

**UNIVERSIDADE SEVERINO SOMBRA**  
**PRÓ-REITORIA DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Dione de Oliveira Rozadas**

PUBLICADO: 04/2023

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i1.3133>

**LAJE BUBBLEDECK: UMA RELAÇÃO DE EFICIÊNCIA ESTRUTURAL X CUSTO  
BENEFÍCIO EM OBRAS**

***BUBBLEDECK SLAB: A RELATIONSHIP OF STRUCTURAL EFFICIENCY X  
COST BENEFIT IN WORKS***

***BUBBLEDECK SLAB: UNA RELACIÓN DE EFICIENCIA ESTRUCTURAL X  
COSTE BENEFICIO EN OBRAS***

**Vassouras**  
**2017**

**UNIVERSIDADE SEVERINO SOMBRA**  
**PRÓ-REITORIA DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Dione de Oliveira Rozadas**

**LAJE BUBBLEDECK: UMA RELAÇÃO DE EFICIÊNCIA ESTRUTURAL X CUSTO  
BENEFÍCIO EM OBRAS**

Trabalho de conclusão de curso (TCC),  
apresentado ao curso de Engenharia Ci-  
vil da Universidade Severino Sombra, para  
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Enilson Salino Braga

**Vassouras**  
**2017**

R8171

Rozadas, Dione de Oliveira

Laje Bubbledeck : uma relação de eficiência estrutural x custo benefício em obras / Dione de Oliveira Rozadas, Elen Marques Laré. - Vassouras, 2017.

xvi, 85 f. : il. ; 29,7 cm.

Orientador: Enilson Salino Braga.

Trabalho de Conclusão de Curso para Obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil - Universidade Severino Sombra, 2017.

Inclui bibliografias.

1. Engenharia Civil. 2. Construção civil. 3. Custo-benefício. 4. Sustentabilidade. I. Laré, Elen Marques. II. Braga, Enilson Salino. III. Universidade Severino Sombra. IV. Título.

CDD 624

**UNIVERSIDADE SEVERINO SOMBRA**  
**PRÓ-REITORIA DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Dione de Oliveira Rozadas

**LAJE BUBBLEDECK: UMA RELAÇÃO DE EFICIÊNCIA ESTRUTURAL X CUSTO  
BENEFÍCIO EM OBRAS**

Trabalho de conclusão de curso (TCC),  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
da Universidade Severino Sombra, para  
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em 29 de novembro de 2017, com média 10.

Banca Examinadora

---

Prof. Me. Enilson Salino Braga

---

Prof. Me. Jonas dos Santos Pacheco

---

Prof. Esp. Jailson Marques da Silva

**UNIVERSIDADE SEVERINO SOMBRA**  
**PRÓ-REITORIA DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Elen Marques Laré

**LAJE BUBBLEDECK: UMA RELAÇÃO DE EFICIÊNCIA ESTRUTURAL X CUSTO  
BENEFÍCIO EM OBRAS**

Trabalho de conclusão de curso (TCC),  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
da Universidade Severino Sombra, para  
obtenção do grau de Engenharia Civil.

A provado em 29 de novembro de 2017, com média 10.

Banca Examinadora

---

Prof. Me. Enilson Salino Braga

---

Prof. Me. Jonas dos Santos Pacheco

---

Prof. Esp. Jailson Marques da Silva

*Dedicamos este trabalho inteiramente a Deus que durante 5 anos sempre esteve ao meu lado e em meio a tantas dificuldades permitiu que eu chegasse até aqui. Com certeza meus pais e amigos, foram importantes e sempre terão um lugar especial em minha vida, mas este espaço pertence e reservei apenas para Ele: DEUS.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por toda Graça, Bondade e Restauração em nossas Vidas.

Aos nossos pais, Ana Maria e Nelson Gouvea, Luciana Marques, Ernesto Laré que acreditaram e confiaram em nós em todos os momentos.

Ao nosso orientador Professor Mestre Enilson Salino Braga e todo corpo de professores da universidade.

Meu muito obrigado à Fundação Educacional Severino Sombra pela excelente experiência em ter sido Aluno desta fabulosa Instituição.

Aos amigos e profissionais da Coordenação dos Cursos de Graduação: Tânea, Márcia e Sérgio pelo carinho durante o caminhar do Curso nestes 5 anos.

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo explicitar o uso da tecnologia da Laje BubbleDeck em construções no Brasil. Esta estrutura, apenas foi utilizada em algumas obras de grande porte do Brasil, como por exemplo, o Centro Administrativo do Distrito Federal (2015) e na sede da empresa Odebrecht, em Salvador-BA. No capítulo cinco a tecnologia BubbleDeck é apresentada, a partir da primeira obra concluída na Dinamarca; ainda neste capítulo é realizado um estudo comparativo entre os diversos modelos construtivos de lajes existentes no mercado da construção civil, comparando a Laje Steel Deck e a tecnologia BubbleDeck; no capítulo seis é realizado o estudo de caso apresentado à aplicabilidade, benefícios e custo efetivo da utilização da tecnologia BubbleDeck para ampliação do edifício garagem do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim – Galeão-Rio de Janeiro.

**PALAVRAS-CHAVES:** BubbleDeck. Tipos de Lajes. Estudo de Caso. Benefícios. Sustentabilidade.

## **SUMMARY**

The objective of this paper is to clarify the use of BubbleDeck slab technology in buildings in Brazil. This structure has only been used in some major projects in Brazil, such as the Administrative Center of the Federal District (2015) and Odebrecht headquarters in Salvador, Bahia. In chapter five the BubbleDeck technology is presented, from the first completed construction in Denmark; In this chapter, a comparative study is carried out between the various constructive models of slabs existing in the civil construction market, comparing the Steel Deck Slab and BubbleDeck technology; in chapter six is presented the case study showing the applicability, benefits and cost effective use of the BubbleDeck technology to the extension of the garage building of the Antônio Carlos Jobim International Airport - Galeão / Rio de Janeiro.

**KEYWORDS:** BubbleDeck. Types of Slabs. Case Study. Benefits. Sustainability.

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo explicar el uso de la tecnología BubbleDeck Slab en construcciones en Brasil. Esta estructura solo fue utilizada en algunas grandes obras en Brasil, como el Centro Administrativo del Distrito Federal (2015) y la sede de la empresa Odebrecht, en Salvador-BA. En el capítulo cinco se presenta la tecnología BubbleDeck, desde el primer trabajo realizado en Dinamarca; también en este capítulo se lleva a cabo un estudio comparativo entre los diversos modelos constructivos de losas existentes en el mercado de la construcción civil, comparando la losa de cubierta de acero y la tecnología BubbleDeck; El capítulo seis presenta un estudio de caso sobre la aplicabilidad, los beneficios y la rentabilidad del uso de la tecnología BubbleDeck para ampliar el edificio de garajes en el Aeropuerto Internacional Antônio Carlos Jobim - Galeão-Rio de Janeiro.

**PALABRAS CLAVE:** BubbleDeck. Tipos de losas. Estudio de casos. Beneficios. Sostenibilidad.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de Armadura com as esferas Bubbledeck .....	20
Figura 2 - Millennium Tower - Holanda .....	21
Figura 3 - <i>Sede da Empresa Odebrecht — Salvador, Bahia</i> .....	22
Figura 4 - Módulo Bubbledeck .....	24
Figura 5 - Primeiro estágio de concretagem da laje <i>Bubbledeck</i> .....	24
Figura 6 - Segundo estágio de concretagem.....	25
Figura 7 - Slump Test .....	26
Figura 8 - Pré-laje acoplada ao módulo Bubbledeck.....	26
Figura 9 - Painel acabado Bubbledeck .....	27
Figura 10 - Emendas supostas como na mesma seção transversal .....	28
Figura 11 - Armadura Transversal nas emendas .....	30
Figura 12 - Disposição da armadura transversal nas emendas de barras comprimididas .....	31
Figura 13 - Emenda por Solda.....	33
Figura 14 - Dimensionamento da laje maciça de concreto armado.....	36
Figura 15 - Laje maciça de concreto armado Cassino da Pampulha – Belo Horizonte (1940-1942), Oscar Niemeyer .....	36
Figura 16 - Dimensionamento da Laje Nervurada .....	38
Figura 17 - Laje Nervurada .....	39
Figura 18 - Laje Treliçada EPS .....	40
Figura 19 - Laje Treliçada com Cerâmica.....	41
Figura 20 - Laje Treliçada Cerâmica .....	42
Figura 21 - Laje Treliçada Bi-direcional .....	43
Figura 22 - Esquema da armação da laje pré-moldada.....	44
Figura 23 - Escoramento da Laje pré-moldada .....	45
Figura 24 - Laje pré-fabricada.....	45
Figura 25 - Esquema da Laje completa - pré-fabricada .....	46
Figura 26 - Laje Lisa .....	47
Figura 27 - Exemplos de lajes sem vigas.....	48
Figura 28 - Laje Cogumelo .....	49
Figura 29 - Painel Alveolar .....	50
Figura 30 - Laje Steel Deck.....	56
Figura 31 - Edifício Garagem (EDG) - TPS2 - Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim.....	60
Figura 32 - Fixação das treliças na tela inferior e posicionamento das esferas .	63
Figura 33 - Limpeza, travamento e aplicação de desmoldante nas formas.....	63
Figura 34 - Lançamento do concreto .....	64

Figura 35 - Introdução dos módulos no concreto.....	64
Figura 36 - Desformando painel pré-moldado .....	65
Figura 37 - Carregamento dos painéis .....	65
Figura 38 - Transporte e lançamento dos painéis por grua.....	66
Figura 39 - Montagem do escoramento.....	66
Figura 40 - Colocação da armadura complementar .....	67
Figura 41 - Montagem das formas laterais e concretagem .....	67
Figura 42 - Gráfico de área de laje concretada por mês .....	69
Figura 43 - Arranjo dos Painéis de BubbleDeck.....	74
Figura 44 - Detalhe Esquemático dos Painéis de BubbleDeck.....	75
Figura 45 - Layout do Canteiro .....	75
Figura 46 - Layout da estocagem de peças.....	76
Figura 47 - Modelo Básico de uma placa Bubbledeck .....	78
Figura 48 - Sistema de transmissão de cargas através de vigas e consoles metá- licos.....	78
Figura 49 - Escoramento responsável pela distribuição das cargas para os siste- mas de vigas e consoles (Trelças ULMA).....	79
Figura 50 - Aplicação de placas BBD sobre escoramento especial para transmis- são de cargas (4º piso) .....	79
Figura 51 - Lajes BBD aplicadas sobre cimbramento MILLS (mesas) .....	80
Figura 52 - Ciclo de execução das lajes BBD: lançamento, montagem dos esco- ramentos e armação complementar finalizada.....	80
Figura 53 - Vista panorâmica Edifício Garagem -TPS 2 .....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Proporção máxima de barras tracionadas emendadas: .....	28
Quadro 2 - Dimensionamento segundo a escolha do CA (Concreto Armado) .	35
Quadro 3 - Tabela de Vãos Máximo da Laje Treliçada Cerâmica .....	41
Quadro 4 - Aço para utilização em lajes tipo painel alveolar protendidos - Di- mensões em milímetros.....	51
Quadro 5 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição.....	54
Quadro 6 - Comparativo entre estrutura metálica / Steel Deck e Bubbledeck .....	62
Quadro 7 - Problemas observados na fase de estudo.....	70
Quadro 8 - Continuação dos problemas observados na fase de estudo .....	71
Quadro 9 - Continuação dos problemas observados na fase de estudo .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos coeficientes: .....	29
Tabela 2 – Comparativo de volume de concreto e flechas máximas .....	57
Tabela 3 – Comparativo de taxas de armadura e esforços máximos .....	57
Tabela 4 – Efetivo das equipes para aplicação do sistema .....	68
Tabela 5 – Especificações Técnicas .....	77
Tabela 6 – Vão usuais e sua carga permanente equivalente.....	77
Tabela 7 - Comparativo econômico entre estrutura metálica e BubbleDeck.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BA	Estado da Bahia
BBD	Sistema BubbleDeck
CA	Concreto Armado
CADF	Centro Administrativo do Distrito Federal
CCG	Consórcio Construtor Galeão
cm	centímetros
DB2030	Especificação laje BubbleDeck
DIN	Norma Alemã
EC-280H	Especificação da Grua de lançamento
EDG	Edifício Garagem
EN	Norma Britânica
EPS	Isopor (lajes com Isopor)
m	metro
mm	milímetros
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
PACP	Concreto complementar
RJ	Estado do Rio de Janeiro

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
2	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	17
3	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
3.1	<b>Objetivos gerais</b> .....	18
3.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	18
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
5	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	20
5.1	<b>Laje Bubbledeck: uma nova abordagem em eficiência estrutural e sustentável.</b> .....	20
5.1.1	Referencial histórico .....	20
5.1.2	<i>Conceito da laje Bubbledeck</i> .....	22
5.1.3	Detalhamento do Método Construtivo .....	23
5.1.3.1	Emendas de Barras - Transpasse.....	27
5.1.3.1.1	<i>Proporção de Barras emendadas</i> .....	27
5.1.3.1.2	<i>Comprimento de transpasse de barras tracionadas, isoladas</i> .....	29
5.1.3.1.3	<i>Comprimento de transpasse de barras tracionadas, isoladas</i> .....	29
5.1.3.2	Armadura transversal nas emendas por transpasse, em barras isoladas - Armadura Tracionada .....	29
5.1.3.3	Armadura principal comprimida .....	30
5.1.3.4	Armaduras secundárias .....	31
5.1.3.5	Emendas por transpasse em feixes de barras .....	31
5.1.3.6	Emendas por luvas rosqueadas ou prensadas .....	31
5.1.3.7	Emendas por solda .....	32
5.2	<b>Estudo comparativo: Desempenho estrutural e econômico nos modelos de lajes existentes no mercado</b> .....	33
5.2.1	Modelos de lajes: .....	33
5.2.1.1	Lajes maciças de concreto armado .....	34
5.2.1.2	Lajes Nervuradas .....	37
5.2.1.3	Lajes Trelaçadas .....	39
5.2.1.4	Lajes pré-fabricadas: vigota e tavela .....	43
5.2.1.5	Lajes lisa e cogumelos .....	46
5.2.1.6	Lajes Alveolares .....	49
5.2.1.6.1	<i>Requisitos Gerais para lajes alveolares</i> .....	51
5.2.1.6.2	<i>Requisitos Específicos para as lajes alveolares</i> .....	52

5.2.1.7	Lajes Steel Deck .....	55
5.2.1.8	Lajes lisa vs Laje BubbleDeck .....	57
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO – A UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BUBBLE- DECK PARA AMPLIAÇÃO DO EDIFÍCIO GARAGEM DO AERO- PORTO INTERNACIONAL ANTÔNIO CARLOS JOBIM – GALEÃO/ RJ .....</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Estudo Decisivo .....</b>	<b>60</b>
6.1.1	Situação Existente .....	60
6.1.2	Decisões e Ações Incorporadas .....	61
<b>6.2</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>63</b>
6.2.1	Descrição.....	63
6.2.2	Etapas realizadas na obra .....	66
6.2.3	Composição das Equipes .....	67
6.2.4	Equipamentos, insumos e instalações envolvidas .....	68
6.2.5	Produtividades alcançadas .....	69
6.2.6	Problemas observados na fase de estudo.....	70
6.2.7	Fase de implantação .....	72
6.2.8	Desenhos .....	73
6.2.9	Dimensionamento das esferas BubbleDeck.....	76
6.2.10	Imagens do pavimento .....	78
<b>6.3</b>	<b>Resultados obtidos .....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade e objetivos apresentar a Tecnologia BubbleDeck no Brasil, caracterizando suas particularidades, comparando as demais lajes no mercado, esta relação é pertinente no que tange ao custo efetivo da obra como redução nos padrões de concretagem. Diante de algumas dificuldades podemos perceber muitos avanços em tal tecnologia. O impacto ambiental e o seu desenvolvimento sustentável é algo que não se pode e não deve ser menosprezado.

A sua evolução é lenta (comparativamente com outras áreas de engenharia), mas não inexistente, e procura avançar, de uma forma segura, por meio da introdução de novos materiais, diferentes técnicas de execução, que resultem numa forma mais eficiente de usar os recursos disponíveis, mas sem nunca aumentar o risco ou pôr em causa a segurança das edificações realizadas.

No capítulo cinco consiste na apresentação dos conceitos básicos inerentes às lajes BubbleDeck, seus aspectos e métodos construtivos, principais benefícios e as especificações para o dimensionamento, fazendo-se assim um apanhamento histórico apresentando principalmente obras realizadas no Brasil como o Centro Administrativo de Brasília e a Sede da Empresa Odebrecht em Salvador/BA.

Ainda no capítulo cinco temos a oportunidade de apresentar os modelos de lajes, mas para que o leitor possa perceber as vantagens da tecnologia BubbleDeck sendo realizado um estudo comparativo com a laje lisa.

A terceira etapa do projeto no capítulo seis consiste em apresentar a obra realizada em meu local de estágio extracurricular, a ampliação do Edifício Garagem do Terminal 02 do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim — Galeão, onde fora desenvolvida a tecnologia BubbleDeck. Por fim, apresentamos as conclusões e sugestões para trabalhos futuros, uma vez que a tecnologia BubbleDeck é recente no Brasil, assim tornando-a cada vez melhor aprimorada em estudos futuros.

## 2 JUSTIFICATIVA

A necessidade de se projetar uma obra de grande porte vai além não apenas de cálculos e projeções, temos que forçar não somente nesses aspectos, e sim por todo o projeto. A obra do Edifício garagem demandou além de muitos recursos aspectos fundamentais de sustentabilidade e responsabilidade e segurança, afinal é um edifício onde as cargas de solicitação por conta de automóveis é muito superior a qualquer outro tipo de obra. Pensando nesse questionamento a sugestão seria uma laje que suportasse maiores cargas com menos recursos em sua fabricação.

A laje Bubbledeck pode resistir grandes cargas e sendo de maior eficiência na sua solicitação, por outro lado mais rentável, ou seja, seu custo é muito mais inferior que os demais modelos construtivos no Brasil. E nos resultados finais da obra (capítulo 5.2) serão apresentados todos os critérios que fizeram da Laje Bubbledeck a melhor opção para a obra do EDG – Galeão/RJ.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivos gerais

O presente trabalho por objetivo geral o uso da Tecnologia Bubbledeck em uma grande obra brasileira: O Edifício Garagem do Terminal 02 do Aeroporto Antônio Carlos Jobim - Galeão - Rio de Janeiro.

Apresentar os modelos de lajes existentes no mercado e fazer uma comparação no que tange eficiência estrutural x custo na obra.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Apresentar os resultados obtidos devido ao uso da tecnologia Bubbledeck na obra do EDG — Galeão — Rio de Janeiro;
- Dimensionar a Laje Bubbledeck dentro dos padrões da Norma Brasileira;
- Apresentar resultados no que tange a comparação em relação à laje convencional.

## 4 METODOLOGIA

Este trabalho está embasado numa revisão bibliográfica contida em outros trabalhos de conclusão de curso, devido ao fato do tema ser novo no Brasil, e poucas obras realizadas desde então. A pesquisa é de caráter exploratória, baseada em fontes e referências bibliográficas embasadas nas normas regulamentadoras da laje Bubbledeck.

Após levantamento teórico, na seção do capítulo 6 serão discutidos os resultados da comparação do uso da laje Bubbledeck com a laje maciça comum, seus valores no que tange a valor absoluto na obra e seu comparativo estrutural. Essa seção será rica em tabelas comparativas e gráficos de concentração de valores.

## 5 DESENVOLVIMENTO

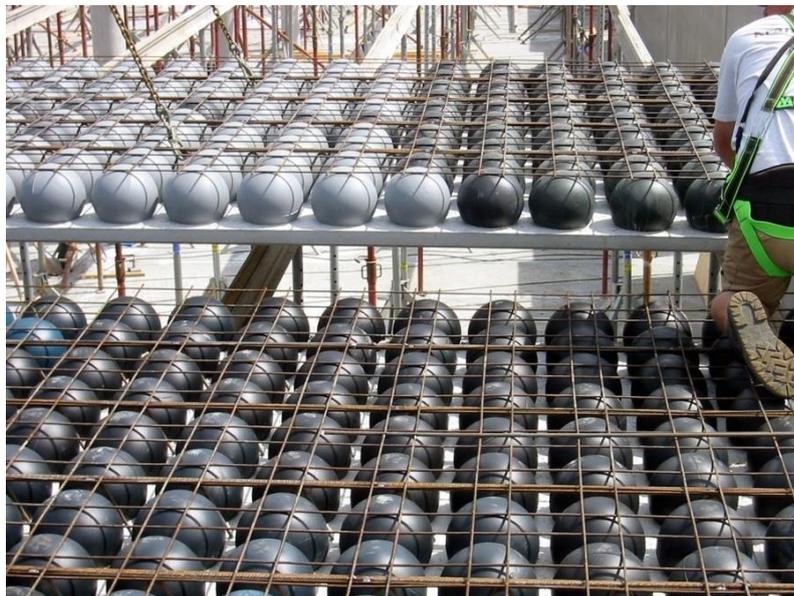
Nesta seção será exposto o referencial teórico deste trabalho de conclusão de curso. Apresentaremos os dois primeiros capítulos, sendo o terceiro o estudo de caso ainda em execução, posteriormente ser apresentado.

### 5.1 Laje Bubbledeck: uma nova abordagem em eficiência estrutural e sustentá-vel.

#### 5.1.1 Referencial histórico

O sistema construtivo Bubbledeck, que se originou na Dinamarca, é um sistema desenvolvido por esferas plásticas que são inseridas de maneira uniforme entre duas armaduras ocupando a zona de concreto que não desempenha função estrutural, de acordo com a figura 1. Logo, seu objetivo consiste na redução do peso próprio da laje, sendo reduzido de 25% a 35% do uso de concreto, removendo as restrições de carga permanente elevada.

Figura 1 – Esquema de Armadura com as esferas Bubbledeck



Fonte: [www.bubbledeck.com.br/site/tecnologia](http://www.bubbledeck.com.br/site/tecnologia), 2013

Segundo Parciannello (2014), a combinação dessas esferas com o conceito de lajes cogumelo permite também o aumento dos vãos nas duas direções, a laje é conectada diretamente às colunas através de concreto in-situ sem nenhuma viga.

Tal tecnologia desenvolvida na década de 80, criada através de concurso do governo dinamarquês, que incentivava o uso de técnicas inovadoras com soluções

ecológicas e econômicas aplicáveis em larga escala nas lajes flexíveis. O engenheiro dinamarquês Jorgen Breuning apresentou a ideia de uma laje de concreto com vazios, introduzindo esferas plásticas onde o concreto não exerce função estrutural, sendo o concreto um material que não trabalha sob tensões à tração. Assim, as esferas possibilitam o uso de concreto onde as forças de compressão atuam e onde há vazios, possibilita a redução de concreto, com isso, a redução permanente do peso próprio da laje.

O Millennium Tower, figura 2, primeira obra realizada com a tecnologia Bubbledeck, em Rotterdam na Holanda, tinha em seu projeto lajes ocas tubadas, porém antes do início das obras foi necessário alterar para o conceito Bubbledeck. O resultado foram: aceleração no ciclo dos andares, de 10 para 4 dias, havendo também uma redução de 50% do pilares e como não utiliza vigas tal sistema, acarretou na altura direta do edifício, com redução de seu pé direito e assim reduzindo a altura total da obra, como consequência na metade da construção foi decidido aumentar mais dois andares ao projeto original. Assim, no ano de 2000, a Millennium Tower foi finalizada com 35 andares, 130, 8 metros, antes do prazo, se tornando o segundo maior edifício da Holanda.

Figura 2 – Millennium Tower - Holanda



Fonte: <http://pet.ecv.ufsc.br>, 2015

No Brasil esta tecnologia ainda encontra-se em fase de estudo e desenvol-

vimento, não havendo normas regulamentadoras associadas a esta tecnologia. Com grande eficiência no que tange a estrutura, a utilização das esferas plásticas como formadoras de espaços vazios permite pilares entreixos 50% maiores. A primeira obra realizada com este tipo de tecnologia no Brasil foi a sede da empresa Odebrecht em Salvador-BA, de acordo com figura 3.

Figura 3 – Sede da Empresa Odebrecht — Salvador, Bahia



Fonte: [www.bubbledeck.com.br](http://www.bubbledeck.com.br), 2013

### 5.1.2 Conceito da laje Bubbledeck

O método Bubbledeck consiste em eliminar volume de concreto de uma laje, através da adição de esferas plásticas igualmente distribuídas de maneira uniforme dentro da armação entrelaçada, formando vácuos em seu interior e ocasionando a maior redução possível de concreto na concretagem, sendo essa redução um volume de concreto sem função estrutural. Tal incorporação reduz cerca de 35% de volume de concreto, proporcionando construção de pilares ou colunas entreixos 50% maiores.

Além disso, permite a construção de vãos maiores e diminuição da restrição de sobrecargas, como também viabiliza a ausência de vigas e interferem nas propriedades mecânicas de tal laje (SILVA, 2011).

De acordo com sua viabilidade econômica e estrutural, podemos citar inúmeros aspectos positivos que estão ligados a essa tecnologia, segundo a Bubbledeck Brasil:

- *Redução do peso próprio, 35% menor, permitindo redução nas fundações;*
- *Tecnologia com selo verde, Green Building;*

- *Substituição de 60 kg de concreto por 1 kg de plástico reciclado retirado da natureza;*
- *Liberdade nos projetos, layouts que facilmente se adaptam a layouts curvos e irregulares;*
- Resistência ao fogo, em caso de incêndio as esferas carbonizam sem emissão de gases tóxicos;
- Eliminação de vigas, maior rapidez e economia pela eliminação de vigas e, execução mais barata e rápida de alvenarias e instalações;
- Eliminação das paredes de apoio, facilidade de metodologia construtiva;
- Aumento de vãos nas duas direções, conexão da laje diretamente aos pilares sem nenhuma viga através de concreto in-situ;
- Ambiente adequado, redução de energia e emissão de carbono devido à utilização de plástico reciclável, diminuindo o consumo de matérias-primas.

Diante das características citadas, podemos comparar esse sistema ao demais sistemas que visam um melhor aproveitamento do concreto, visando a principal vantagem que é a redução do volume de concreto utilizado, possibilitando grandes vãos e sobrecargas, além de bons resultados econômicos.

No que tange ao tema sustentabilidade, tal tecnologia possui selo verde, pelo fato das esferas serem produzidas por material reciclado, retirado da natureza. De acordo com Freire (2009), a cada metro quadrado construído de laje Bubbledeck (para uma laje de 23 cm) são retirados 1 Kg de plástico do meio ambiente. Para cada um milhão de metros quadrados fabricados com laje maciça há uma economia de 24,4 mil m<sup>3</sup> de concreto com a tecnologia.

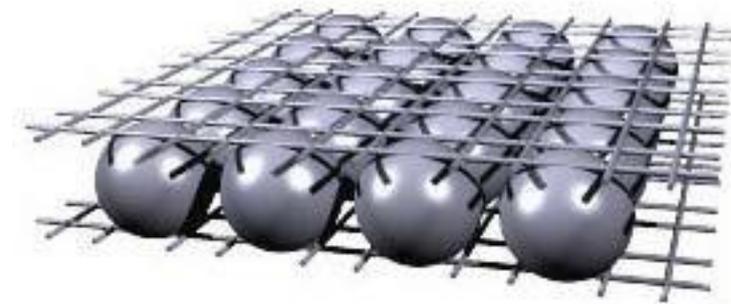
### 5.1.3 Detalhamento do Método Construtivo

As lajes Bubbledeck podem ser construídas utilizando módulos, pré-lajes ou até mesmo em painéis acabados.

O primeiro método apresentado consiste em posicionar as esferas em gaiolas metálicas, de acordo com a figura 4, formando módulos sobre fôrmas convencionais de madeira, e então adicionar as armaduras restantes. Sendo necessária a concretagem ser executada em dois estágios sendo o primeiro estágio feito com espessura de 60mm, evitando a flutuação das bolas e o segundo estágio onde a laje é preenchida por completo. Esse tipo de laje é ideal para obras de reforma, pisos térreos, ou em

casos de acesso complicado, pois os módulos podem ser transportados e posicionados manualmente.

Figura 4 – Módulo Bubbledeck



Fonte: Bubbledeck brasil

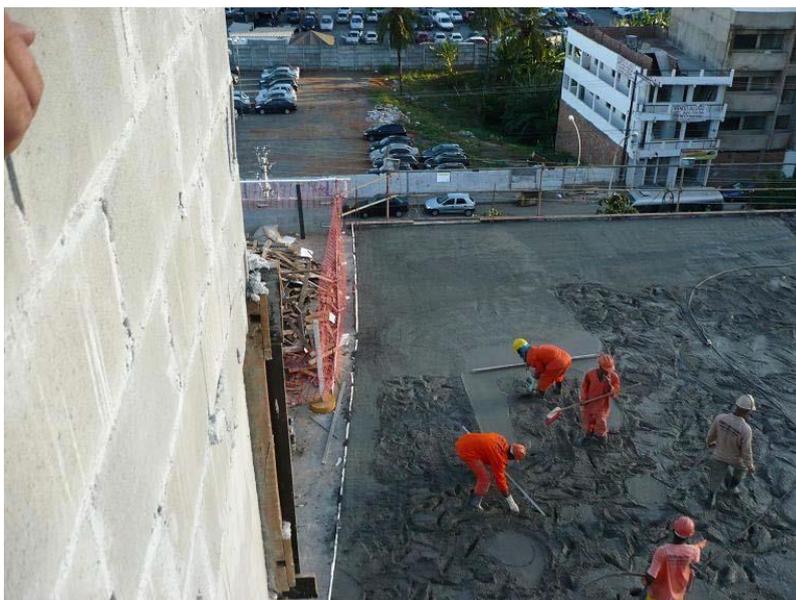
Na figura 5, apresentamos o primeiro estágio de concretagem e na figura 6 o segunda estágio de concretagem da laje Bubbledeck.

Figura 5 – Primeiro estágio de concretagem da laje *Bubbledeck*



Fonte: Freire, T.C, 2009

Figura 6 – Segundo estágio de concretagem



Fonte: Freire, T.C, 2009

O método de pré-laje consiste em utilizar lajes de 60mm de espessura pré fabricadas, introduzindo as esferas plásticas a fim de eliminar o assoalho de madeira. É um dos tipos mais comuns de laje utilizadas necessitando de um guindaste para colocação das vigas devido ao peso elevado. A figura 8 mostra esse método de pré-laje com módulos Bubbledeck incorporado.

De acordo com Vasconcelos (2012) a consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. Não podendo haver confusão entre trabalhabilidade e consistência do concreto. A consistência está ligado diretamente a características inerentes ao próprio concreto, mais relacionado com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Conforme alterarmos o grau de umidade que determina a consistência, alteramos também suas características de plasticidade e permitimos a maior ou menor deformação do concreto perante aos esforços. Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência é o ensaio de abatimento do concreto, também conhecido como *Slump test*.

Neste ensaio, colocamos uma massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes. Retiramos o molde lentamente, levantando-o verticalmente e medimos a diferença entre a altura do molde e a altura da massa de concreto depois de assentada, de acordo com a figura 7.

Figura 7 – Slump Test



Fonte: Vasconcelos, 2012

Figura 8 – Pré-laje acoplada ao módulo Bubbledeck



Fonte: Bubbledeck Brasil, 2013

O método dos painéis consiste em lajes prontas concretadas em fábrica, entregues nos locais da construção, restando apenas o içamento e posicionamento das placas não necessitando de concreto de segundo estágio. O painel pronto é aplicável para apoios em uma só direção e necessita da inclusão de vigas suporte ou paredes, pois funcionam da mesma forma que a laje pré-moldada unidirecional. A figura 9 mostra esse painel com acoplagem da laje Bubbledeck.

Figura 9 – Painel acabado Bubbledeck



Fonte: Bubbledeck Brasil, 2013

Assim, no local final de posicionamento, as armaduras em malhas são acopladas nas malhas superiores e barras de ligações posicionadas nas juntas entre os elementos que possuem a função de criar a ligação entre os elementos individuais. Após a colocação das armaduras a concretagem é feita de maneira uniforme garantindo a continuidade estrutural da laje, todo o detalhamento segue o modelo de concretagem de lajes maciças, não descartando que pode ser utilizadas técnicas de concretagem com concreto protendido.

#### 5.1.3.1 Emendas de Barras - Transpasse

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) as barras de aço apresentam usualmente o comprimento em torno de 12 m. Em elementos estruturais de comprimento superior a 12 m, como vigas e pilares, por exemplo, torna-se necessário fazer a emenda das barras. Como exemplo o transpasse de barras.

Ainda de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) a emenda é feita pela simples justaposição longitudinal das barras num comprimento de emenda bem definido. Estabelece-se que a emenda por transpasse só é permitida para barras de diâmetro até 32 mm. “Cuidados especiais devem ser tomados na ancoragem e na armadura de costura de tirantes e pendurais (elementos estruturais lineares de seção inteiramente tracionada)”.

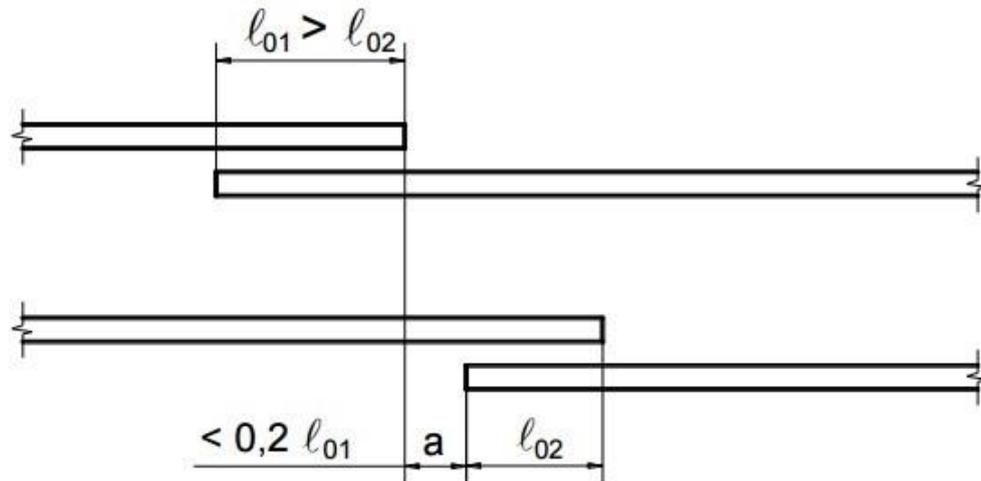
No caso de feixes, o diâmetro do círculo de mesma área, para cada feixe, não pode ser superior a 45 mm, respeitados os critérios estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2014).

##### 5.1.3.1.1 Proporção de Barras emendadas

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) consideram-se como na mesma seção transversal as emendas que superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas de menos de 20% do comprimento do trecho de transpasse.

Quando as barras tem diâmetro diferentes, o comprimento de transpasse deve ser calculado pela barra de maior diâmetro de acordo com a figura 10.

Figura 10 – Emendas supostas como na mesma seção transversal



Fonte: NBR 6118, 2014

A proporção máxima de barras tracionadas da armadura principal emendadas por transpasse na mesma seção transversal do elemento estrutural deve ser indicada no quadro 1.

A adoção das proporções maiores que as indicadas deve ser justificadas quanto à integridade do concreto na transmissão das forças e da capacidade resistente da emenda, como um conjunto, frente à natureza das ações que a solícitem.

Quadro 1 - Proporção máxima de barras tracionadas emendadas

Tipo da Barra	Situação	Tipo de carregamento	
		Estático	Dinâmico
Alta aderência	Em uma camada	100%	100%
	Em mais de uma camada	50%	50%
Lisa	$\phi < 16\text{mm}$	50%	25%
	$\phi \geq 16\text{mm}$	25%	25%

Fonte: NBR 6118, 2014

Quando se tratar de armadura permanentemente comprimida ou de distribuição, todas as barras podem ser emendadas na mesma seção.

### 5.1.3.1.2 Comprimento de transpasse de barras tracionadas, isoladas

Quando a distância livre entre barras emendadas estiver compreendida entre 0 e  $4\emptyset$ , o comprimento do trecho de transpasse para barras tracionadas deve ser:

$$l_{0t} = l_{0t} = \alpha_{0t} l_{(b,nec)} l_{(0t,min)}$$

Onde:

- $l_{(0t,min)}$  é o maior valor entre  $0,3 \alpha_{0t} l_b$ ,  $15 \emptyset$  e 200 mm;
- $\alpha_{0t}$  é o coeficiente função da porcentagem de barras emendadas na mesma seção, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos coeficientes

Barras emendadas na mesma seção %	20	25	33	50	>50
Valores de $\alpha_{0t}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Fonte: NBR 6118, 2014

### 5.1.3.1.3 Comprimento de transpasse de barras tracionadas, isoladas

Quando as barras estiverem comprimidas, adotar a seguinte expressão para cálculo do comprimento e transpasse:

$$l_{0c} = l_{(b,nec)} l_{(0c,min)}$$

Onde:

- $l_{(b,)}$  comprimento de ancoragem básico;
- $l_{(b,nec)}$  comprimento de ancoragem necessário;
- $l_{(0c,min)}$  é o maior valor entre  $0,6 l_b$ ,  $15 \emptyset$  e 200 mm.

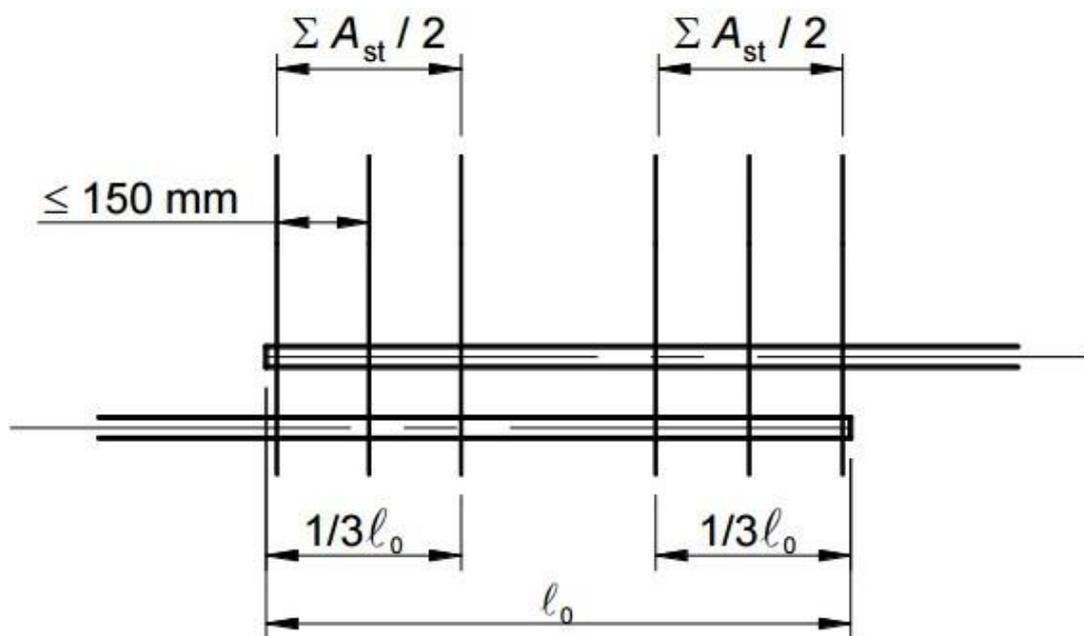
### 5.1.3.2 Armadura transversal nas emendas por transpasse, em barras isoladas – Armadura Tracionada

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), quando  $f < 16$  mm ou a proporção de barras emendadas na mesma seção for menor que 25%, a armadura transversal deve satisfazer o descrito em 9.4.2.6.

Nos casos em que  $f \geq 16$  mm, ou quando a proporção de barras emendadas na mesma seção for maior ou igual a 25%, a armadura transversal deve:

- Ser capaz de resistir a uma força igual a de uma barra emendada, considerando os ramos paralelos ao plano da emenda;
- Ser constituída por barras fechadas se a distância entre as duas barras mais próximas de duas emendas na mesma seção for  $< 10 f$  ( $f$  = diâmetro da barra emendada);
- Concentrar-se nos terços extremos da emenda, de acordo com figura 11.

Figura 11 – Armadura Transversal nas emendas

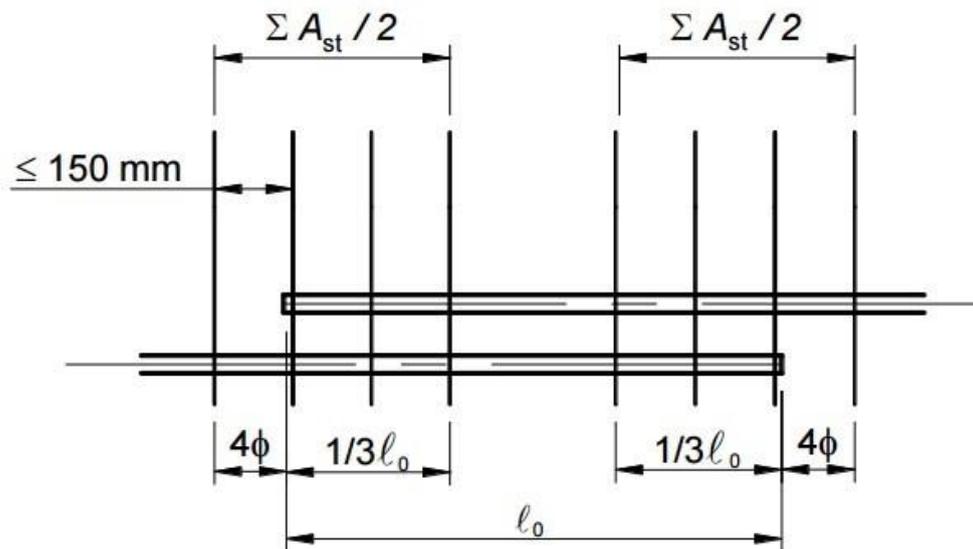


Fonte: NBR 6118, 2014

### 5.1.3.3 Armadura principal comprimida

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), devem ser mantidos os critérios estabelecidos para o caso anterior, com pelo menos uma além das extremidades da emenda. Figura 12.

Figura 12 – Disposição da armadura transversal nas emendas de barras comprimidas



Fonte: NBR 6118, 2014

#### 5.1.3.4 Armaduras secundárias

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a armadura transversal deve obedecer Quando  $\emptyset < 16 \text{ mm}$  ou a proporção de barras emendadas na mesma seção for menor que 25 %, a área da armadura transversal deve resistir a 25 % da força longitudinal atuante na barra. Os itens 9.5.2.5, 9.5.3 e 9.5.4 da NBR 6118 (ABNT, 2014) tratam, respectivamente, de emendas de feixes de barras por transpasse, emendas por luvas rosqueadas e emendas por solda. Esses tipos de emendas são menos comuns na prática das construções.

#### 5.1.3.5 Emendas por transpasse em feixes de barras

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), podem ser feitas emendas por transpasse em feixes de barras quando, respeitando o estabelecido em norma, as barras constituintes do feixe forem emendadas uma de cada vez desde que em qualquer seção do feixe emendado não resultem mais que quatro barras.

As emendas das barras do feixe devem ser separadas entre si 1,3 vez o comprimento de emenda individual de cada uma.

#### 5.1.3.6 Emendas por luvas rosqueadas ou prensadas

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), para emendas rosqueadas ou prensadas a resistência da emenda deve atender aos requisitos de normas especificadas.

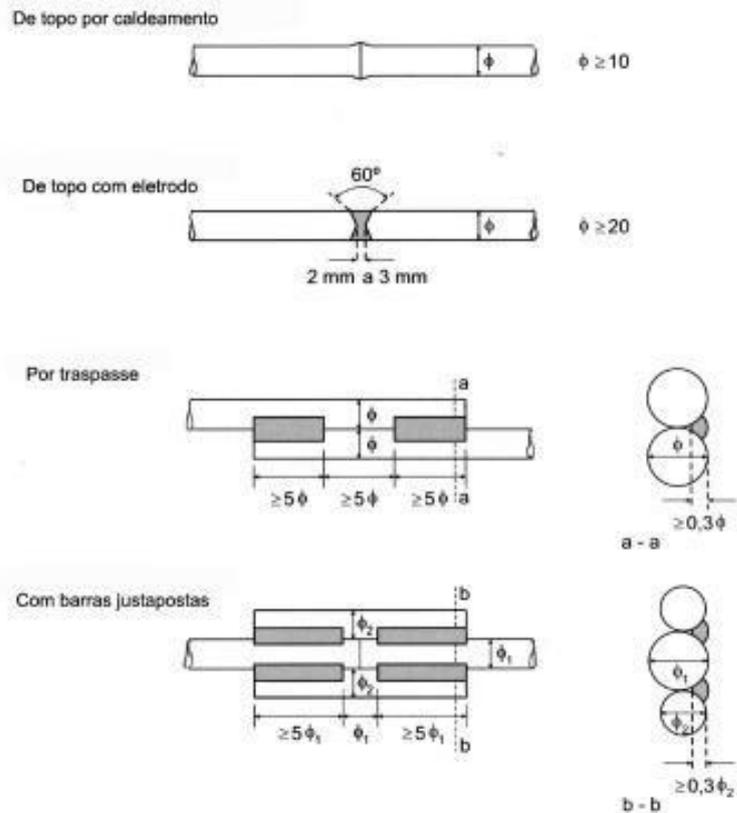
Na ausência destes, a resistência deve ser no mínimo 15% maior que a resistência de escoamento da barra a ser emendada, obtida em ensaio.

#### 5.1.3.7 Emendas por solda

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as emendas por solda exigem cuidados especiais quanto à composição química dos aços e dos eletrodos e quanto às operações de soldagem que devem atender às especificações de controle do aquecimento e resfriamento da barra, conforme normas específicas:

- De topo, por caldeamento, para bitola não menor que 10 mm;
- De topo, com eletrodo, para bitola não menor que 20 mm;
- Por transpasse com pelo menos dois cordões de solda longitudinais, cada um deles com comprimento não inferior a  $5 \varnothing$ , afastados no mínimo  $5 \varnothing$  (ver figura 13);
- Com outras barras justapostas (cobrejuntas), com cordões de solda longitudinais, fazendo-se coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas, devendo cada cordão ter comprimento de pelo menos  $5 \varnothing$  (ver figura 13).

Figura 13 – Emenda por Solda



Fonte: NBR 6118, 2014

## 5.2 Estudo comparativo: Desempenho estrutural e econômico nos modelos de lajes existentes no mercado.

### 5.2.1 Modelos de lajes:

A seguir apresenta-se os modelos de lajes existentes no mercado e um estudo comparativo entre a laje Bubbledeck vs laje Steel deck.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) as lajes ou placas são “elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais em seu plano. As placas de concretos são usualmente denominadas lajes”.

Ainda de acordo com Bastos (2013) tais elementos são bidimensionais, onde as duas dimensões são de mesma grandeza, comprimento e largura. E são maiores que a terceira dimensão a espessura. Essas placas chamadas assim de lajes estão sujeitas a diversas ações, destina-se a receber cargas numa construção, pessoas, moveis, paredes, pisos e os demais tipos de cargas dependendo da finalidade da construção.

No mercado existem diferentes tipos de lajes que podem ser empregadas nas obras de acordo com sua finalidade estrutural. Essas lajes podem diferenciar-se de acordo com sua finalidade, podendo ser classificadas quanto a forma e composição, quanto ao esquema de cálculo, tipo de apoio envolvido. Nesse trabalho iremos abordar os modelos pela composição e forma: lajes maciças de concreto armado, lajes nervuradas, lajes pré-fabricadas, lajes lisas e lajes cogumelos (CAMACHO, 2004).

#### 5.2.1.1 Lajes maciças de concreto armado

Segundo Vasconcelos (2012) as lajes maciças de concreto armado, com espessura que variam entre 7 e 15 cm, são comuns em edifícios de pavimentos e em construções de grande porte, como escolas, indústrias, hospitais, pontes e etc. De modo geral não são aplicadas em construções de pequeno porte e/ou residenciais, pois nesses empreendimentos podemos utilizar as lajes pré-moldadas e nervuradas devido ao custo e facilidade na construção.

De acordo com Ishitani e França (2002), concreto protendido é aquele que, apesar de resistir bem a compressão, não resiste bem a tração (e em função disso, surgem as fissuras de flexão), e por isso são aplicados esforços de auto equilíbrios na estrutura, surgindo aí o termo protensão.

Segundo Bastos (2013), concreto é o resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água formando uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico.

De acordo com NBR 6118 (ABNT, 2014, item 13.2.4.1) nas lajes maciças de concreto armado devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para espessura:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para laje de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportam veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $l/42$  para lajes de piso biapoiadas e  $l/50$  para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelos, fora do capitel.

Ainda segundo Botelho e Marchetti (2010) além do correto dimensionamento e escolha correta de espessura, a laje deve ser executada com um escoramento

adequado, bem intertravado e totalmente apoiado no chão. Parte significativa dos problemas das lajes decorre:

- Da falta de escoramento;
- Da deficiência do travamento do escoramento;
- Do deficiente apoio do escoramento no chão.

As consequências da deficiência do escoramento podem ser:

- Flechas exageradas;
- Fissuras ao longo da nervura.

Ainda de acordo com Botelho e Marchetti (2010), o projeto das lajes deve usar, por razões econômicas, como vão de dimensionamento, o menor deles. Se houver parede a sustentar, então:

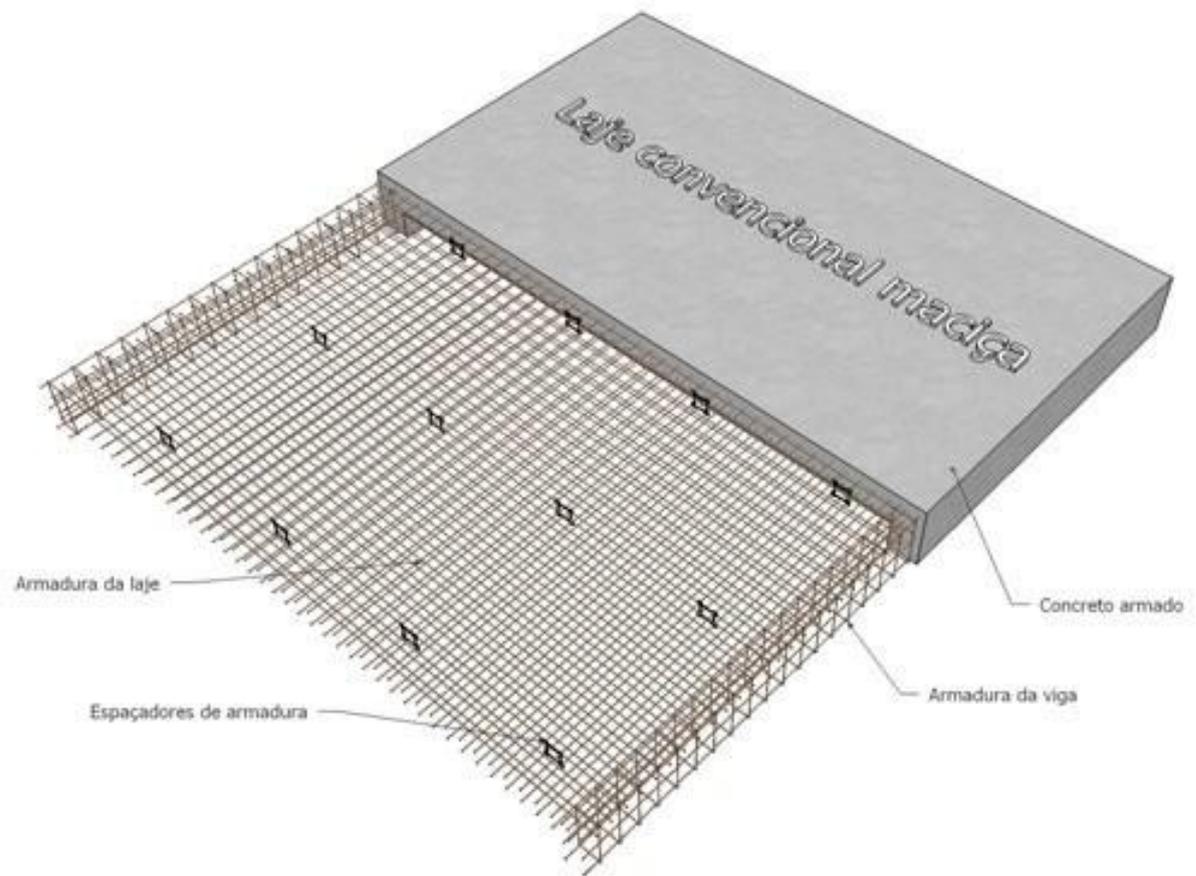
- Usar na parede material com menor peso específico possível (gesso, material vazado etc.);
- A parede deve se apoiar em posição transversal às nervuras e nunca ao longo de uma nervura, o que pode acarretar flechas e trincas;
- O peso da parede deve ser considerado no cálculo;
- É necessário projetar as lajes como lajes nervuradas;
- Usar na capa de concreto, em compressão, as taxas mínimas de armaduras, iguais ao previsto pela norma de lajes mistas NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quadro 2 - Dimensionamento segundo a escolha do CA (Concreto Armado)

Aço	Área mínima de armadura	Número mínimo de barras
CA – 25	0,9 cm <sup>2</sup> /m	5 $\Phi$ 5mm ou 3 $\Phi$ 6,3mm
CA – 50 A, CA – 50 B, CA – 60 B	0,8 cm <sup>2</sup> /m	3 $\Phi$ 5mm ou 3 $\Phi$ 6,3mm

Fonte: Botelho, 2010

Figura 14 – Dimensionamento da laje maciça de concreto armado



Fonte: Vasconcelos, 2012

Figura 15 – Laje maciça de concreto armado Cassino da Pampulha — Belo Horizonte (1940-1942), Oscar Niemeyer



Fonte: Vasconcelos, 2012

### 5.2.1.2 Lajes Nervuradas

De acordo com Botelho e Marchetti (2010), lajes nervuradas são aquelas em que a zona tracionada é constituída por nervuras entre as quais podem ser colocados materiais inertes, de modo a tornar a superfície plana. Não se deve contar com as resistências desses materiais. Caso queiramos resistência, deveremos usar lajes mistas NBR 6118 (ABNT, 2014).

Existem vários tipos de enchimentos e técnicas de execução, para as lajes nervuradas usamos: tijolos furados, blocos de concreto, blocos de pumex, blocos isopor, “caixão perdido” etc.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014, item 13.2.4.2) determinam-se vários fatores para execução da laje nervurada:

- A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidos, deve ser maior ou igual a  $1/15$  da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm;
- O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de  $4 \text{ cm} + \Phi$ , ou  $4 \text{ cm} + 2 \Phi$  no caso de haver cruzamento destas tubulações;
- A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;
- Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

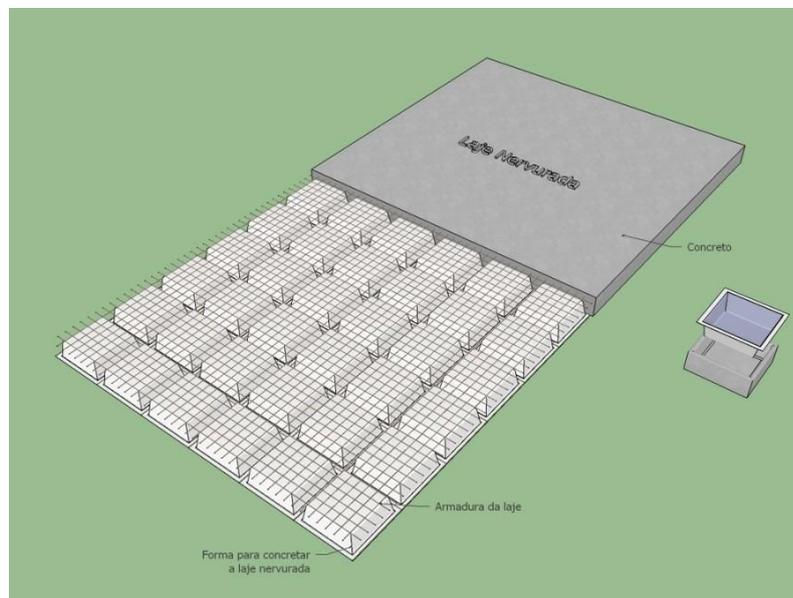
De acordo ainda com a NBR 6118 (ABNT, 2014), para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições:

- Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios da laje;
- Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;

- Para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

O reaproveitamento das formas com o sistema de escora metálica traz economia ao projeto, tais lajes propiciam uma redução significativa no peso próprio da laje e obtendo um melhor aproveitamento do aço no concreto. Sua resistência à tração está nas nervuras, e os materiais de enchimento substituem o concreto. As lajes nervuradas são bastante utilizadas em edifícios de escritórios, escolas, supermercados, hospitais, dentre outras.

Figura 16 – Dimensionamento da Laje Nervurada



Fonte: Vasconcelos, 2012

Figura 17 – Laje Nervurada



Fonte: Vasconcelos, 2012

### 5.2.1.3 Lajes Treliçadas

As lajes treliçadas surgiram na Europa como apoio imediato na melhoria na superação da deficiência que a outras lajes convencionais apresentavam, e também para competir com as lajes maciças no que tange custo x benefício (OLIVEIRA; GARCIA, 2011). Elas são divididas em três grupos encontradas no mercado: lajes treliçadas, lajes treliçadas cerâmica e lajes treliçadas bi-direcional EPS.

- *Lajes treliçadas EPS*: Esse tipo de laje podem ser utilizadas em qualquer tipo de estrutura com a finalidade de vencer vãos livres e suportar grandes quantidades de cargas com altura relativamente baixa, diminuindo assim o consumo de concreto na obra. Esse tipo de laje possibilita a distribuição de parede sobre a laje com isso há uma redução e/ou eliminação de viga no sistema estrutural.

Figura 18 – Laje Treliçada EPS



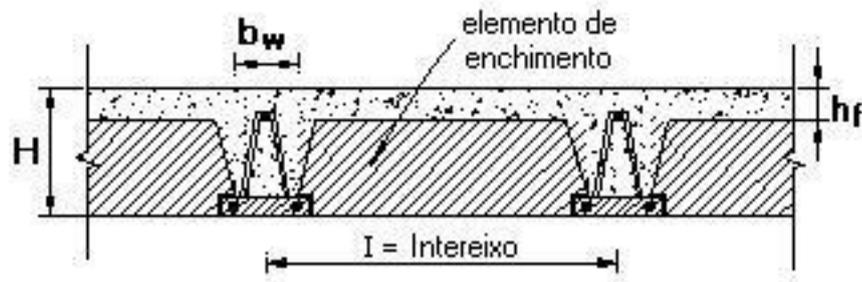
Fonte: Tijolaje, 2015

Segundo Tijolaje (2014), As lajes treliçadas EPS são de rápido e fácil manuseio, diminuindo assim a mão de obra. Além disso, oferecem facilidade para embutir tubulações eliminando forros falsos. A laje treliçada possui baixo peso próprio, proporcionando a redução de reação nos apoios aumentando a eficiência da laje.

Com utilização do EPS (isopor), como material inerte, a laje treliçada oferece um enorme alívio de cargas e conseqüentemente reduz as solicitações de vigas pilares e fundações, proporcionando uma significativa economia de gastos com concreto, aço e formas em toda estrutura. As lajes treliçadas EPS possibilitam a utilização diretamente em estrutura de concreto armado e estrutura metálica. O EPS é isolante térmico e acústico que oferece maior conforto ao ambiente.

- Lajes Treliçadas Cerâmica: Esse tipo laje utiliza uma lajota/bloco de cerâmica com tamanho padrão de mercado, esse padrão se faz necessário, pois a resistência e quantidade de concreto dependem desse parâmetro (LAJE PAULISTA, 2017).

Figura 19 – Laje Treliçada com Cerâmica



laje treliça com ceramica

Fonte: Laje Paulista, 2015

Quadro 3 - Tabela de Vãos Máximo da Laje Treliçada Cerâmica

TABELA DE VÃOS MÁXIMOS									
LAJE TIPO TRELIÇADA - UNI-DIRECIONAL - EIXO 0,42 - FCK = 25Mpa									
ENCHIMENTO EM CERÂMICA				SOBRE-CARGA Kg/m <sup>2</sup>					CONS. CONCRETO
BETA	H+CAPA	COND. APOIO	P. PROP.	100Kg	250Kg	350Kg	500Kg	1000Kg	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
LT-12	07+5	ENGASTE	203						0,062
LT-12	07+5	APOIO	203						0,062
LT-17	12+5	ENGASTE	256						0,073
LT-17	12+5	APOIO	256						0,073
LT-21	16+5	ENGASTE	298						0,083
LT-21	16+5	APOIO	298						0,083
LT-25	20+5	ENGASTE	341						0,093
LT-25	20+5	APOIO	341						0,093

Fonte: Laje Paulista, 2015

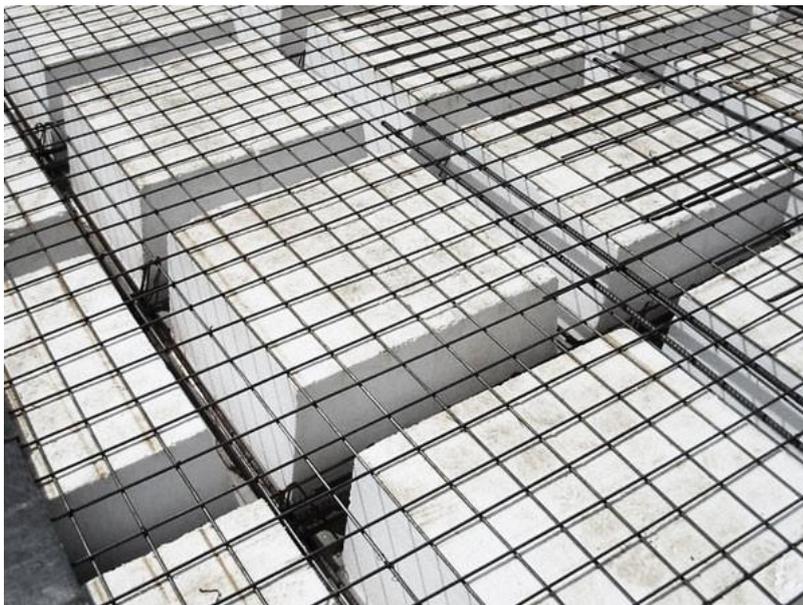
Figura 20 – Laje Treliçada Cerâmica



Fonte: Tijolage, 2015

- Laje Treliçada Bi-direcional EPS: Esse tipo de laje é indicado onde é possível armar a laje nas duas direções, oferecendo algumas vantagens como menor custo na estrutura por diminuição melhor dos esforços nos apoios, uma alta economia no escoramento, menor deformação e maior rigidez, pela facilidade na montagem existe uma menor redução no tempo de execução e por fim cargas concentradas mais flexíveis podendo posteriormente a alternância de posição dessa alvenaria.

Figura 21 – Laje Trelaçada Bi-direcional



Fonte: Tijolage, 2015

#### 5.2.1.4 Lajes pré-fabricadas: vigota e tavela

Segundo Tijolaje (2014) , a laje pré-fabricada ou pré-moldada são compostas por placas treliçadas sendo cimbrada, armada e concretada in- loco. A pré-laje é constituída de placas pré-moldadas de concreto armado compostas por armações de treliça de aço corrugado.

As lajes treliçadas (pré-laje) são usadas de modo geral como reforço e suporte para lajes, assim descartando a necessidade da montagem de tabladros de madeira sobre os quais convencionalmente se faz a concretagem, reduzindo o consumo de fôrmas que nesse caso, são usadas apenas para o posicionamento das escora.

Vasconcelos (2012), explica que as lajes pré-fabricadas são “aquelas cujas partes constituintes são fabricadas em larga escala por indústrias. Existem diversos tipos, sendo as mais usadas as lajes com vigotas treliçadas e as com vigotas de concreto armado”. Sua vantagem assim está na dispensa do capeamento.

O concreto de capeamento tem natureza alcalina e por isso além de servir como proteção à armadura, também é elo entre a zona comprimida e a tracionada. A qualidade do concreto é fator muito importante para a resistência da laje (VASCONCELOS, 2012).

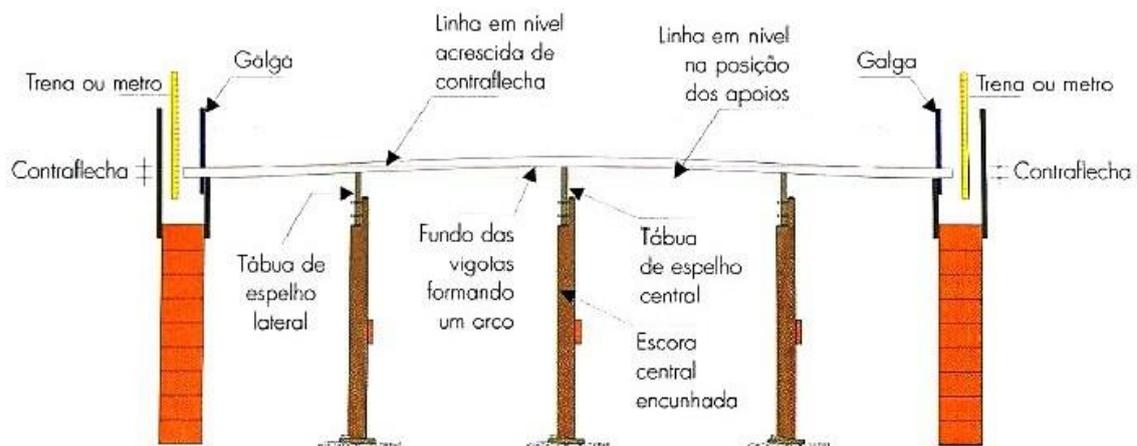
Os blocos cerâmicos também têm dimensões padronizadas, com alturas de 7, 8, 10 e 12 cm, e largura de intereixo não superior a 50 cm (VASCONCELOS, 2012). O capeamento moldado no local da obra, deverá ser uniforme e ter espessura mínima de 4 cm para lajes de piso para absorver os esforços de compressão. Para lajes de

forro o capeamento pode ter 3 cm. O concreto para confecção das vigotas e para o capeamento deverá ter um  $f_{ck}20\text{MPa}$ .

“A treliça é obtida através da passagem de fios de aço CA60 em uma máquina que dá forma às diagonais e solda por fusão estes elementos aos banzos de forma automática” (CARVALHO *et al.*, 2005).

O resultado é uma armadura treliçada pronta para a concretagem do elemento inferior de concreto (sapata), resultando em um produto mais leve e com maior ligação entre o concreto da pré-moldagem e o moldado no local (armadura transversal das diagonais da treliça). Durante a fase construtiva, é importante que a treliça esteja em um maior espaço para resistir aos esforços e concretagem, afim de ficar pronta para as escoras (CARVALHO *et al.*, 2005).

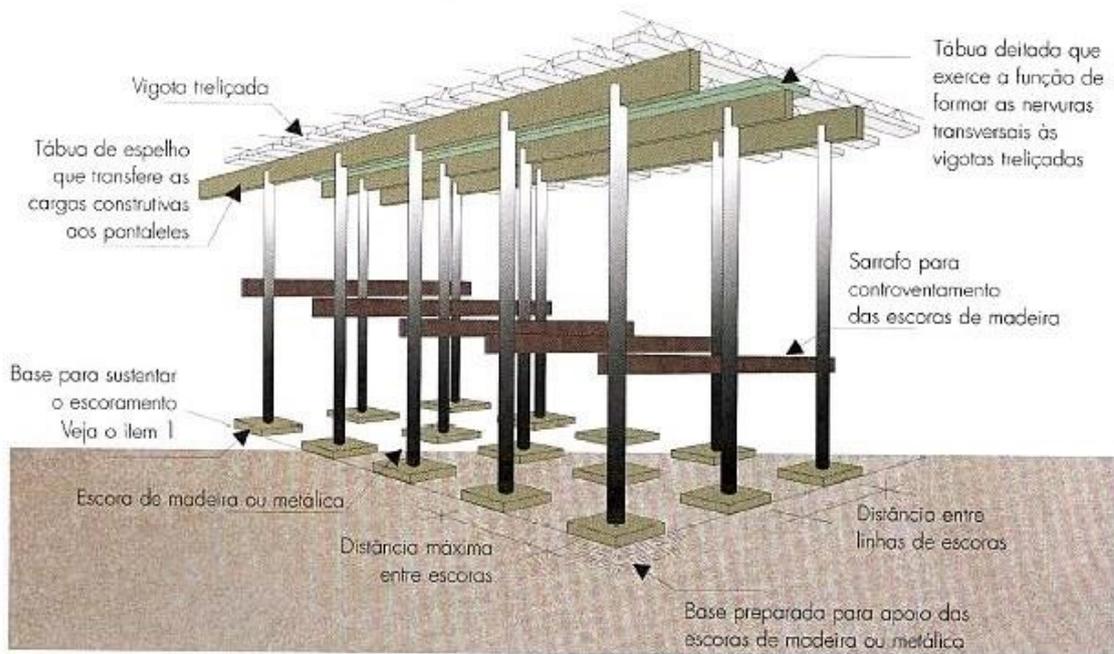
Figura 22 – Esquema da armação da laje pré-moldada



Fonte: Tijolaje, 2015

Figura 23 – Escoramento da Laje pré-moldada

A seguir, alguns detalhes importantes do processo de escoramento:



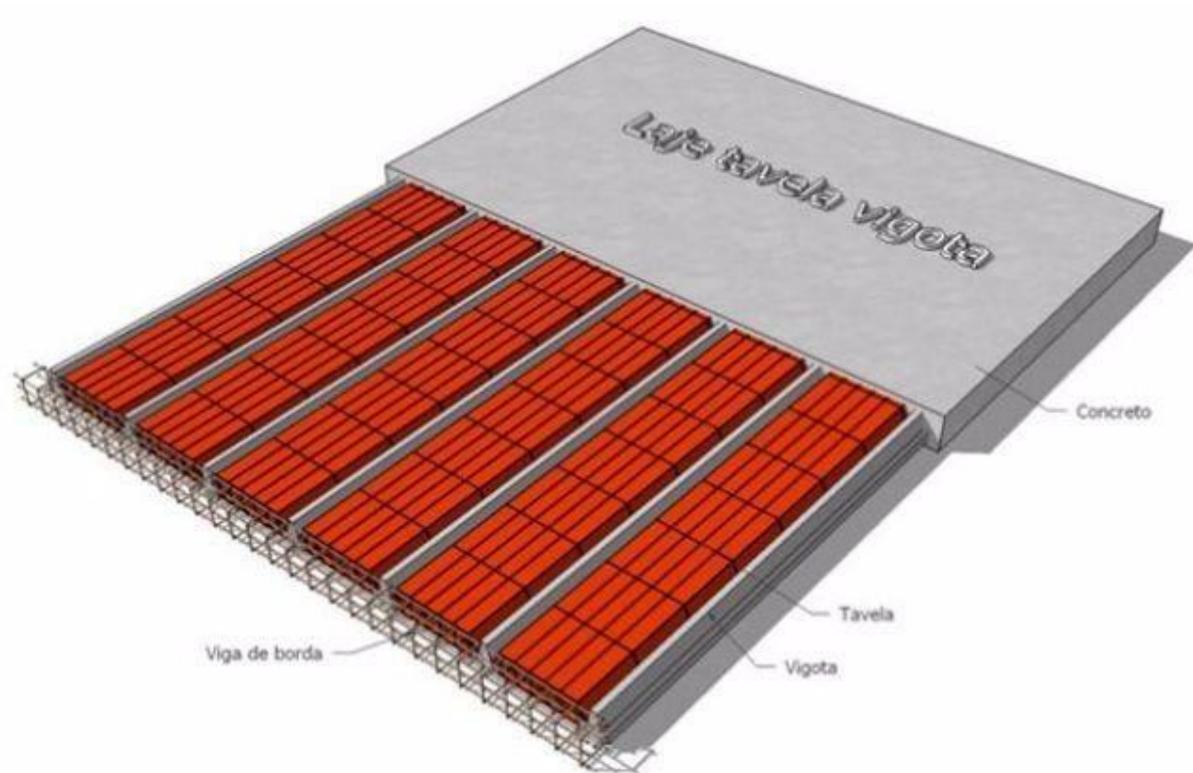
Fonte: Tijolaje, 2015

Figura 24 – Laje pré-fabricada



Fonte: Vasconcelos, 2012

Figura 25 – Esquema da Laje completa - pré-fabricada



Fonte: Vasconcelos, 2012

### 5.2.1.5 Lajes lisa e cogumelos

Segundo Meseguer, Cabre e Portero (2000), lajes cogumelo ou lisa são placas estruturais moldadas, constituídas de concreto armado, isoladas ou não. Assim não havendo dessa maneira existência de viga de apoio. São também conhecidas como lajes puncionadas. Sua armadura é basicamente radial, concentrando suas taxas de reações sobre os apoios ou regiões puncionadas. São consideradas lajes cogumeloas lajes contínuas apoiadas em pilares ou suportes de concreto.

Na evolução das lajes, ao perderem o uso desses pilares ou capitéis passam a ser denominadas de lajes lisas (*Flat plate ou Flachplatte*) (DRB, 2014). Mello (2005) fala que a laje lisa sempre foi um anseio na construção civil por causa de suas vantagens: maior racionalização, melhor condição estética, rapidez na execução, pois simplifica diversas etapas - produção e montagem das fôrmas, confecção das armaduras, concretagem e execução das instalações.

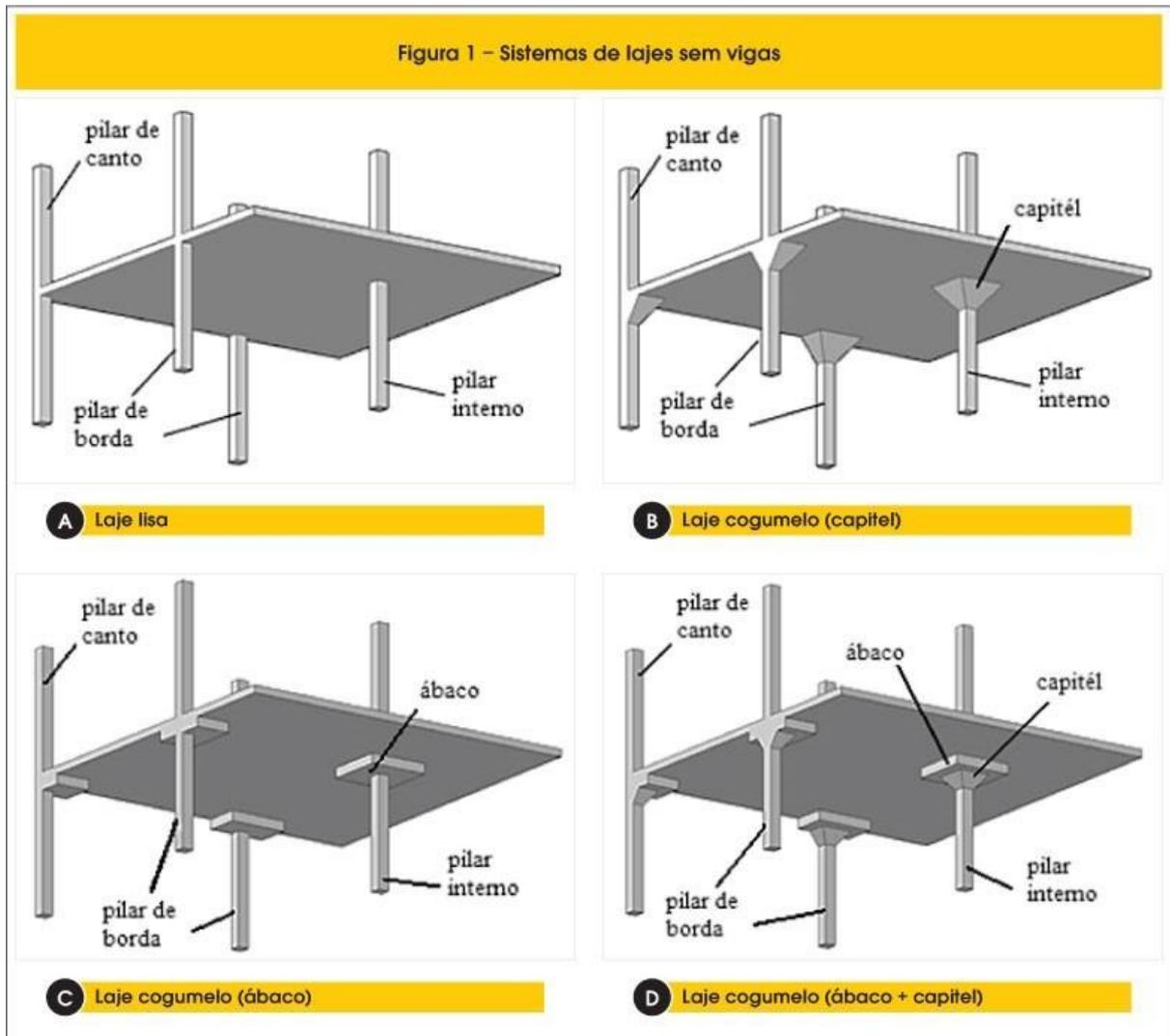
Figura 26 – Laje Lisa



Fonte: Procalc, 2015

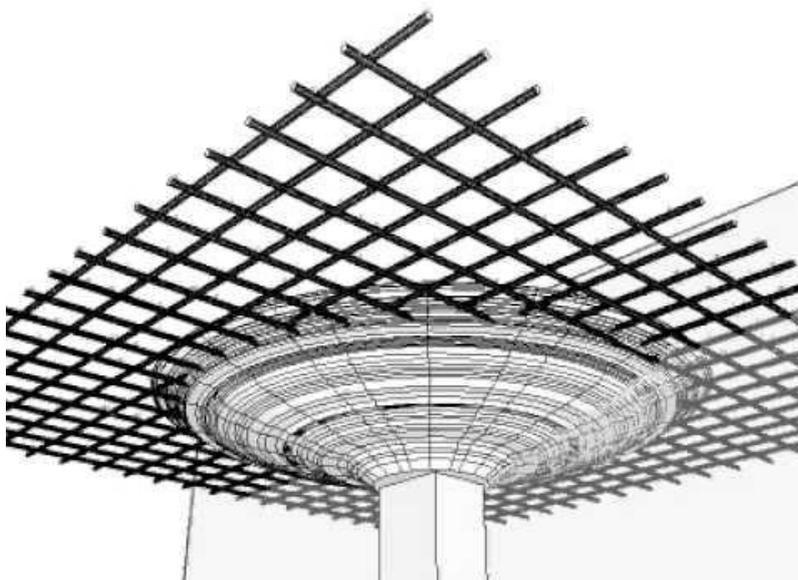
Mello (2005) registra três problemas em trabalhar com lajes planas advindos da ausência das vigas: punção da laje pelo pilar, deslocamentos transversais excessivos das lajes e pequena rigidez às ações laterais.

Figura 27 – Exemplos de lajes sem vigas



Fonte: Ibracon, 2013

Figura 28 – Laje Cogumelo



Fonte: Vasconcelos, 2012

Conforme explica Schmid (2009) a laje plana lisa é plana e realmente lisa, não se admitindo capitéis - *column heads*, nem tampouco engrossamentos da laje - *drops at column heads*.

#### 5.2.1.6 Lajes Alveolares

De acordo com a NBR 14861 (ABNT, 2002), painel alveolar protendido é formado por um conjunto de painéis alveolares protendidos, pré-fabricados, montados por justaposição lateral, eventual capa de concreto estrutural e material de rejuntamento. Ainda segundo essa norma, esses painéis são peças de concreto produzidas industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob rigorosas condições de controle de qualidade, conforme a NBR 9062 (ABNT, 2001).

São caracterizados por armadura longitudinal ativa e seção alveolar, definindo almas de concreto. Englobam totalmente a armadura inferior de tração necessária; o cobrimento da armadura deve obedecer ao prescrito na ABNT NBR 9062. Exemplo da laje alveolar na figura 29.

Figura 29 – Painel Alveolar



Fonte: NBR 14861, 2002

Segundo Ferreira (1999), a industrialização da construção traz consigo algumas transformações na concepção do produto, como a modulação e a padronização de elementos típicos como pilares, vigas e lajes. O projetista pode selecionar o comprimento, dimensões e capacidades de carga, dentro de certos limites, com o auxílio de informações encontradas em catálogos de fabricantes. A modulação e a padronização, também, reduzem o custo das peças pré-moldadas, pois há um maior reaproveitamento de fôrmas, e, devido à grande experiência adquirida na execução, uma maior produtividade.

O painel alveolar é constituído de concreto, possui seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, com intenção principal de reduzir o peso da peça. Esses alvéolos podem ter formas variadas como circular, oval, retangular etc. Os painéis podem ser utilizados junto a uma capa de concreto moldada no local, formando uma seção composta (DEBS, 2000).

As lajes alveolares são encontradas tanto em concreto armado quanto em concreto protendido, e embora possa ser produzido por formas fixas, esse tipo de elemento é normalmente fabricado por extrusão ou por fôrmas deslizantes, em pistas de concretagem. Neste caso, os painéis são produzidos no comprimento da pista e posteriormente serrados no tamanho desejado Ferreira (1999).

Segundo Debs (2000), esse tipo de elemento tem capacidade para vencer grandes vãos, variando de 5 a 20 m. Possui normalmente largura de 1,20 m, mas pode variar de 1,0 a 2,5 m. As alturas variam normalmente de 15 a 30 cm, embora possam atingir valores de 50 cm.

Os painéis alveolares podem ser empregados tanto em lajes, quanto em paredes. No caso de laje, o painel pode receber uma capa de concreto, formando uma

seção composta, e no caso de parede o painel pode receber uma camada adicional, formando um painel sanduíche Debs (2000).

Ainda de acordo com ABNT 14861 (ABNT, 2002), iremos expor os requisitos gerais e específicos para esse tipo de laje, de acordo com a norma técnica vigente.

#### 5.2.1.6.1 *Requisitos Gerais para lajes alveolares*

- Concreto:

O concreto que compõe os PACP e o concreto complementar devem atender às especificações das NBR 6118, NBR 8953, NBR 12654 e NBR 12655. A resistência característica à compressão deve ser a especificada pelo projeto estrutural, sendo exigidas no mínimo classes C25 para os PACP e C20 para o concreto complementar. No caso da execução concomitante do concreto complementar e do concreto da estrutura, prevalece o de classe mais alta especificado no projeto. O concreto das classes C25 e C20 corresponde às resistências características à compressão aos 28 dias, de 25 MPa e 20 MPa, respectivamente.

- Aço:

O aço para fins de utilização em lajes pré-fabricadas deve atender ao disposto no quadro 4.

Quadro 4 - Aço para utilização em lajes tipo painel alveolar protendidos - Dimensões em milímetros

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo
Barras/Fio de aço CA50/CA60	NBR 7480	6,3 (CA 50) 5,0 (CA 60)
Telas de aço eletrossoldadas	NBR 7481	3,4
Fios de aço para protensão	NBR 7482	3,0
Cordoalhas de aço para protensão	NBR 7483	3 x 3,0

Fonte: NBR 14861, 2002

- PACP:

Os PACP devem apresentar cor homogênea, ser livres de falhas no concreto e possuir dimensões em conformidade com as especificações do projeto de fabricação do fornecedor.

- Montagem:

A montagem dos elementos pré-fabricados deve obedecer ao disposto no projeto de execução da laje e no manual de colocação e montagem da laje, quanto ao arranjo físico e às especificações dos PACP. Devem ser executados:

- a) O nivelamento dos apoios, dentro das tolerâncias de montagem especificadas;
- b) A colocação das armaduras previstas no projeto;
- c) A instalação de passadiços, quando necessários para o trânsito de pessoal e transporte de concreto;
- d) Lançamento, adensamento e cura do concreto complementar.

#### 5.2.1.6.2 *Requisitos Específicos para as lajes alveolares*

- Projetos da laje:

O projeto da laje elaborado por profissionais habilitados é composto por três partes distintas, a saber:

- a) Projeto estrutural da laje;
- b) Projeto de execução da laje;
- c) Manual de colocação e montagem.

- Projeto estrutural da laje:

O cálculo e o dimensionamento das lajes (vãos, cargas, dimensões, armaduras e materiais complementares) devem ser elaborados de acordo com as NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 9062 (ABNT, 2001), NBR 7197 (ABNT, 1989) e projetos da obra. Especial atenção deve respeitar os limites prescritos pela NBR 9062 (ABNT, 2001).

O cálculo e o dimensionamento das lajes, apresentados sob a forma de memorial de cálculo, considerando as premissas de projeto e os resultados, devem conter:

- a) Direção dos PACP;
- b) Vinculação de apoios;
- c) Vãos;

- d) Cargas consideradas, conforme 3.4;
- e) Resistências características dos materiais;
- f) Classe de resistência do concreto complementar;
- g) Características do rejuntamento;
- h) Momento máximo resistente;
- i) Detalhamento de apoio e ancoragem dos PACP;
- j) Dimensões e posicionamento das armaduras complementares;
- k) Análise e detalhamento das aberturas de qualquer amplitude na laje, quando couber.

- Projeto de execução da laje:

Documento que deve obrigatoriamente acompanhar a entrega do produto e contemplar o seguinte:

- a) Quantidade, disposição, vãos e direção de apoios dos PACP;
- b) Quantidade, especificação e disposição das armaduras;
- c) Especificação do concreto e aços complementares;
- d) Previsão de consumo de concreto e aço complementar por metro quadrado da laje;
- e) Altura do PACP;
- f) Altura total da laje;
- g) Espessura e ponto de medição (meio do vão ou apoios) da capa de concreto complementar;
- h) Cargas consideradas, conforme 3.4;
- i) Detalhamento de apoios e ancoragem dos PACP.
- j) Especificação de execução do rejuntamento;
- k) Análise e detalhamento das aberturas de qualquer amplitude na laje, quando couber.

- Manua de colocação e montagem:

Documento que deve conter as informações que orientem a execução do projeto da laje na obra, complementado pelo documento especificado em 5.1.2. Recomendações especiais devem ser feitas quanto às interferências das instalações hidráulicas, elétricas e de utilidades em geral com a estrutura da laje.

- Capa:

Deve ser considerada como parte resistente se sua espessura for no mínimo igual a 3,0 cm. No caso da existência de tubulações, a espessura mínima da capa de compressão acima destas deve ser de no mínimo 2,0 cm, complementada quando necessário, com armadura adequada à perda da seção resistente. Deve atender ao prescrito na NBR 9062 (ABNT, 2001) quanto aos cuidados com a execução.

- Armadura de distribuição:

Deve haver uma armadura de distribuição em ambas as direções, colocada na capa de concreto complementar, com seção de no mínimo 0,9 cm<sup>2</sup>/m para os aços CA 25 e de 0,6 cm<sup>2</sup>/m para os aços CA 50 e CA 60, contendo pelo menos três barras por metro, conforme o descrito no quadro 5.

Quadro 5 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição

Aço	Área mínima	Número de barras/m	
		φ 5,0 mm	φ 6,3 mm
CA 25	0,9 cm <sup>2</sup> /m	5	3
CA 50, CA 60, Tela Soldada	0,6 cm <sup>2</sup> /m	3	3

Fonte: NBR 14861, 2002

- Marcação:

Todos os PACP devem ter marcação que identifique o fabricante e sua correlação com o projeto.

- Inspeção:

Em todas as obras, os PACP devem ser submetidos à inspeção geral pelo comprador ou seu representante, para verificação de suas características, observando-se o disposto nesta Norma e a compatibilidade das características dos componentes entregues com os especificados no projeto da laje.

O comprador pode solicitar provas de carga que demonstrem o desempenho dos PACP na fase de montagem e da laje quando colocada em serviço, de acordo com a NBR 9607.

Os PACP que não atenderem a 6.1 e 6.2 na fase de montagem devem ser substituídos pelo fornecedor. Se, quando submetido ao disposto em 6.2, a laje acabada não atender às condições mínimas estabelecidas em projeto, esta deve ser rejeitada, sendo a responsabilidade do fornecedor limitada aos componentes e especificações por ele fornecido.

#### 5.2.1.7 Lajes Steel Deck

De acordo com Perfilor (2015), A laje Steel Deck é composta por uma capa de concreto e uma fôrma de aço colaborante. A fôrma de aço é também utilizada como armadura da estrutura, a qual é responsável por resistir esforços de tração. Observa-se a existência de ranhuras e pinos de ligação na fôrma, que proporcionam maior aderência entre os materiais.

Conforme Perfilor (2015), o perfil de aço da laje Steel deck é obtido através da perfilação à frio de uma chapa de aço galvanizada e sobre sua superfície são conformadas reentrâncias denominadas mossas, que transmitem os esforços de cisalhamento longitudinal, limitando o deslizamento entre a chapa de aço e o concreto, desta forma, o sistema construtivo se torna muito mais rígido e resistente. Normalmente o perfil é fabricado com espessuras de chapas que variam de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm, possuindo uma largura útil de 840 mm e comprimento 2,5 m à 12 m.

O dimensionamento de lajes mistas é feito em duas etapas:

- Fase construtiva: quando a chapa trabalha como elemento resistente, às vezes com escoramentos intermediários;
- Fase de serviço: quando os dois materiais se juntam resistindo de forma solidária os esforços externos.

Perfilor (2015), destaca as seguintes vantagens da utilização de lajes mistas:

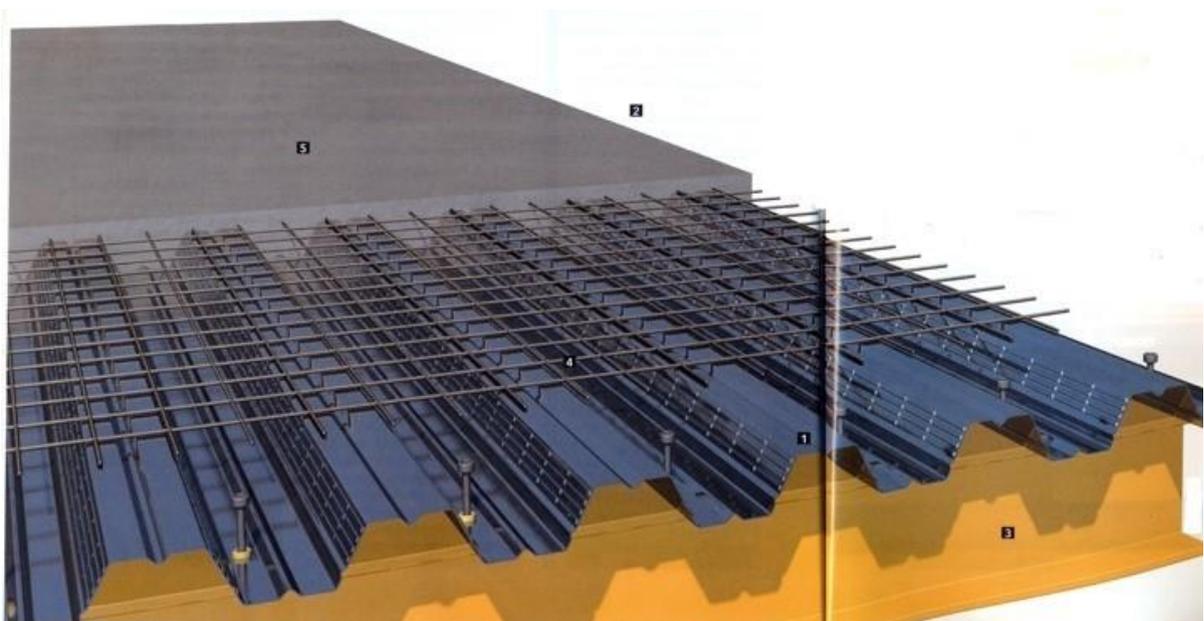
- Utilização de chapas de aço como fôrma e armadura positiva, eliminando em parte ou totalmente a necessidade de escoramentos para a execução das lajes, diminuindo muito a necessidades de mão de obra;
- Servem de plataforma de trabalho durante a execução;

- Redução na duração da obra quando o escoramento não é necessário, pois a execução das lajes não é mais condicionada ao tempo de endurecimento do piso de concreto, para que estas funcionem como suporte;
- As chapas de aço proporcionam uma superfície que, dependendo da localização, poderá servir de forro, dispensando qualquer outro tipo de acabamento.

Perfilor (2015), cita também algumas limitações para o uso deste tipo de laje:

- Eventual necessidade de colocação de armaduras adicionais para satisfazer a legislação em vigor relativa à resistência ao fogo em edificações, ou através da aplicação de um forro suspenso, ou da pulverização de fibras isolantes na face inferior da laje;
- Em pavimentos onde ocorre interferência na união entre a fôrma de aço / concreto devido às cargas dinâmicas. A armadura de aço colocada na parte superior da laje ao longo dos vãos da fôrma deve ser prevista;
- Aditivos para aceleração do processo de cura do concreto à base de cloretos devem ser evitados, pois eles atacam a galvanização das chapas de aço;
- Em regiões onde pode haver presença de sais clorados trazidos pelo vento em áreas costeiras, as chapas de aço servem apenas de fôrma e as armaduras de reforço são necessárias.

Figura 30 – Laje Steel Deck



### 5.2.1.8 Lajes lisa vs Laje BubbleDeck

O objetivo da comparação entre a laje lisa e a laje BubbleDeck DB230, está em comparar as taxas de concreto para realizar a melhor opção apropriada, baseando-se numa solução qualitativa e portanto mais adequada para especificações do projeto apresentado.

No que tange ao volume de concreto utilizado, segundo Silva (2011), explica-se que a laje BubbleDeck DB230, pode gerar uma economia de 18% em relação a laje lisa de 18 cm. E de 32% em relação a laje de 23 cm. Na tabela 2 encontram-se os valores comparados de volume de concreto e flecha máxima utilizadas no teste.

Tabela 2 – Comparativo de volume de concreto e flechas máximas

	<b>Volume de concreto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Flecha máxima (cm)</b>
<b>BubbleDeck</b>	10,08	2,22
<b>Lisa 18 cm</b>	12,24	4,05
<b>Lisa 23 cm</b>	14,72	2,84

Fonte: Silva, 2011

Na tabela 3 são fornecidos um comparativo de taxas de armadura e esforços máximos para cada tipo de laje, com os esforços dimensionantes entre parênteses.

Tabela 3 – Comparativo de taxas de armadura e esforços máximos

	<b>Armadura inferior do painel</b>	<b>Armadura superior entre painéis</b>	<b>Armadura superior sobre os pilares</b>	<b>Armadura de punção</b>
<b>Laje Bubble-Deck</b>	0,304% (55kN.m/m)	0,219% (41kN.m/m)	0,97% (160kN.m/m)	0,00% (715kN)
<b>Laje Lisa 18 cm</b>	0,546% (56kN.m/m)	0436% (43kN.m/m)	2,254% (170kN.m/m)	0,175% (754kN)
<b>Laje Lisa 23 cm</b>	0427% (71kN.m/m)	0341% (58kN.m/m)	1,366% (197kN.m/m)	0,146% (888kN)

Fonte: Silva, 2011

De acordo com o observado na tabela 3, a laje BubbleDeck pode resultar em um menor consumo de aço, menor consumo de concreto e menor flecha máxima. Diante desses resultados fica então descartado o uso da laje lisa de 18 cm. Se faz importante a comparação de uma laje e outra devido a facilidade da tecnologia BubbleDeck adaptar-se a norma brasileira, tornando-se de fácil dimensionamento demonstrando facilidade construtiva, não descartando diversas formas na execução do projeto.

No que tange ao consumo financeiro, tal tecnologia se faz mais uma vez viável, pois apresenta um custo menor e quanto a responsabilidade ambiental na reciclagem do plástico do meio ambiente. De acordo ainda com Silva (2011) as lajes BubbleDeck se mostram bastante vantajosa, no aspecto financeiro, estrutural e conforto aos usuários.

## **6 ESTUDO DE CASO – A UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BUBBLEDECK PARA AMPLIAÇÃO DO EDIFÍCIO GARAGEM DO AEROPORTO INTERNACIONAL ANTÔNIO CARLOS JOBIM – GALEÃO/ RJ**

As obras de Ampliação do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim – Galeão estão sendo realizadas pelo CONSÓRCIO CONSTRUTOR GALEÃO (CCG), formado pelas empresas Construtora Norberto Odebrecht S/A e MPE Engenharia e Serviços S/A, de acordo com a figura 31.

Uma destas obras consiste na ampliação do Edifício Garagem do Terminal 02, o qual ganhou quatro pisos que foram construídos sobre duas lajes executadas utilizando-se o sistema estrutural Estrutura Metálica / Steel Deck.

Durante a construção, o estacionamento se manteve com dois terços de sua capacidade em pleno funcionamento, o que levou o planejamento a focar em ações que deveriam garantir:

- A segurança dos usuários do estacionamento;
- Possibilitar à Concessionária a utilização do maior número de vagas possível;
- Os prazos e custos previstos na proposta.

Por se tratar de uma ampliação de uma estrutura existente, a premissa inicial foi adotar os mesmos critérios do projeto original, ou seja, estrutura metálica. Recebidos os primeiros projetos, observou-se que face aos grandes vãos entre pilares (16m), a estrutura metálica projetada, além de perfis de mercado, se compunha em grande parte, de peças usinadas, o que impactava significativamente nos custos e prazos previstos. Adicionalmente, por questões normativas, seria necessário proteger a estrutura com pintura intumescente ou técnica similar, que representaria um acréscimo significativo no custo da estrutura.

Motivados pela questão da transversalidade, chegaram ao Sistema Bubble-Deck (BBD), uma tecnologia dinamarquesa que foi aplicada em outras duas obras da Odebrecht, a primeira em uma laje experimental na sede da Construtora em Salvador e a segunda no Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF.

Figura 31 – Edifício Garagem (EDG) – TPS2 – Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim



Fonte: Autor, 2015

## 6.1 Estudo Decisivo

### 6.1.1 Situação Existente

Conforme mencionado anteriormente, por se tratar de uma ampliação, a solução já estava pré-definida, onde naturalmente se daria seguimento ao mesmo método utilizado no projeto original, que era composto por uma estrutura de vigas principais e intermediárias em perfis metálicos e laje Steel Deck, com pilares em concreto moldado no local.

Este sistema já está difundido e com aceitação no mercado brasileiro e é uma tecnologia de pleno domínio de todas as áreas de projeto e construção. Porém, durante a fase de projeto e contratação da estrutura metálica, foi observado, que os custos reais para fornecimento e montagem das estruturas, além dos valores da pintura de proteção contra incêndio, seriam significativamente superiores ao custo previsto para a obra. Assim, fez-se necessária a busca de outras soluções no mercado, que proporcionasse em desempenho e velocidade previstos, mas com redução dos custos.

O uso de um sistema convencional moldado “in loco” não atenderia o prazo. Já o uso de peças pré-fabricadas de concreto, resultaria em problemas como içamento e lançamento dos elementos, pois demandaria equipamentos de grande capacidade, com impacto no funcionamento do estacionamento. Foi então, aproveitando a experiência obtida na obra do Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF, que levantou-se a possibilidade do uso da Tecnologia BubbleDeck.

Avançando os estudos, foi possível verificar que a solução se enquadrava dentro das necessidades técnicas deste projeto e apresentava uma redução de custo, ganho de produtividade, velocidade de execução, devido a industrialização do processo, além da redução no consumo de materiais (principalmente concreto) e consequente-

mente diminuição na emissão de CO<sub>2</sub>.

### 6.1.2 Decisões e Ações Incorporadas

A Tecnologia BubbleDeck é um sistema construtivo de origem dinamarquesa composto por esferas plásticas inseridas uniformemente entre duas armaduras que “ocupam” a zona de concreto que pode ser retirado sem prejudicar o desempenho estrutural. Assim, pode-se reduzir entre 25% e 35% o peso próprio da laje, quando comparado como sistema convencional, melhorando com isso a aplicação de cargas permanentes elevadas e grandes vãos.

Após as análises do vasto banco de dados disponibilizado pela obra de Brasília, foram identificados algumas diferenças em relação a operacionalização do sistema.

Após a comprovação dos custos e a identificação de uma tecnologia que poderia substituir a metodologia estrutural existente, no âmbito técnico, econômico e logístico, iniciou-se o planejamento detalhado para a aplicação da tecnologia BubbleDeck.

O tipo de laje BubbleDeck dimensionada, capaz de vencer os 16 metros de vão, demandava esferas de 360 mm. Com isso, houve a necessidade de um apoio de uma empresa especializada na confecção das esferas, visando a capacidade de produzirem 180.000 esferas necessárias ao projeto, com capacidade técnica e de fornecimento, possibilitando o atendimento do cronograma.

Outros insumos não apresentaram necessidade de desenvolvimento de mercado, como ocorreu no CADF. Tomou-se como base o traço de concreto adotado naquela obra, o qual foi adaptado às condições locais.

Após a consolidação das parcerias e a implantação do sistema na obra, os principais paradigmas foram quebrados, superando os índices de produtividade e insumos inicialmente previstos.

O quadro 6 apresenta a comparação entre os sistemas construtivos previsto (estrutura metálica/steel deck) e o utilizado (BubbleDeck):

Quadro 6 - Comparativo entre estrutura metálica / Steel Deck e Bubbledeck

PRINCIPAIS ITENS	ESTRUTURA METÁLICA STEEL DECK	BUBBLEDECK
Procedimento Executivo	Processo Industrializado (redução dos prazos de execução e custos indiretos)	Processo Industrializado (redução dos prazos de execução e custos indiretos)
Técnica	Acabamento inferior aparente adequado ao projeto	Acabamento inferior aparente adequado ao projeto, porém com qualidade superior a solução utilizada nas primeiras lajes (existente)
	Existência de áreas de sombra no teto, devido a necessidade do uso de vigas	Laje plana com ganho de iluminação natural. Economia de energia elétrica
	Baixo índice de retrabalhos	Baixo índice de retrabalhos
	Economia no consumo de concreto e alto índice de aço	Economia no consumo de concreto e aço
	Alto potencial de isolamento termo-acústico	Alto potencial de isolamento termo-acústico
	Necessidade normativa de aplicação de camada protetora de proteção contra incêndio	Resultado satisfatório em ensaio realizado no IPT durante a exposição de 120 minutos de incêndio, sem necessidade de proteção
	Necessidade normativa de aplicação de camada protetora de proteção contra incêndio	Resultado satisfatório em ensaio realizado no IPT durante a exposição de 120 minutos de incêndio, sem necessidade de proteção
	Necessidade de vigas principais e secundárias Vence grandes vãos	Não há necessidade de vigas Vence grandes vãos
Meio Ambiente	Eliminação de uso de madeira no assoalho, substituindo por chapa de aço	Eliminação de uso de madeira no assoalho, por uso de peça pré-moldada de concreto.
Mão de Obra	Mão de obra de propriedade de subempreiteiros especialistas na aplicação deste sistema construtivo	Uso de mão de obra disponível no mercado, com facilidade de aprendizado após capacitação.
Disponibilidade Mercado	Fabricada por qualquer empresa especializada em estrutura metálica. Diversas empresas já situadas no mercado	Fabricação por qualquer empresa especializada em pré-fabricados e aplicação direta pelo cliente ou subempreiteiros. Apesar da tecnologia estar patenteada, a empresa fornece toda Assistência Técnica para implantação, ficando todo trabalho nas mãos do cliente. Abertura de novo mercado de uso da matéria prima da Braskem (Transversalidade)

Fonte: Arquivo EDG, 2015

## 6.2 Metodologia

### 6.2.1 Descrição

A seguir, será apresentada a sequência executiva que ilustra a metodologia utilizada na fabricação das peças e aplicação em obra. Assim, estas são as etapas de fabricação do módulo (conjunto formado por telas, treliças e esferas).

**Figura 32 – Fixação das treliças na tela inferior e posicionamento das esferas**



Fonte: Autor, 2015

**Figura 33 – Limpeza, travamento e aplicação de desmoldante nas formas**



Fonte: Autor, 2015

Figura 34 – Lançamento do concreto



Fonte: Autor, 2015

Figura 35 – Introdução dos módulos no concreto



Fonte: Autor, 2015

Figura 36 – Desformando painel pré-moldado



Fonte: Autor, 2015

Figura 37 – Carregamento dos painéis



Fonte: Autor, 2015

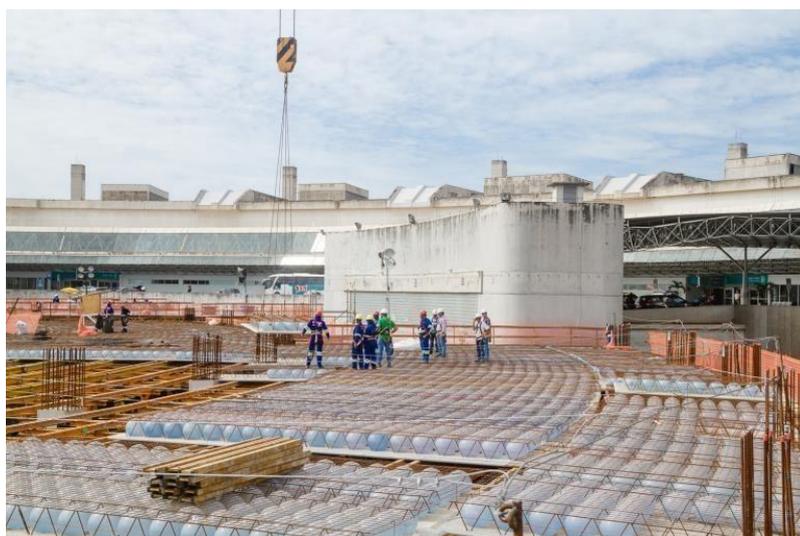
## 6.2.2 Etapas realizadas na obra

Figura 38 – Transporte e lançamento dos painéis por grua



Fonte: Autor, 2015

Figura 39 – Montagem do escoramento



Fonte: Autor, 2015

Figura 40 – Colocação da armadura complementar



Fonte: Autor, 2015

Figura 41 – Montagem das formas laterais e concretagem



Fonte: Autor, 2015

### 6.2.3 Composição das Equipes

Para a aplicação do sistema não há necessidade de mão de obra especializada, utilizando assim, profissões usuais da construção civil, como carpinteiro, armador, pedreiro e ajudante. Houve apenas um treinamento visando apresentação do sistema e pontuando os principais cuidados durante a execução.

Tabela 4 – Efetivo das equipes para aplicação do sistema

<b>TAREFA / FUNÇÃO</b>	<b>EFETIVO</b>
<b>Montagem do Escoramento</b>	13
Encarregado	1
Montador	11
Ajudante	1
<b>Montagem dos Painéis BubbleDeck</b>	7
Encarregado	1
Montador	2
Rigger	3
Ajudante	1
<b>Armação (Pilares e Laje: Capitel, Reforço, Ligação, Colapso, Punção)</b>	23
Encarregado	1
Armador	22
<b>Formas (Pilares e Laje: Fechamento Lateral e Vedação das Juntas (placas))</b>	11
Encarregado	1
Carpinteiro	10
<b>Lançamento de Concreto dos Pilares e Solidarização (Capeamento)</b>	15
Encarregado	1
Pedreiro	10
Ajudante	4
<b>Equipe de Apoio noturna</b>	26
Encarregado	2
Armador	8
Pedreiro	6
Carpinteiro	7
Ajudante	3
<b>TOTAL</b>	<b>95</b>

Fonte: Arquivo EDG

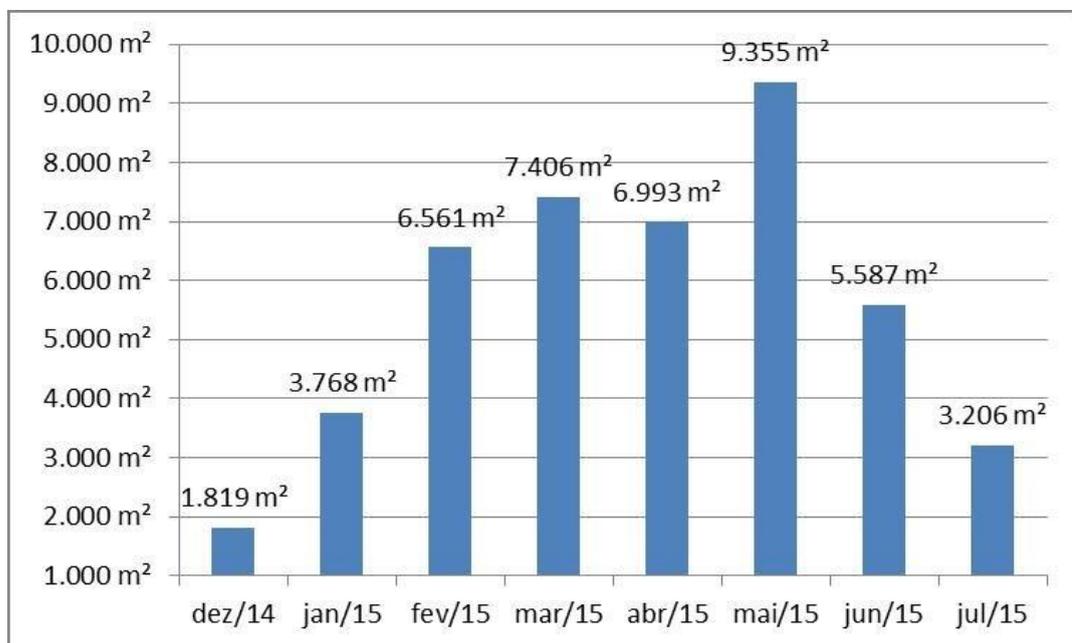
#### 6.2.4 Equipamentos, insumos e instalações envolvidas

Além dos equipamentos usuais utilizados na construção civil, como ferramentas, vibradores, serras, etc. Instalou-se uma grua Liebherr EC-280H com 75 metros de raio e capacidade de ponta de 2,8 toneladas. Com este equipamento foi possível realizar a montagem dos painéis pré- moldados, alimentação dos insumos e movimentação de pequenos equipamentos.

### 6.2.5 Produtividades alcançadas

As concretagens destas lajes BubbleDeck tiveram início no dia 22/12/2014 e os trabalhos finalizaram no dia 03/07/2015, ou seja, foram 128 dias úteis de execução chegando a um total de 44.694 m<sup>2</sup> de área construída. Neste período foi utilizado, de acordo com a relação de equipe acima, 107.008 homens-horas, atingindo uma produtividade de 2,39 HH/m<sup>2</sup> e 349 m<sup>2</sup>/dia. Inicialmente, devido a curva de aprendizado, obteve-se uma produção reduzida. No entanto, alcançou-se a média de 6.384 m<sup>2</sup>/mês, atingindo no mês de maio de 2015 a máxima de 9.355 m<sup>2</sup>, conforme apresentado na figura 42.

Figura 42 – Gráfico de área de laje concretada por mês



Fonte: Arquivo EDG, 2015

## 6.2.6 Problemas observados na fase de estudo

Quadro 7 - Problemas observados na fase de estudo

DIFICULDADES	CAUSAS	SOLUÇÕES
Solução para o escoramento das lajes BubbleDeck sem a interferência com a operação dos pavimentos inferiores do edifício garagem (térreo e 2º andar).	As lajes existentes, em Steel Deck, não apresentavam capacidade de suportar o escoramento das novas lajes. Manutenção da funcionalidade em 2/3 do estacionamento durante as obras.	Foi projetado um escoramento especial para vencer os vãos de 16m descarregando as cargas diretamente nos pilares. Para isso, foram utilizadas treliças metálicas que descarregavam em vigas metálicas projetadas para o carregamento da concretagem, levando a carga para os pilares através de consoles metálicos protendidos com sistema Dywidag. Esta primeira laje (4º piso) foi projetada com sobrecarga de 900 Kg/m <sup>2</sup> , capaz de suportar o escoramento das demais, evitando o reescoramento nos pisos térreo e segundo.
Busca de parceiros locais para fabricação das esferas de 360 mm.	Para a fabricação deste tamanho de esfera é necessário o uso de uma máquina com capacidade de sopro equivalente a 20 litros.	Envolvimento da Braskem visando buscar parceiros que apresentassem este equipamento e capacidade de produção para atendimento ao cronograma da obra.
Velocidade no fornecimento das telas.	As telas eletrosoldadas apresentavam comprimento e espaçamento diferenciado do encontrado no mercado, as quais deveriam ser cadastradas no fornecedor demandando tempo além da confecção em sua fábrica.	Fechou-se parceria com a Gerdau, a qual possibilitou a entrega em tempo hábil garantindo o cronograma da obra.
A geometria do edifício.	Devido ao formato de "ferradura", não havia a possibilidade de padronização dos tamanhos dos painéis pré-moldados.	Projetou-se peças trapezoidais com faces direcionadas ao centro da circunferência que forma o edifício, porém não foi possível reduzir o número de tipos de peças diferentes.
Traço de concreto capaz de obter resistência inicial alta para saque das peças pré-moldadas (fabricação) e módulo de deformabilidade adequado à remoção do escoramento (in loco).	Historicamente, os agregados do Rio de Janeiro não apresentam características que atenderiam a necessidade da obra.	Aprimorou-se a carta de traço utilizado no CADF, adaptando aos agregados do Rio de Janeiro e até mesmo buscando em outras regiões, chegando assim aos parâmetros especificados de resistência e módulo.

Fonte: Arquivo EDG, 2015

Quadro 8 - Continuação dos problemas observados na fase de estudo

<p>Pouco espaço físico no canteiro de obras e boa parte do estacionamento em operação.</p>	<p>Impossibilidade de fazer estoques de peças dentro da obra e dificuldade no recebimento dos materiais e equipamentos.</p>	<p>Os painéis pré-moldados eram recebidos do fabricante em uma área já definida, formando um estoque de peças. Estas foram separadas por tipo e carregadas conforme a sequência de montagem. Assim, a entrega se configurou no formato "just in time", sendo necessário apenas o espaço de uma carreta dentro do canteiro de obras. Esta mesma área foi utilizada para o posicionamento da bomba de concreto e recebimento dos demais materiais e equipamentos.</p>
<p>Na primeira concretagem, a tela superior deslocou-se durante o lançamento do concreto.</p>	<p>O empuxo provocado pelas esferas no lançamento do concreto de capeamento, levantou as telas prejudicando a espessura final da laje e o espaçamento entre esferas.</p>	<p>Inclusão de ganchos confeccionados de vergalhão durante o processo da fabricação dos painéis, travando as telas superiores no concreto da peça pré-fabricada.</p>
<p>Demora no lançamento do concreto de capeamento.</p>	<p>Devido ao alto volume de concreto do capeamento lançado em obra e dificuldade de logística e transporte, existia grande possibilidade de junta fria.</p>	<p>Utilizou-se a bomba com maior lança existente no mercado, com 63 metros de alcance, evitando assim montagens e desmontagens de linhas de concretagens. Outra ação foi o uso do Mastro de Distribuição, conhecido como "Spider", aumentando assim a velocidade de lançamento. Consequentemente, elevou-se o número de caminhões betoneira para alimentá-los.</p>
<p>Aparecimento de microfissuras na laje devido a retração.</p>	<p>O traço apresentava grande quantidade de cimento, ocasionando elevação de temperatura durante o processo químico de cura, além das altas temperaturas durante o dia.</p>	<p>Uso de "bazucas" umidificadoras durante o lançamento do concreto, resfriando o ambiente, além da adição de aditivo e fibras de polipropileno. Aumento dos cuidados durante a cura pós concretagem, com o uso de mantas e água. mesma área foi utilizada para o posicionamento da bomba de concreto e recebimento dos demais materiais e equipamentos.</p>

Fonte: Arquivo EDG, 2015

Quadro 9 - Continuação dos problemas observados na fase de estudo

Na primeira concretagem, a tela superior deslocou-se durante o lançamento do concreto.	O empuxo provocado pelas esferas no lançamento do concreto de capeamento, levantou as telas prejudicando a espessura final da laje e o espaçamento entre esferas.	Inclusão de ganchos confeccionados de vergalhão durante o processo da fabricação dos painéis, travando as telas superiores no concreto da peça pré-fabricada.
Demora no lançamento do concreto de capeamento.	Devido ao alto volume de concreto do capeamento lançado em obra e dificuldade de logística e transporte, existia grande possibilidade de junta fria.	Utilizou-se a bomba com maior lança existente no mercado, com 63 metros de alcance, evitando assim montagens e desmontagens de linhas de concretagens. Outra ação foi o uso do Mastro de Distribuição, conhecido como "Spider", aumentando assim a velocidade de lançamento. Consequentemente, elevou-se o número de caminhões betoneira para alimentá-los.
Aparecimento de microfissuras na laje devido a retração.	O traço apresentava grande quantidade de cimento, ocasionando elevação de temperatura durante o processo químico de cura, além das altas temperaturas durante o dia.	Uso de "bazucas" umidificadoras durante o lançamento do concreto, resfriando o ambiente, além da adição de aditivo e fibras de polipropileno. Aumento dos cuidados durante a cura pós concretagem, com o uso de mantas e água.
Dificuldade na montagem dos painéis pré-moldados	Devido a geometria dos painéis (trapezoidal) e do edifício em forma de semi-círculo, havia dificuldade no alinhamento durante o lançamento das peças.	Marcação topográfica dos eixos dos pilares e definição da sequência de montagem possibilitando o lançamento das peças adjacentes referenciadas.

Fonte: Arquivo EDG, 2015

### 6.2.7 Fase de implantação

- Problemas observados na fase de implantação:

Na primeira concretagem, a tela superior deslocou-se durante o lançamento do concreto. O empuxo provocado pelas esferas no lançamento do concreto de capeamento, levantou as telas prejudicando a espessura final da laje e o espaçamento entre esferas. Inclusão de ganchos confeccionados de vergalhão durante o processo da fabricação dos painéis, travando as telas superiores no concreto da peça pré-fabricada.

A demora no lançamento do concreto de capeamento, devido ao alto volume

de concreto do capeamento lançado em obra e dificuldade de logística e transporte, existia grande possibilidade de junta fria. Utilizou-se a bomba com maior lança existente no mercado, com 63 metros de alcance, evitando assim montagens e desmontagens de linhas de concretagens. Outra ação foi o uso do Mastro de Distribuição, conhecido como “Spider”, aumentando assim a velocidade de lançamento. Conseqüentemente, elevou-se o número de caminhões betoneira para alimentá-los.

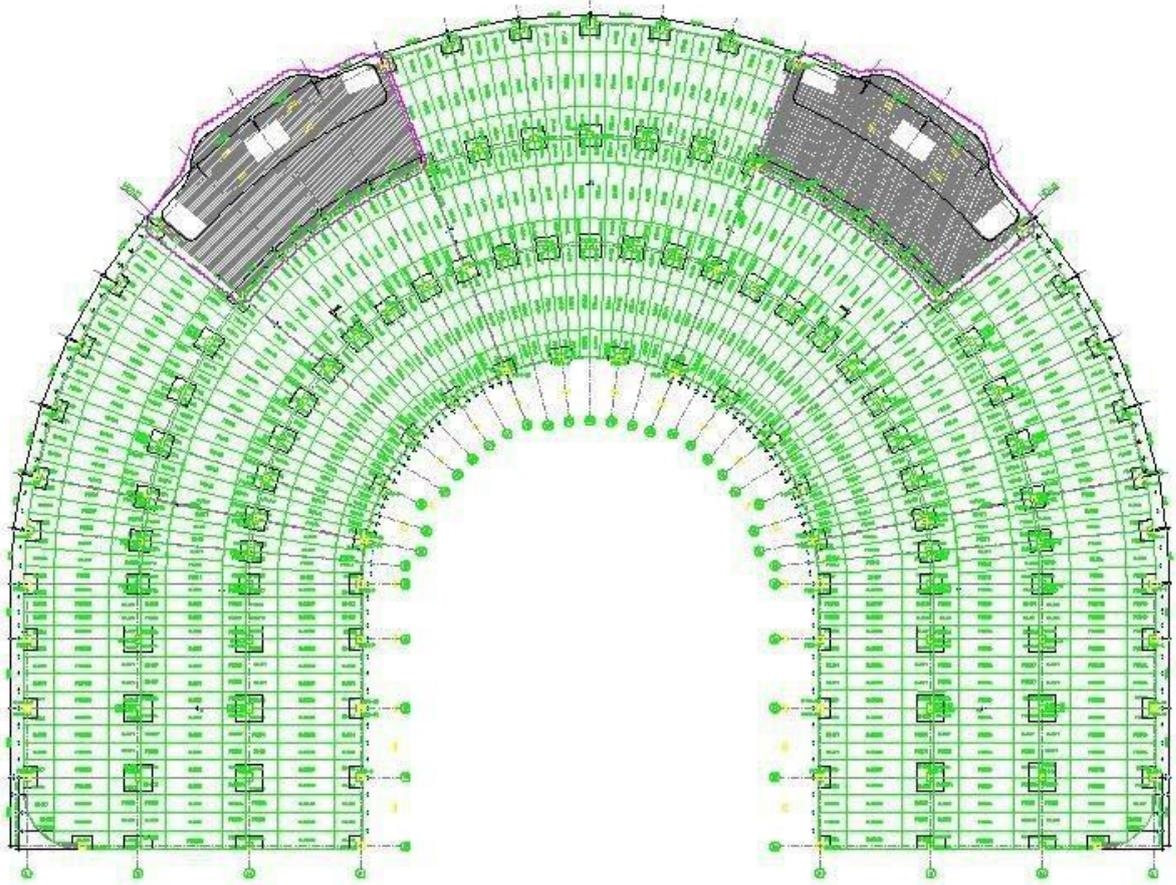
O aparecimento de micro fissuras na laje devido a retração. O traço apresentava grande quantidade de cimento, ocasionando elevação de temperatura durante o processo químico de cura, além das altas temperaturas durante o dia. Uso de “bazucas” umidificadoras durante o lançamento do concreto, resfriando o ambiente, além da adição de aditivo e fibras de polipropileno. Aumento dos cuidados durante a cura pós concretagem, com o uso de mantas e água.

Dificuldade na montagem dos painéis pré-moldados, devido à geometria dos painéis (trapezoidal) e do edifício em forma de semi- círculo, havia dificuldade no alinhamento durante o lançamento das peças. Marcação topográfica dos eixos dos pilares e definição da sequência de montagem possibilitando o lançamento das peças adjacentes referenciadas.

#### 6.2.8 Desenhos

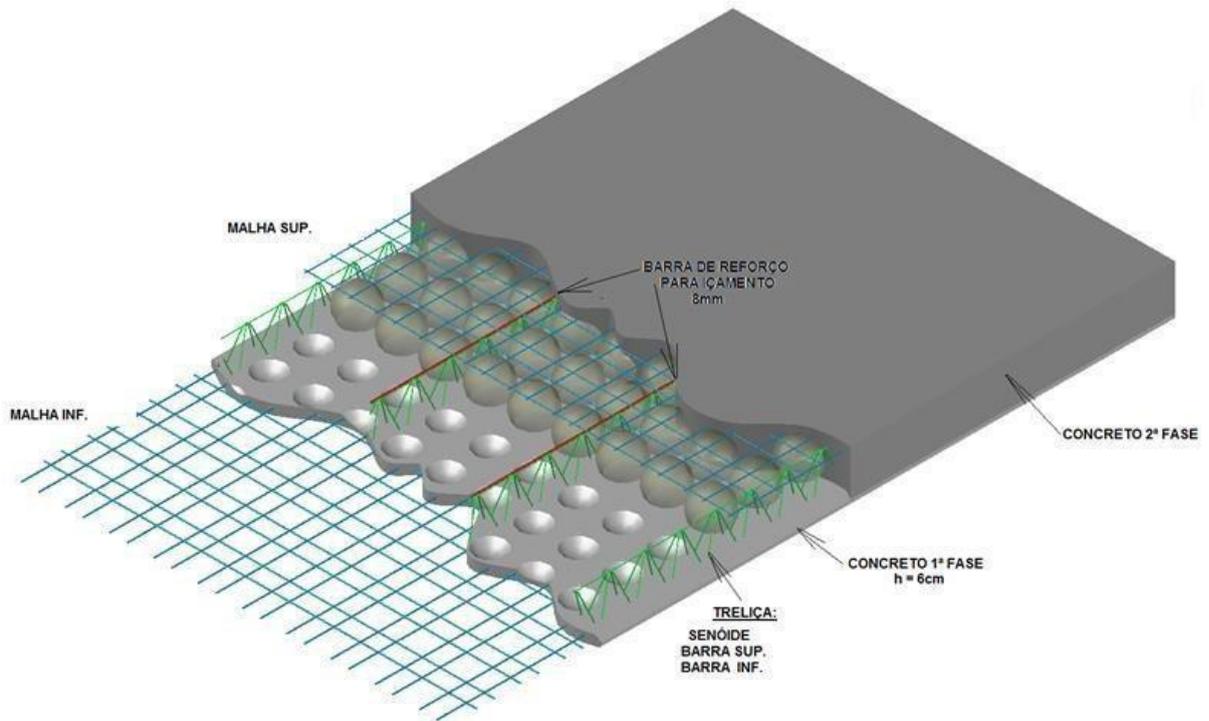
Foram aplicados 958 painéis pré-moldados por pavimento, totalizando 3.832 peças, com 96 tipos de peças diferentes com relação a geometria e recortes para encaixe dos pilares e vazios de *shafts*.

Figura 43 – Arranjo dos Painéis de BubbleDeck



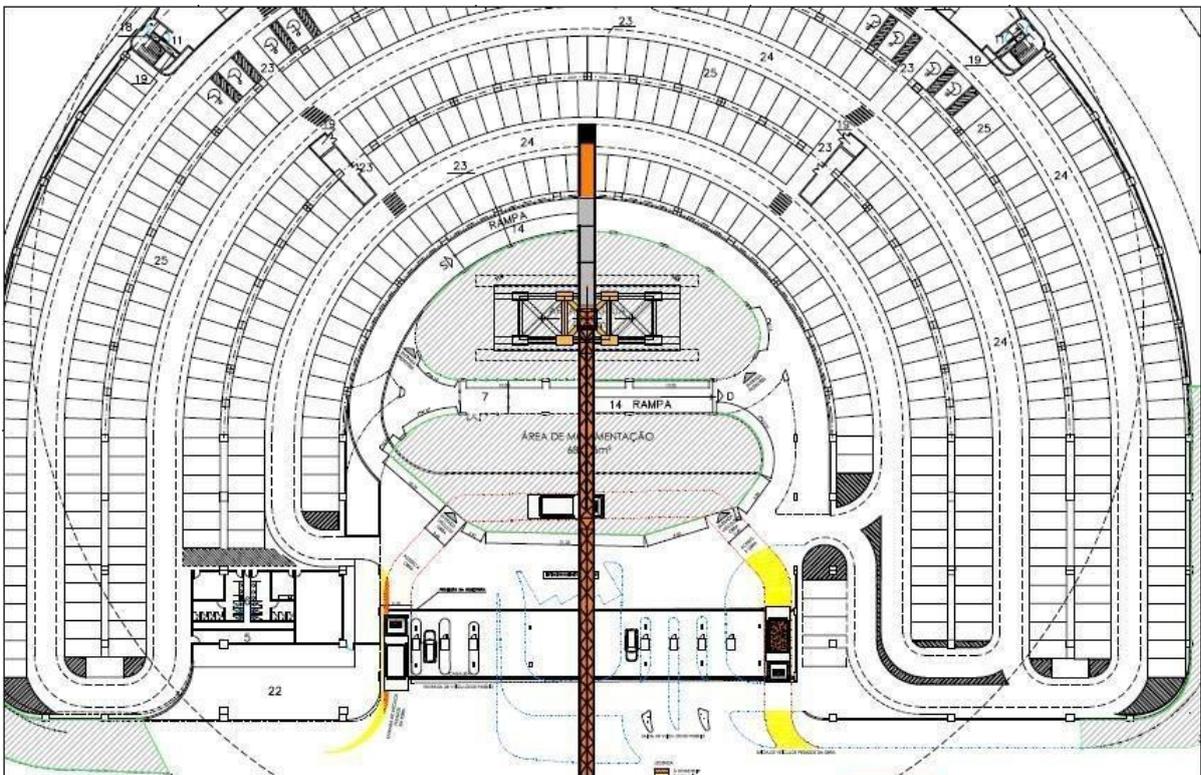
Fonte: Autor, 2015

Figura 44 – Detalhe Esquemático dos Painéis de BubbleDeck



Fonte: Autor, 2015

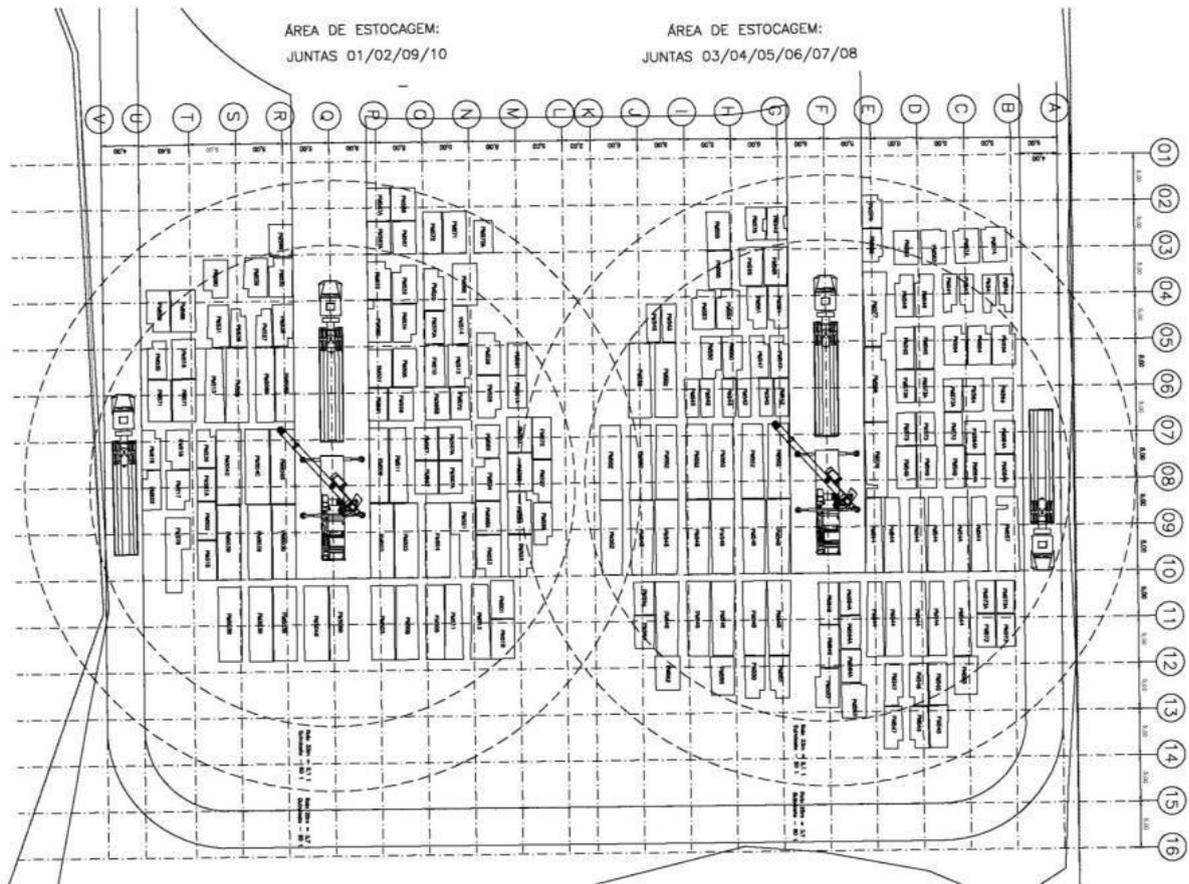
Figura 45 – Layout do Canteiro



Fonte: Autor, 2015

O estoque de peças ficou localizado no canteiro Industrial da obra, disposto em pilhas de 6 peças separadas por tipo e posicionadas de tal maneira que um guindaste pudesse descarregar e carregar sem se mover. Estas peças estavam estocadas considerando as juntas de concretagem.

Figura 46 – Layout da estocagem de peças



Fonte: Autor, 2015

### 6.2.9 Dimensionamento das esferas BubbleDeck

Segundo Parcianello (2014) a BubbleDeck é usualmente dimensionada com métodos convencionais para lajes maciças, de acordo com a norma alemã DIN 1045 (2001) para construções em concreto armado. Além disso, a solução com lajes Bubbledeck também se encontra em normas de padronização como a norma britânica EN 13747 (2005).

Esta tecnologia não possui restrições quanto a sua aplicabilidade, sendo utilizada em qualquer projeto de laje maciça, sendo uma possível solução no que tange custos efetivos da obra e resultados positivos na execução.

Os diâmetros padronizados das esferas e alguns valores relacionados a cada esfera são apresentados na (Tabela 5). Dependendo do número de esferas

projetadas por metro quadrado tanto a capacidade de redução de carga quanto os intereixos das esferas podem variar.

Tabela 5 – Especificações Técnicas

<b>Diâmetro da esfera [cm]</b>	18	22,5	27	31,5	36	40,5	45
<b>Mínimo intereixos das esferas [cm]</b>	20	25	30	35	40	45	50
<b>Máximo número de esferas [1/m<sup>2</sup>]</b>	25	16	11,11	8,16	6,25	4,94	4
<b>Espessura mínima da laje [cm]</b>	23	28	34	40	45	52	58
<b>Redução de carga por esfera [KN]</b>	0,08	0,15	0,26	0,41	0,61	0,87	1,19
<b>Red. máxima de carga / m<sup>2</sup> [KN/m<sup>2</sup>]</b>	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82	4,29	4,77
<b>Fator para rigidez [-]</b>	0,88	0,87	0,87	0,88	0,87	0,88	0,88
<b>Fator para cortante [-]</b>	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fonte: BubbleDeck Internacional, 2013

Para escolher o tipo de laje Bubbledeck os vãos são determinados pela limitação das flechas, a razão entre o menor comprimento (L) do vão e a espessura (h) da laje (L/d) determinam os vãos máximos utilizados. O fabricante sugere, em seu manual, para os vãos diferentes às seguintes razões de Ld/d:

- i) L/d 30 - vãos simples;
- ii) L/d 39 - vãos contínuos;
- iii) L/d 10,5 - balanço.

A espessura padronizada das lajes BubbleDeck e sua carga permanente equivalente.

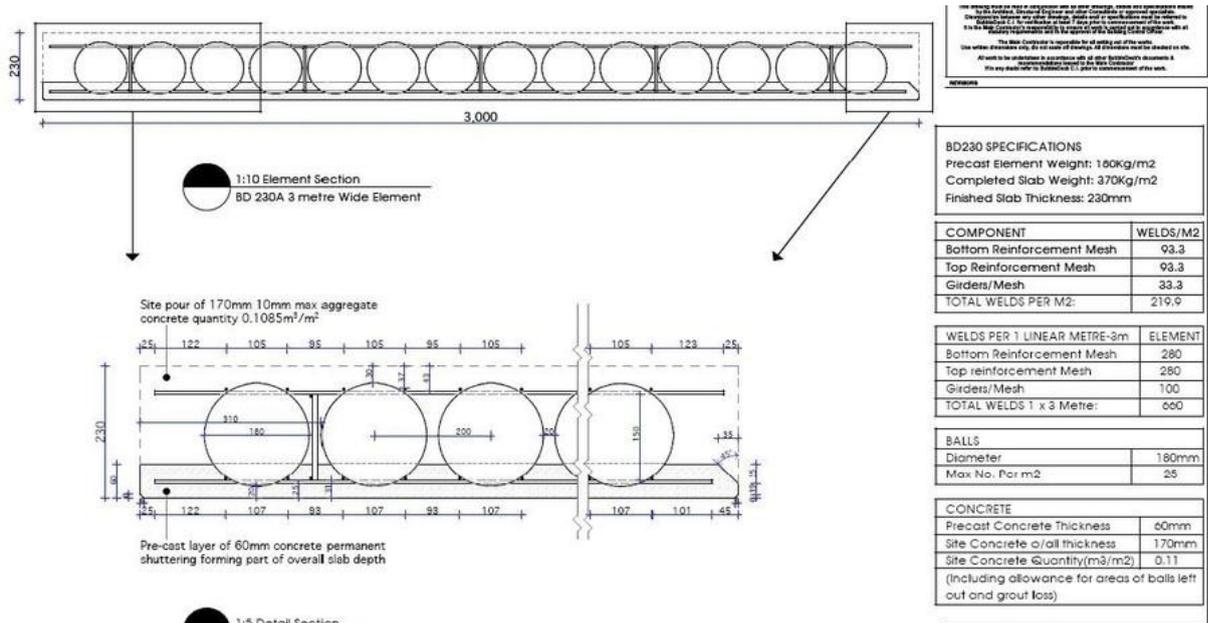
Tabela 6 – Vão usuais e sua carga permanente equivalente

<b>Tipo</b>	<b>Espessura da laje [mm]</b>	<b>Diâmetro da esferas [mm]</b>	<b>Vão [m]</b>	<b>Carga (PP) [Kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Concreto [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]</b>
DB230	230	Ø180	7 a 10	370	0,1
DB280	290	Ø225	8 a 12	460	0,14
DB340	340	Ø270	9 a 14	550	0,18
DB390	390	Ø315	10 a 16	640	0,2
DB450	450	Ø360	11 a 18	730	0,25

Fonte: BubbleDeck Internacional, 2013

Segue um modelo básico de uma placa BubbleDeck BD230, de acordo com a figura 47.

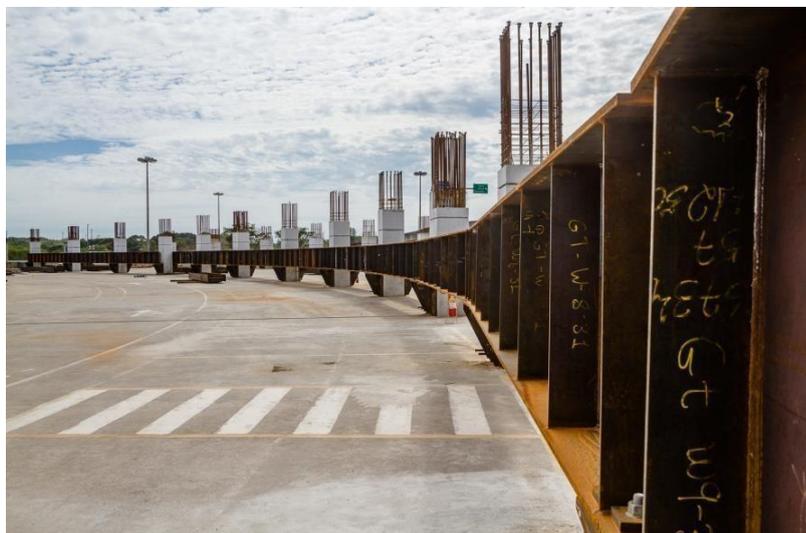
Figura 47 – Modelo Básico de uma placa Bubbledeck



Fonte: Bubbledeck Internacional, 2013

### 6.2.10 Imagens do pavimento

Figura 48 – Sistema de transmissão de cargas através de vigas e consoles metálicos



Fonte: Autor, 2015

Figura 49 – Escoramento responsável pela distribuição das cargas para os sistemas de vigas e consoles (Treliças ULMA)



Fonte: Autor, 2015

Figura 50 – Aplicação de placas BBD sobre escoramento especial para transmissão de cargas (4º piso)



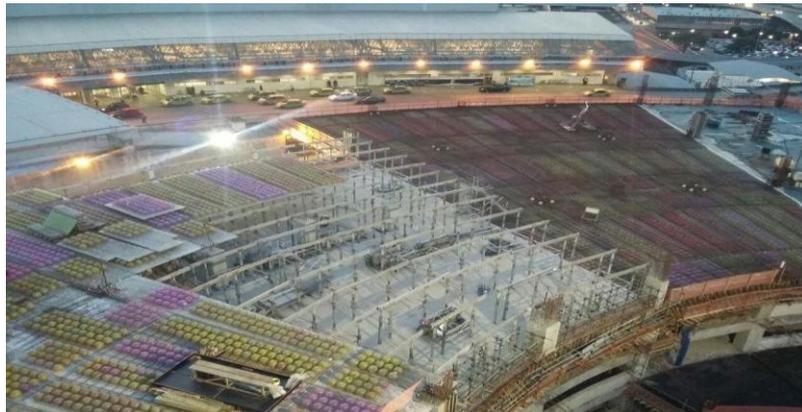
Fonte: Autor, 2015

Figura 51 – Lajes BBD aplicadas sobre cimbramento MILLS (mesas)



Fonte: Autor, 2015

Figura 52 – Ciclo de execução das lajes BBD: lançamento, montagem dos escoramentos e armação complementar finalizada



Fonte: Autor, 2015

Figura 53 – Vista panorâmica Edifício Garagem –TPS 2



Fonte: Autor, 2015

### 6.3 Resultados obtidos

- Ganho do pé-direito devido a não necessidade de vigas, aumentando a iluminação natural;
- Transversalidade: Utilização de 94,5 toneladas (70%) de resina de polipropileno para confecção de aproximadamente 180.000 esferas;
- Sustentabilidade:
- Aplicação de 40,5 toneladas de resina reciclada (30%);
- Redução na emissão de 2.205 toneladas de gases do efeito estufa;
- Minimização de 5.071 m<sup>3</sup> de madeira, pelo uso do painel pré-moldado, evitando o corte de 667 árvores;
- Redução de 14.328 litros de óleo diesel, por realizar menos transporte de materiais;
- Redução de 3.857 m<sup>3</sup> de concreto, pelo uso das esferas incorporadas na laje;
- Diminuição de 391 toneladas de aço;
- Melhoria do sistema térmico e acústico NBR 15.575 (ABNT, 2013);
- Redução dos serviços *“in-loco”* gerando redução do efetivo, consequentemente menor uso do espaço físico de canteiro e custo indireto, além

da redução dos riscos de acidentes e melhoria na eficácia da gestão da segurança;

- Ganho de velocidade na execução;
- Economia de R\$5.271.549,94 para o projeto.

**Tabela 7 – Comparativo econômico entre estrutura metálica e BubbleDeck**

<b>COMPARATIVO LAJE BUBBLEDECK (REALIZADO) X ESTRUTURA METÁLICA ESTRUTURA METÁLICA / STEELDECK PREVISTO</b>					
<b>Descrição</b>	<b>Quant.</b>	<b>Unid.</b>	<b>PU</b>	<b>Unid.</b>	<b>PT(R\$)</b>
<b>Estrutura Metálica</b>	2.300.000	kg	9,6	R\$/kg	22.080.000,00
<b>Steeldeck</b>	44.694	m2	98,96	R\$/kg	4.422.918,24
<b>Proteção contra fogo</b>	2.300.000	kg	1,28	R\$/kg	2.944.000,00
<b>Concreto de capeamento</b>	8.840	m3	885,3	R\$/m3	7.826.052,00
<b>Custo Total</b>	44.694	m2	833,96	R\$/m2	37.272.970,24
<b>BUBBLEDECK REALIZADO</b>					
<b>Descrição</b>	<b>Quant.</b>	<b>Unid.</b>	<b>PU</b>	<b>Unid.</b>	<b>PT(R\$)</b>
<b>Custo unitário realizado</b>			682,45	R\$/m2	30.501.420,30
<b>Adicional Projeto</b>			33,56	R\$/m2	1.500.000,00
<b>Custo total</b>	44.694	m2	716,01	R\$/m2	32.001.420,30
			<b>Economia(R\$)</b>		<b>5.271.549,94</b>

Fonte: Custos CCG, 2015

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 14861 - Laje pré-fabricada – Pannel alveolar de concreto protendido**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ABNT. **NBR 15575 - Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ABNT. **NBR 7197 - Projeto de estruturas de concreto protendido**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- ABNT. **NBR 9062 - Laje Projeto execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- BASTOS, P. S. dos S. **Notas de Aula - Disciplina: 211 7 - ESTRUTURAS DE CONCRETO I**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2013.
- BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado - Eu te Amo**. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2010. v. 1. ISBN 9788521205258.
- CAMACHO, J. S. **Estudo das Lajes**. Ilha Solteira: [s.n.], 2004. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/estudodaslajes.pdf>.
- CARVALHO, R. C. et al. Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto. *In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado*. São Carlos: [s. n.], 2005. Disponível em: [http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/122.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/122.pdf).
- DEBS, M. K. E. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000. 456 p.
- DIN 1045. **Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion**. 7. ed. [S. l.: s. n.], 2001.
- DRB. **Sistema Estruturais - Estruturas Usuais de Concreto Armado**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <http://www.dr бассessoria.com.br/PosicaodasvigasepilaresemCA.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2017.
- EN 13747. **Precast concrete products: Floor plates for floor systems +a2:2010**. [S. l.: s. n.], 2005.
- FERREIRA, M. de A. **deformabilidade de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado**. 1999. 253 f. Tese (Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- FREIRE, T. C. **Estudo comparativo para lajes cogumelo utilizando as tecnologias “bubbledeck” e atex**. 2009. 52 f. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ISHITANI, H.; FRANÇA, R. L. e S. **Concreto Protendido - Fundamentos Iniciais**. São Paulo: [s. n.], 2002.

LAJE PAULISTA. **Produtos**. São Luiz: [s. n.], 2017. Disponível em: <http://www.lajespaulista.com.br>. Acesso em: 08 ago. 2017.

MELLO, A. L. V. de. **Cálculo de Lajes Lisas com Protensão Parcial e Limitada**. 2005. 138 f. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MESEGUER, A. G.; CABRE, F. M.; PORTERO, J. C. **Hormigón armado**. 14. ed. Barcelona: GG, 2000. ISBN 8425223075.

OLIVEIRA, A. de; GARCIA, S. L. G. Avaliação do desempenho estrutural em serviço de lajes treliçadas pré-moldadas de concreto com agregados leves. **Revista Ambiente Construção**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, Oct./Dec. 2011.

PARCIANELLO, A. T. **Planejamento e execução de lajes BubbleDeck na obra: Estudo de Caso**. Brasília, 2014. Projeto (Graduação) - Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, 2014.

PERFILOR. **Laje Steel Deck 2015**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: [http://perfilor.com.br/materiais.php?cd\\_secao=47&codant=&friurl=-Produtos](http://perfilor.com.br/materiais.php?cd_secao=47&codant=&friurl=-Produtos). Acesso em: 06 ago. 2015.

SCHMID, M. T. **LAJES PLANAS PROTENDIDAS**. 3. ed. [S. l.]: Rudloff Industrial Ltda, 2009.

SILVA, Y. M. de O. **Estudo comparativo entre lajes “bubbledeck” e lajes**. 2011. 60 f. Monografia (Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

TIJOLAJE. **Lajes**. [S. l.]: Tipo de Laje, 2014. Disponível em: <http://www.tijolaje.com.br/>. Acesso em: 15 out. 2015.

VASCONCELOS, J. **Catálogo Digital de Detalhamento da Construção**. Nova Hamburgo: Universidade Feevale, 2012. Disponível em: <http://cddcarqfeevale.wordpress.com/>. Acesso em: 25 out. 2016.