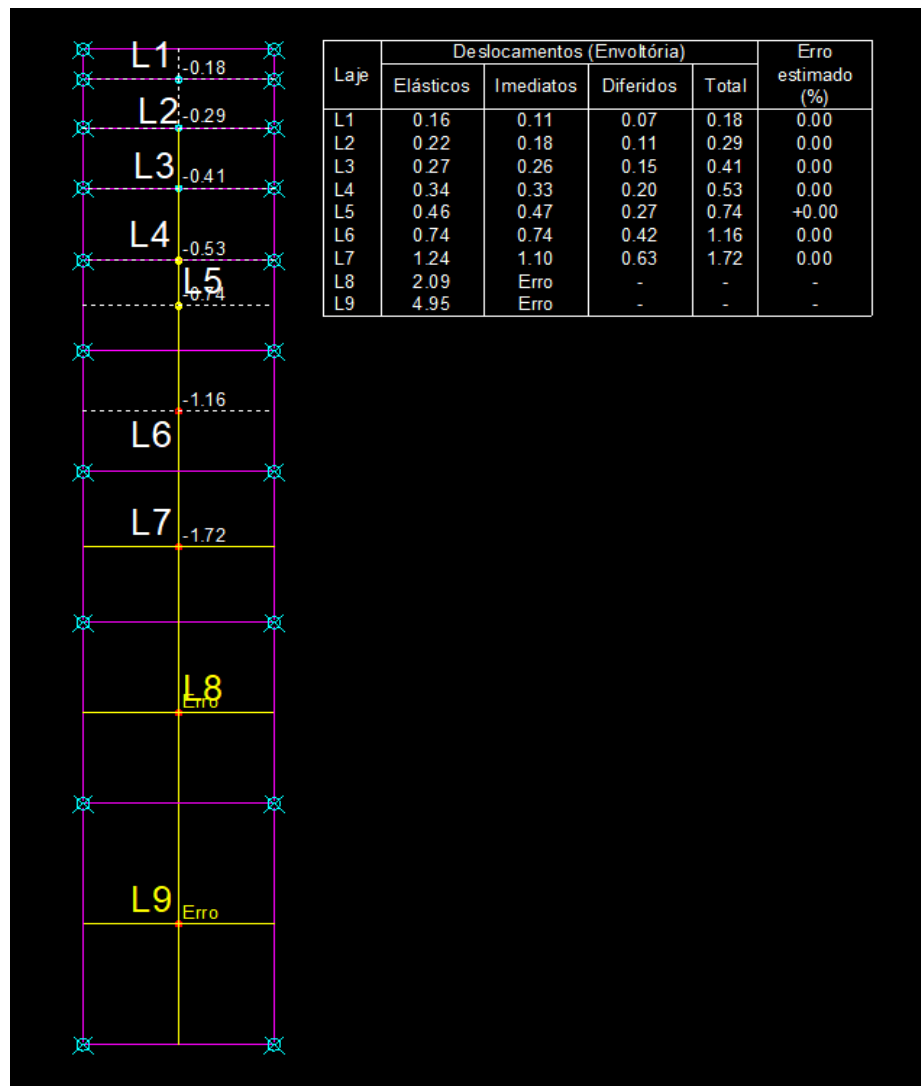
Fonte: Acervo próprio: 2021

		bf = 51.0 cm	As = 0.74 cm ² /N		2ø5.0 c/N	Modelo I vrd2 = 10.02 tf/N
		hf = 5.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N		(0.39 cm ² /N) fiss = 0.20 mm	vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m
L6	X	bw = 21.0 cm	Md = 7.68 kN.m/N	bw = 21.0 cm	As = 1.32 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N)	vsd = 1.54 tf/N vrd1 = 1.57 tf/N
		h = 13.0 cm		h = 13.0 cm		
		bf = 51.0 cm	As = 1.60 cm ² /N		2ø8.0 c/N	Modelo I vrd2 = 10.02 tf/N
		hf = 5.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N		(1.01 cm ² /N) fiss = 0.23 mm	vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m
L7	X	bw = 21.0 cm	Md = 12.00 kN.m/N	bw = 21.0 cm	As = 2.28 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N)	vsd = 1.92 tf/N vrd1 = 1.85 tf/N
		h = 13.0 cm		h = 13.0 cm		
		bf = 51.0 cm	As = 2.56 cm ² /N		2ø12.5 c/N	Modelo I vrd2 = 10.02 tf/N
		hf = 5.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N		(2.45 cm ² /N) fiss = 0.23 mm	vsw = 0.14 tf/N asw = 1.12 cm ² /m
L8	X	bw = 21.0 cm	Md = 10.74 kN.m/N	bw = 21.0 cm	As = 1.49 cm ² /N (TR 08646 - 0.57 cm ² /N)	vsd = 1.75 tf/N vrd1 = 1.68 tf/N
		h = 14.0 cm		h = 14.0 cm		
		bf = 61.0 cm	As = 2.05 cm ² /N		Erro D32	Modelo I vrd2 = 10.94 tf/N
		hf = 6.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N		fiss = 0.23 mm	vsw = erro asw = erro
	Y	bw = 9.0 cm	Md = 10.76 kN.m/N	bw = 9.0 cm	As = 2.57 cm ² /N	vsd = 0.00 tf/N vrd1 = 0.00 tf/N
		h = 14.0 cm		h = 14.0 cm	Erro D32	vrd2 = 0.00 tf/N
		bf = 49.0 cm	As = 2.57 cm ² /N		fiss = 0.00 mm	vsw = erro asw = erro
		hf = 6.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N			
L9	X	bw = 21.0 cm	Md = 13.69 kN.m/N	bw = 21.0 cm	As = 2.08 cm ² /N (TR 08646 - 0.57 cm ² /N)	vsd = 2.21 tf/N vrd1 = 1.79 tf/N
		h = 14.0 cm		h = 14.0 cm		
		bf = 61.0 cm	As = 2.65 cm ² /N		Erro D32	Modelo I vrd2 = 10.94 tf/N
		hf = 6.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N		fiss = 0.28 mm	vsw = erro asw = erro
	Y	bw = 9.0 cm	Md = 13.14 kN.m/N	bw = 9.0 cm	As = 3.20 cm ² /N	vsd = 0.00 tf/N vrd1 = 0.00 tf/N
		h = 14.0 cm		h = 14.0 cm	Erro D32	vrd2 = 0.00 tf/N
		bf = 49.0 cm	As = 3.20 cm ² /N		fiss = 0.00 mm	vsw = erro asw = erro
		hf = 6.0 cm	A's = 0.00 cm ² /N			

Fonte: Acervo próprio: 2021

Na figura 8, na coluna de flexão o cálculo obtido mostra as quantidades de área de aço necessários para atender o estado limite ultimo. As lajes L1, L2 e L3 passaram no dimensionamento, área de aço calculada é menor que $0,28 \text{ cm}^2$ que é a área de aço contida na treliça em estudo, já as lajes L4, L5, L6, L7, L8 e L9 solicitaram uma área de aço superior a área de aço contida nas treliças. Para armação adicional inferior o calculo mostra barras para atender o estado limite de serviço, já na laje 1, que tem menor vão, o programa calcula uma área de aço de $0,40 \text{ cm}^2$ de modo a atender o estabelecido na NBR6118:2014 que especifica que o maior deslocamento permitido é dado pela formula $L/250$, onde L é a comprimento em centímetros da vigota em estudo.

FIGURA 9 – Verificação do estado limite de serviço



Fonte: Acervo próprio: 2021

Na figura 9, descreve a verificação do deslocamentos das lajes. A laje 1 tem comprimento de 50 centímetros seguindo a formula para verificação de flechas limites temos 50/250 que apresenta um resultado de deslocamento total de 0,20 centímetros, como o descolamento total calculo apresentou resultado de 0,18 cm a laje 1 passa na verificação, mas com uma armadura adicional de diametro de 5 mm. A laje 2 que tem 80 cm de comprimento 80/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 0,32 cm, a laje 3 de 100 cm 100/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 0,40 cm, a laje 4 de 120 cm 100/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 0,48 cm, a laje 5 de 150 cm 150/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 0,60 cm, a laje 6 de 200 cm 200/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 0,80 cm, a laje 7 de 250 cm 250/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 1,00 cm, a laje 8 de 300 cm 300/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 1,20 cm, a laje 9 de 400 cm 400/250 apresenta um deslocamento aceitavel maximo de de 1,60 cm..

3. CONCLUSÃO

As lajes treliçadas em uma direção são comercializadas em larga escala no municipio, pois apresentam varias vantagens construtivas, facilitando a execução e gerando economia na obra.

Através da utilização do software EBERICK realizou-se a modelagem de nove diferentes tamanhos de laje de mesmo carregamento acidental e revestimento e com mesma largura, variando seu comprimento, mantendo a mesma treliça padronizada para confecção das vigotas para as lajes da cidade conforme proposto. A treliça base do estudo TR08644 peso de 0,735 kg/m, uma altura de 8 centímetros, diametro do banzo superior de 6,0 mm, diagonais com diametro de 4,2 mm e banzo inferior com diametro de 4,2 mm formando assim uma treliça que no banzo inferior, possui 0,276 cm² de area de aço. A partir desta foram realizados nove lajes, denominados L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, e L9 com medidas de 50, 80, 100, 120, 150, 200, 250, 300 e 400 centímetros, respectivamente. Tendo os resultados descriminados na FIGURA 9, a seguir.

FIGURA 9 – Resultados do calculo das lajes

Resultados da Laje(laje)							
Resultados da Laje							
laje	fck = 25.00 MPa	E = 23800 MPa	Peso Espec = 25.00 kN/m ²				
Lance 2		cobr = 3.50 cm					
Nome	Espessura (cm)	Carga (tf/m ²)	Mdx (kN.m/m)	Mdy (kN.m/m)	Asx	Asy	Flecha (cm)
L1	13	2.17	1.04		As = 0.40 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (1ø5.0 c/N - 0.20 cm ² /N)		-0.16
L2	13	2.17	2.66		As = 0.40 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (1ø5.0 c/N - 0.20 cm ² /N)		-0.22
L3	13	2.17	4.15		As = 0.40 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (1ø5.0 c/N - 0.20 cm ² /N)		-0.27
L4	13	2.17	5.98		As = 0.40 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (1ø5.0 c/N - 0.20 cm ² /N)		-0.34
L5	13	2.17	9.35		As = 0.62 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (2ø5.0 c/N - 0.39 cm ² /N)		-0.46
L6	13	2.17	16.62		As = 1.35 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (2ø10.0 c/N - 1.57 cm ² /N)		-0.74
L7	13	2.17	25.96		As = 2.18 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) (2ø12.5 c/N - 2.45 cm ² /N)		-1.24
L8	13	2.17	37.39		As = 3.53 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N)		-2.09
L9	13	2.17	66.46		Erro D31 As = 6.53 cm ² /N (TR 08644 - 0.28 cm ² /N) Erro D31		-4.95

Fonte: Acervo próprio: 2021

Como demonstrado na FIGURA 9, temos que nenhuma laje passou no dimensionamento com apenas a treliça que a fabrica utiliza para fabricação das vigotas, faça-se necessário a adição de barras de aço para atender a verificação de flechas na laje. E mesmo com a adição de barras de aço, em alguns casos é necessario trocar a treliça utilizada.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nascimento, Tarcísio; Gidrão, Gustavo. **Estudo comparativo entre laje maciça e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em construções usuais**. Revista Científica da FHO|UNIARARAS v.7, n.1/2019

BELGO. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. Grupo Arcelor.

Figueiredo, Jasson Filho; Carvalho, Roberto Chust. **Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto**. 1º encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Carlos – São Paulo, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado, **NBR 9062**. Rio de Janeiro, ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada - Pré-laje - Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais, NBR 14860-1**. Rio de Janeiro, ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-6120 - **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 1980.

BARBOZA, A.S.R. (1992). **Contribuição à análise estrutural de sistemas lajes-vigas de concreto armado mediante analogia de grelha**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DINIZ, H. (1988). **Lajes com armação em treliça**. 2.ed. São Paulo, Vieira de Campos.

FIGUEIREDO, Filho R.S. (1989). **Sistemas estruturais de lajes sem vigas: para o projeto e execução**. São Carlos. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GASPAR, R. (1997). **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção**. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PEREIRA, V. F. (1998) **Manual de projeto de lajes pré-moldadas treliçadas**. São Paulo, Associação dos fabricantes de laje de São Paulo.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 8522- **Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 9062- **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). **NBR 14859-1- Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). **NBR 14859-2- Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 3: Armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT.

IBRACON- **41º Congresso Brasileiro do Concreto**. Salvador

ARAÚJO, D. (1997). **Cisalhamento na interface entre concreto pré-moldado e concreto moldado no local em elementos submetidos à flexão**. Dissertação de mestrado. São Carlos.

AVILLA Junior, J., FIGUEIREDO FILHO, J. R., TANCREDO, A. O., & CARVALHO, R. C. (2006). **Aspectos gerais sobre pavimentos de lajes lisas com vigotas treliças pré-moldadas e blocos de poliestireno expandido (EPS)**. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas.

CARVALHO, R. C., PARSEKIAN, G. A., KATAOKA, L. T., & FALEIROS, J. (2006). **Estudo experimental da deformação ao longo do tempo de lajes com vigotas pré-moldadas de concreto**. XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas.

DINIS, H. (1992). **Lajes com Armação em Treliça**. São Paulo: Vica.

DROPPA Júnior, A. (1999). **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. Dissertação de mestrado. São Carlos.

EL DEBS, M. (2000). **Concreto pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos: EESC - USP.

EL DEBS, M., & DROPPA Júnior, A. (2000). **Um estudo teórico-experimental do comportamento estrutural de vigotas e painéis com armação treliçada na fase de construção**. IBRACON- Congresso Brasileiro do Concreto. Fortaleza.