

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

ROBERTA MARQUES MORAIS KOHL

**METODOLOGIA EXECUTIVA DE LAJES BUBBLEDECK VISANDO
A ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE NAS OBRAS**

Paracatu

2019

ROBERTA MARQUES MORAIS KOHL

**METODOLOGIA EXECUTIVA DE LAJES BUBBLEDECK VISANDO A
ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE NAS OBRAS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Lajes Bubbledeck

Orientador: Prof. Msc. Romério Ribeiro da Silva

Paracatu

2019

79i Kohl, Robberta Marques Morais.

Metodologia executiva de lajes Bubbledeck visando à economia e sustentabilidade nas obras. / Robberta Marques Morais Kohl. – Paracatu: [s.n.], 2019.

36 f. il.

Orientador: Prof. Msc. Romerio Ribeiro da Silva.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) UniAtenas.

1. Tecnologia inovadora. 2. Economia no consumo de concreto. 3. Lajes. 4. Esferas. 5. Sustentáveis. 6. Construção civil. I. Kohl, Robberta Marques Morais. II. UniAtenas. III. Título.

CDU: 62

ROBERTA MARQUES MORAIS KOHL

**METODOLOGIA EXECUTIVA DE LAJES BUBBLEDECK VISANDO A
ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE NAS OBRAS.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Msc. Romério Ribeiro da Silva.

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, 26 de Novembro de 2019.

Prof. Msc. Romério Ribeiro da Silva.
Centro Universitário Atenas

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo
Centro Universitário Atenas

Prof. Dr. Alexandre Almeida Oliveira
Centro Universitário Atenas

AGRADECIMENTOS

Deus me capacitou para que esse sonho se tornasse realidade, toda gratidão a Ele.

Agradeço a minha mãe Lúcia, pelo amor, carinho e educação, e por estar sempre ao meu lado, ao meu pai, Sebastião, (*in memorian*), que a cada instante sempre esteve presente e olhando por mim lá de cima, foi você que me ensinou virtudes indispensáveis. A minha irmã Mayla, que sempre foi motivo de inspiração.

Em especial meu esposo, Eduardo, por todo seu amor, dedicação e incentivo ao longo desses anos, obrigada por toda paciência e auxílio, sou grata por ter você ao meu lado.

Agradeço aos meus professores, que com paciência e muita sabedoria, me passou seus conhecimentos, os quais sem eles eu não poderia me tornar uma boa profissional.

Agradeço de forma especial ao Professor Orientador Romério, por todo incentivo, paciência, toda a atenção e disposição recebida para a realização desse trabalho.

Serei sempre grata a todos vocês por essa conquista!

Escolha uma ideia. Faça dessa ideia a sua vida. Pense nela, sonhe com ela, viva pensando nela. Deixe cérebro, músculo, nervos, todas as partes do seu corpo serem preenchidas com essa ideia. Esse é o caminho para o sucesso.

Swami Vivekananda

RESUMO

A crescente concorrência no mercado da construção civil fez com que as construtoras buscassem novas tecnologias que oferecessem maior eficiência e produtividade. A laje bubbledeck é uma tecnologia inovadora, ainda recente no Brasil, que promete agilidade na produção e economia no consumo de concreto, devido à utilização de esferas ocas, que substituem o concreto das regiões onde não há função estrutural. Esse método construtivo consegue vencer grandes vãos sem o uso de vigas, reduzindo a quantidade de pilares e, assim, os custos e o tempo de execução. Isso proporciona uma redução considerável de materiais, aumento da produtividade e, conseqüentemente, redução dos impactos ambientais. É partindo, da relevância do uso das inovações no âmbito da construção civil, que o presente trabalho tem como finalidade verificar a viabilidade de inserção das lajes Bubbledeck, estabelecendo um comparativo a outros sistemas que são comuns na construção, demonstrando que o sistema bubbledeck dimensionada para o maior vão possível tem menor consumo de concreto e de aço que a laje maciça e menor consumo de concreto e espessura que a nervurada, mostrando tornar-se um método construtivo sustentável.

Palavras-chave: Tecnologia inovadora. Economia no consumo de concreto. Lajes. Esferas. Sustentáveis. Construção civil.

ABSTRACT

Growing competition in the construction market has led construction companies to seek new technologies that offered greater efficiency and productivity. The bubbledeck slab is an innovative technology, still recent in Brazil, which promises agility in the production and economy in concrete consumption, due to the use of hollow spheres, which replace the concrete of the regions where there is no structural function. This constructive method can overcome large spans without the use of beams, reducing the amount of pillars and thus the costs and execution time. This provides a considerable reduction in materials, increased productivity and, consequently, a reduction in environmental impacts. It is based on the relevance of the use of innovations in the field of civil construction, that the present work aims to verify the feasibility of inserting Bubbledeck slabs, establishing a comparison to other systems that are common in construction, showing that the bubbledeck system sized for the largest possible span has lower consumption of concrete and steel than the massive slab and lower consumption of concrete and thickness than ribbed, showing to become a sustainable constructive method

Keywords: *Innovative technology. Economy in concrete consumption. Slabs. Spheres. Sustainable. Civil Construction.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Resumo das prioridades a se adotar no projeto de uma construção sustentável	18
FIGURA 2	- Sistema estrutural bubbledeck	19
FIGURA 3	- Esquema de armadura, concreto e esferas plásticas	20
FIGURA 4	- Millenium Tower	21
FIGURA 5	- (CADF)	22
FIGURA 6	- Módulo básico de placa BubbleDeck, BD230	24
FIGURA 7	- Módulo Reforçado	25
FIGURA 8	- Paineis de Pré-lajes	25
FIGURA 9	- Paineis Acabados	26
FIGURA 10	- Formas de polipropileno na laje nervurada	29

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Consumo de concreto laje bubbledeck, nervurada e maciça	31
----------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - Especificações Técnicas	23
QUADRO 2 - Espessura das lajes pelo método do vão	30
QUADRO 3 - Consumo do Concreto	30
QUADRO 4 - Laje BubbleDeck vs Laje Nervurada	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2 HIPÓTESE DE PESQUISA	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 OBJETIVO GERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	13
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 SUSTENTABILIDADE	16
2.1 HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	16
2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NO BRASIL	16
2.2.1 PRINCÍPIO DA SUSTENTABILIDADE	17
3 LAJES BUBBLEDECK NA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
3.1 PROJETOS EXECUTADOS	20
4 DIMENSIONAMENTO DA LAJE	23
4.1 SISTEMAS DE EXECUÇÃO DAS LAJES BUBBLEDECK	24
4.1.1 MÓDULO REFORÇADO	24
4.1.2 PRÉ-LAJES	25
4.1.3 SISTEMA DE PAINÉIS ACABADOS	26
5 ESTUDO COMPARATIVO	28
5.1 LAJES NERVURADAS	28
5.2 ANÁLISE ENTRE AS LAJES NERVURADAS E BUBBLEDECK	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é o setor de produção responsável pela transformação do ambiente natural em ambiente construído, adequado ao desenvolvimento das mais diversas atividades. Essa cadeia produtiva é uma das maiores da economia e, conseqüentemente, possui enorme impacto ambiental. É a principal consumidora de matérias primas e energia, uma das maiores geradoras de resíduo e também colabora significativamente a poluição ambiental, incluindo o efeito estufa. Dessa forma, não será possível um desenvolvimento sustentável sem que toda a cadeia produtiva da construção civil sofra transformações significativas (JOHN, 2000).

A construção sustentável tem função essencial no desenvolvimento e incentivo de toda produtividade que possa alterar seus processos para um foco mais ecologicamente correto, de forma a reverter o quadro de degradação ambiental e poluição.

A sociedade está buscando saídas através do desenvolvimento de produtos que não agridem o meio ambiente, estímulo do consumo consciente, reuso de recursos e reciclagem de materiais. A área da construção civil vem oferecendo soluções práticas e econômicas. É possível tirar proveito de recursos naturais (como iluminação e ventilação), racionalizar o uso de energia, usar sistemas para reduzir o consumo de água, definir áreas para coleta seletiva de lixo (reciclagem), e buscar soluções termo acústicas. Além disso, uma construção sustentável deve utilizar materiais que não agridam ao meio ambiente. (MATOS, 2008).

A utilização de esferas de plásticos em lajes, tal sistema conhecido como BubbleDeck, consiste em substituir os espaços na zona de concreto que não desempenha a função estrutural por esferas de polipropileno, podendo reduzir em até 35% o peso próprio da laje em relação aos preenchimentos convencionais. Isso proporciona uma redução considerável de materiais, aumento da produtividade e, conseqüentemente, redução dos impactos ambientais (PINI, 2013).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A tecnologia construtiva de utilização das esferas de plástico reciclado, BubbleDeck, seria uma solução sustentável que tornaria as lajes resistente e leves?

1.2. HIPÓTESE DE PESQUISA

Atualmente existem vários sistemas de lajes empregados em larga escala, como lajes maciças, nervuradas, protendidas e mais recentemente no Brasil, as lajes BubbleDeck. Onde cada sistema possui sua especificidade de aplicação com vantagens e desvantagens. A comparação

entre o sistema BubbleDeck com os demais sistemas de lajes avalia os métodos e conclui sobre itens de economia e qualidade. Mesmo sendo, se torna necessário um estudo sobre os vários métodos construtivos de lajes através da comparação entre os diferentes sistemas em uso.

Acredita-se que essa atual tecnologia, visa diminuir o peso da laje e o consumo, aumentando a produtividade, além disso, mostrando que pode ser feito a substituição do concreto da região tracionada, no qual o concreto não ajuda no comportamento estrutural por esferas plásticas, que se encontram igualmente uniforme nas armaduras de aço.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

Apresentar os principais critérios construtivos da tecnologia Bubbledeck, buscando desenvolver o método de conhecimento, e destacando as principais características e desempenho das esferas produzidas de material reciclado de polipropileno, na qual visa minimizar os impactos causados no meio ambiente.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) abordar a sustentabilidade na construção civil;
- b) caracterizar a utilização da laje Bubbledeck, quando aplicada na construção civil;
- c) analisar a metodologia construtiva da tecnologia, assim como vantagens e desvantagens;
- d) comparar de forma qualitativa e econômica os tipos de lajes nervuradas e lajes bubbledeck, visando a sustentabilidade na obra.

1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Com a aceleração do crescimento do setor industrial nos anos recentes e a inevitabilidade de atender prazos das construções civis, pôde-se observar a busca por métodos construtivos inovadores que tornem a indústria da construção mais produtiva, trazendo um modo mais econômico no mercado, diminuindo os prazos e os custos, sendo capaz de atender a demanda sem comprometer a qualidade do produto para as empresas.

Estima-se que o sistema construtivo de lajes bubbledeck ainda é inovador no Brasil

e seu procedimento estrutural é pouco compreendido pelos projetistas, portanto busca-se apresentar que este método é de grande valia para a construção civil, desempenhando um desenvolvimento da tecnologia com o propósito de conhecer e compreender melhor o comportamento desse tipo de laje que pode ser uma alternativa na redução de custos, tempo e impactos ambientais.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

Segundo Gerhart e Silveira (2009), o presente trabalho se apresenta a partir de uma abordagem qualitativa, sendo uma pesquisa que busca uma melhor compreensão do assunto, no qual não tem como objetivo a representatividade por meio de dados qualitativos. Sendo uma pesquisa de natureza básica com que objetiva criar conhecimentos no intuito de melhorar a nossa base de conhecimento científico, de forma exploratória para proporcionar familiaridade com o assunto com a utilização de referências teóricas já publicadas por meio de informação como artigos, livros, monografias, livros entre outros.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo este o primeiro, no qual são apresentados, introdução, problema e hipótese da pesquisa, objetivos, justificativa e metodologia do desenvolvimento do trabalho.

A revisão bibliográfica, apresentada no segundo capítulo, aborda temas relacionados à sustentabilidade e construção sustentável.

No terceiro capítulo, são desenvolvidos os conceitos e aspectos abordados das lajes bubbledeck na construção civil, sendo descrito os projetos executados em grandes obras.

O capítulo quatro, apresenta um dos focos principais da pesquisa: analisar a metodologia construtiva, abordando as vantagens e desvantagens na obra. Consistindo no comportamento e implantação da tecnologia.

A aplicação dos conceitos apresentados ao longo do trabalho é constatada no capítulo cinco, mostrando a aplicabilidade da tecnologia na obra, fazendo um comparativo entre lajes, que contribuam para a redução dos impactos causados no meio ambiente. Propondo ações que alcancem os objetivos de forma mais eficiente.

O capítulo seis apresenta as considerações finais relativamente ao

trabalho, apontando a viabilidade de implantar novas tecnologias na engenharia civil visando a economia, e sua importância socioambiental.

2 SUSTENTABILIDADE

2.1 HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

O conceito surgiu publicamente após o início da discussão sobre o desenvolvimento sustentável no fim da década de oitenta segundo registro do Relatório de Brundtland elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (BRUNDTLAND, 1987). Pela primeira vez, o conceito é apresentado e relacionado aos sistemas presentes na Construção Civil, destacando-se a real abrangência dos aspectos envolvidos neste tema e deixando estabelecido o conceito de uso sustentável como sendo qualquer ação realizada para “suprir as necessidades da geração presente sem afetar a possibilidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades [...]”, Relatório de Brundtland (1987 *apud* CORREA 2009, p. 11).

Para Gonçalves (2006) *apud* Prediger (2008), o tema da sustentabilidade vem influenciando abordagens de projeto na arquitetura contemporânea e conta com iniciativas e exemplos nas mais diversas condições urbanas e ambientais. Extrapolando as questões de conforto ambiental e suas relações com a eficiência energética, recursos para a construção e operação do edifício, como materiais, energia e água, fazem parte das variáveis que vêm sendo exploradas, com especial atenção na formulação de propostas de menor impacto ambiental.

2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NO BRASIL

A Construção Sustentável é um sistema que promove intervenções sobre o meio ambiente, sem esgotar os recursos naturais, preservando-os para as gerações futuras. Tal modelo de construção utiliza eco materiais e soluções tecnológicas inteligentes, que promovem a redução da poluição, o bom uso e a economia de água e de energia e o conforto de seus usuários.

Dentro deste desenvolvimento sustentável, Rocheta (2007) afirma que a indústria da construção civil possui uma grande importância neste aspecto devido seu grande impacto no meio ambiente e também ao seu consumo de energia, água, materiais e na produção de resíduos. Ainda de acordo com a autora, os edifícios alteram e influenciam a natureza em relação à aparência e, por isso, é de extrema importância que as atividades sustentáveis sejam um processo contínuo, elaborado a partir de diversas medidas que devem ser relacionadas ao longo de todo processo construtivo, começando da retirada de matéria-prima e passando pelos processos de planejamento, construção e ocupação.

A obra sustentável deve aproveitar os passivos dos recursos naturais (como por exemplo, iluminação natural), racionalizar o uso de energia, prover sistemas e tecnologias que permitam redução no consumo de água (reuso, aproveitamento da água de chuva), contempla áreas para coleta seletiva de lixo (reciclagem) e criar ambientes saudáveis, utilizando tecnologias para regular acústica e temperatura.

Couto *et al.* (2006) apontam que o uso de materiais reciclados pode ser uma das alternativas para uma construção mais sustentável. “O uso de materiais reciclados irá encorajar indústrias e governos a investigar novas tecnologias para reciclar, e para criar uma rede de suporte mais larga para futura reciclagem e reutilização” (Couto *et al.*, 2006). O uso de materiais sustentáveis evidencia maior responsabilidade com o meio ambiente, sendo interessante ampliar esse tipo de construção.

A engenharia civil tem uma relação ambiental e social, já que contribui também para geração de emprego e ajuda a circular a economia de um país. Sendo assim, é necessária uma preocupação ainda mais acentuada para obter construções sustentáveis.

2.2.1 PRINCÍPIO DA SUSTENTABILIDADE

Para considerar uma construção sustentável, é necessário levar em consideração alguns princípios a serem adotados nas construções civis.

1. redução de gastos, que se dá pela mencionada otimização dos processos;
2. conceito de Green Buildings.
3. gerenciamento adequado dos resíduos.
4. novas tecnologias.
5. evitar consumo excessivo de energia
6. trabalhar dentro do ecossistema
7. viabilidade econômica

As construções sustentáveis obedecem a esses princípios, pois sua finalidade é contribuir com o desenvolvimento sustentável. A minimização do consumo de recursos naturais possibilita sua preservação. A água, por exemplo, precisa ser economizada, sendo necessárias estratégias que propiciem a sua reutilização, pois a sua falta afetaria diretamente a vida no planeta. A proteção ambiental inclui a conservação da vida vegetal, uma vez que as plantas são responsáveis pelo equilíbrio da temperatura, ajudando a reduzir as concentrações de gás carbônico, contribuindo para a proteção do ambiente natural. Portanto, quanto menos madeira se utilizar em uma construção, maior será essa proteção. Também é importante criar um ambiente

agradável, com maior frescor natural. Janelas grandes, por exemplo, possibilitam maior entrada de ar, e isso deve ser levado em conta no processo de construção.

FIGURA 1 - Resumo das prioridades a se adotar no projeto de uma construção sustentável.



Fonte: Núcleo do Conhecimento.

Embora a Engenharia Civil seja necessária para o desenvolvimento das cidades, ela pode provocar danos à natureza, se não houver relação de equilíbrio entre construção e meio ambiente. Tal equilíbrio pode ser obtido por meio de um planejamento que leve em consideração as diversas proposições inerentes aos princípios de sustentabilidade, e que resultem em construções sustentáveis. Um planejamento socioambiental satisfatório no ambiente urbano minimiza os impactos ambientais.

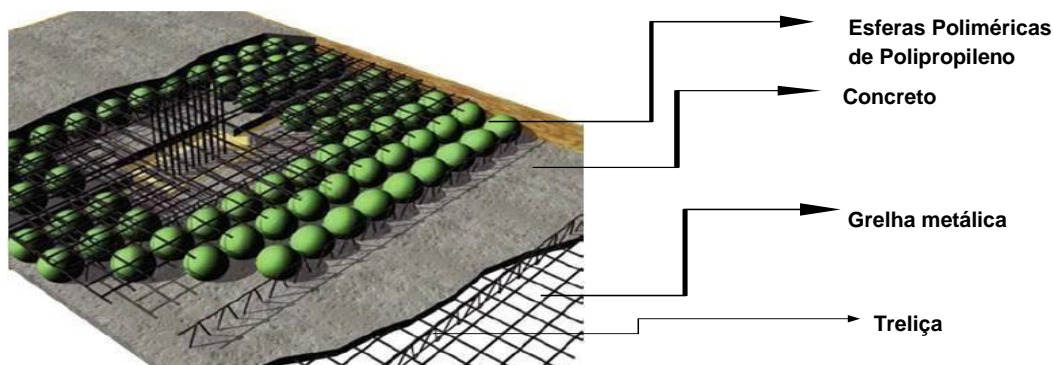
3 LAJES BUBBLEDECK NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O BubbleDeck é um revolucionário sistema de lajes, que provou ser altamente bem-sucedido em toda a Europa desde o seu desenvolvimento. A característica principal é eliminar praticamente todo concreto do meio de uma laje, substanciando completamente o peso estrutural, proporcionando lajes mais leves e resistentes. (HARDING, 2004).

A técnica apresenta um método construtivo capaz de suprir as necessidades de produtividade em função do processo industrializado e ao mesmo tempo preserva o meio sustentável, baseado na conceituação, as esferas feitas de material reciclado de polipropileno e são incorporadas entre duas telas metálicas para substituir e, portanto, eliminam o concreto no meio de uma laje convencional no espaço onde o concreto tem menor desempenho estrutural, desenvolvendo consideravelmente melhores os projetos de construção, com uma redução nos custos de materiais e mão de obra, além de proporcionar agilidade no método construtivo.

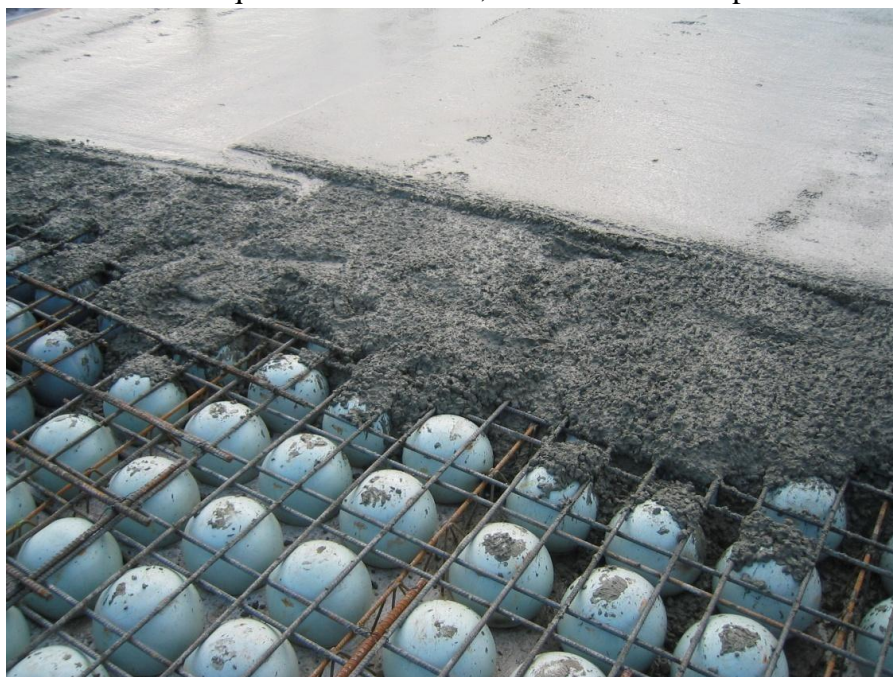
A BubbleDeck teve surgimento na década de 1980, desenvolvida pelo engenheiro dinamarquês Jørgen Breuning, durante um concurso criado pelo governo dinamarquês buscando incentivar as melhores ideias de uma edificação diferenciada para lajes flexíveis com soluções econômicas e sustentáveis e aplicáveis em larga escala. Breuning criou uma laje com esferas plásticas inseridas uniformemente entre duas armaduras, que preenchem a zona que anteriormente seria ocupada por concreto não estrutural, podendo assim ser retirado, sem prejudicar o desempenho estrutural. Reduzindo, entre 25% e 35% o peso próprio da laje, quando comparado com o sistema convencional, melhorando com isso a aplicação de cargas permanentes elevadas em grandes vãos. (BUBBLEDECK UK, 2008)

FIGURA 2 – Sistema estrutural Bubbledeck



Fonte: Bubbledeck Brasil

FIGURA 3 - Esquema de armadura, concreto e esferas plásticas



Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014

Isso ilustra que o BubbleDeck é muito mais do que um revolucionário sistema de piso plano e deck, mas é uma solução de estrutura completa que libera os projetos de construção das limitações de vãos curtos, layouts retilíneos, paredes ou vigas de carga e posições de colunas restritas (Harding, 2004).

3.1 PROJETOS EXECUTADOS

Na década de 1997 a 2000, foi implementado o primeiro projeto da tecnologia no Millenium Tower na Holanda, cidade de Rotterdam.

Originalmente o edifício foi projetado para ser construído com o sistema de lajes alveolares (painéis de concreto protendido), com o estudo realizado de viabilidade e na elaboração do projeto determinou-se utilizar o sistema Bubbledeck, no qual foi reduzido os ciclos dos andares de 10 para 4 dias além de diminuir em 50% o número de 37 pilares. Assim, com o peso estrutural reduzido, houve a possibilidade de adicionar mais 2 andares em sua construção. O edifício quando concluído era o segundo maior da Holanda, com 149 metros de altura, 34 andares e 2 subsolos e uma área equivalente de 38.000m² (BUBBLEDECK UK, 2008).

FIGURA 4 – Millenium Tower

Fonte: Bubbledeck Internacional

Atualmente a tecnologia está difundida em todo o mundo, com mais de 600 projetos completados e presença em 32 países, principalmente na Europa e Canadá. O último projeto expressivo realizado no exterior com a tecnologia foi a construção do arranha céu da Sede Única, um complexo administrativo e institucional localizado na região de Piemonte na Itália que teve início da estrutura em 2011 e termino em 2014. O edifício possui 209m de altura, 41 andares e cerca de 37.000 m² de área equivalente. (BUBBLEDECK UK, 2008)

No Brasil, a primeira obra a utilizar esta tecnologia foi a ampliação da sede da Construtora Norberto Odebrecht em Salvador, na Bahia, para uma obra experimental que consistiu na execução de parte da laje do auditório da sede. Entretanto, a técnica foi escolhida para ser aplicada na construção do Centro Administrativo do Distrito Federal (CADF), apresentando maior viabilidade econômica, melhor produtividade e impacto ambiental reduzido. Com a utilização da laje, houve uma produção de 1000 m² de painéis de bubbledeck por dia, 35% a menos de utilização de concreto de uma laje convencional e uma redução de 60% da quantidade de escoramento em relação ao projeto original.

FIGURA 5 – Centro Administrativo do Distrito Federal.



Fonte: Odebrecht.com

Segundo Parciannelo (2014), o Centro Administrativo do Distrito Federal (CADF) seria construído, inicialmente, com lajes nervuradas, mas, devido ao curto prazo de execução e à grande extensão da obra, foi necessário escolher outro método construtivo que oferecesse maior produtividade e agilidade. Analisando que com as escoras da laje Bubbledeck sendo espaçadas a cada 3,5 m, ocasionaria em uma redução no escoramento de até 57%, comparando com uma laje nervurada.

Uma empresa especializada em pré-moldados foi contratada para produzir a pré-laje bubbledeck. A fabricação dos painéis foi realizada dentro do canteiro de obras por uma equipe capacitada, com controle da qualidade e planejamento, para as peças ficarem prontas dentro dos prazos do cronograma (PARCIANELLO, 2014, p. 41).

As formas em cima do solo foram montadas, os módulos, inseridos, e as lajes, concretadas em série, para em seguida serem levadas até o pátio de estocagem, de onde seriam retiradas quando fossem ser utilizadas na frente de serviço (PARCIANELLO, 2014).

4 DIMENSIONAMENTO DA LAJE

Um dos fatores que possuem grande influência no dimensionamento de estruturas, de um modo geral, é o peso próprio de todos os elementos que constituem a edificação. O tamanho das peças, especialmente em concreto armado, é um fator de suma importância para o engenheiro, pois tratam-se de elementos compactos, portanto, irão sobrecarregar os elementos subjacentes, sejam eles da superestrutura ou da infraestrutura.

Atualmente, com a arquitetura mais ousada, opta-se pela utilização de vãos maiores, o que acarretaria em uma sobrecarga maior para os elementos estruturais. Contudo, com o avanço de recursos tecnológicos e o desenvolvimento científico, é possível obter-se com grandes vãos, uma economia de insumos, e conseqüentemente financeira, bastante consideráveis.

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).

A tecnologia pode ser aplicada em qualquer estrutura que se possa utilizar uma laje maciça e apresenta uma solução de engenharia que melhora os projetos de construção e desempenho, com redução de custos da obra, de materiais e mão de obra. Não havendo a necessidade de vigas, número de pilares reduzidos e as instalações podem ser embutidas na laje e, pela característica da laje plana, proporciona ganho expressivo de pé direito. Dependendo do número de esferas projetadas por metro quadrado, tanto a capacidade de redução de carga quanto os intereixos das esferas podem variar. No quadro 1 são apresentados os diâmetros padronizados das esferas e alguns valores relacionados a cada diâmetro.

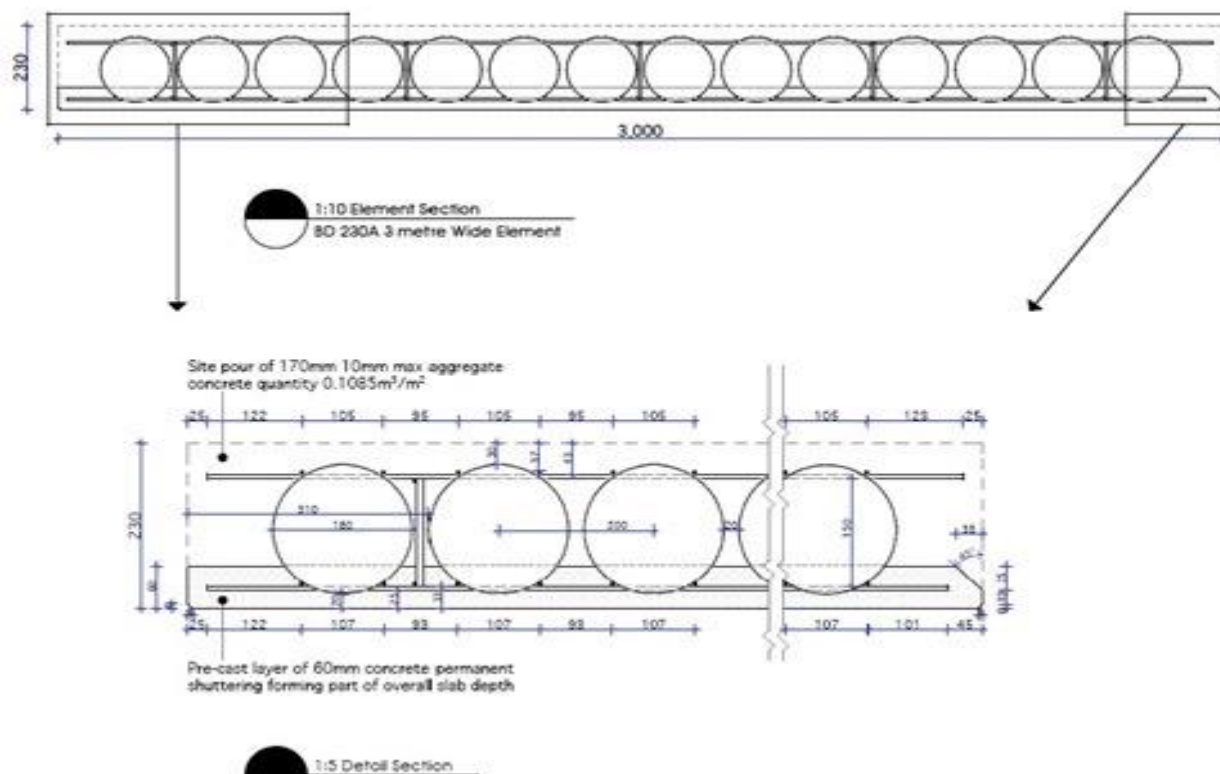
QUADRO 1 – Especificações Técnicas

Diâmetro da Esfera [cm]	18,00	22,50	27,00	31,50	36,00	40,50	45,00
Mínimo Intereixo das Esferas [cm]	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
Máximo Número de Esferas [1/m ²]	25,00	16,00	11,00	8,16	6,25	4,94	4,00
Espessura Mínima da Laje [cm]	23,00	28,00	34,00	40,00	45,00	52,00	58,00
Redução de Carga Por Esfera [kN]	0,08	0,15	0,26	0,41	0,61	0,87	1,19
Redução Máx. de Carga /m ² [kN/m ²]	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82	4,29	4,77
Fator para Rigidez [-]	0,88	0,87	0,87	0,88	0,87	0,88	0,88
Fator para o Cortante [-]	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Fator para o Peso [-]	0,67	0,66	0,66	0,67	0,66	0,67	0,67

Fonte: Bubbledeck internacional, 2008

Na figura 6 está apresentada uma seção típica de uma placa Bubbledeck.

FIGURA 6 - Módulo básico de placa BubbleDeck, BD230.



Fonte: BubbleDeck internacional, 2013.

4.1 SISTEMAS DE EXECUÇÃO DAS LAJES BUBBLEDECK

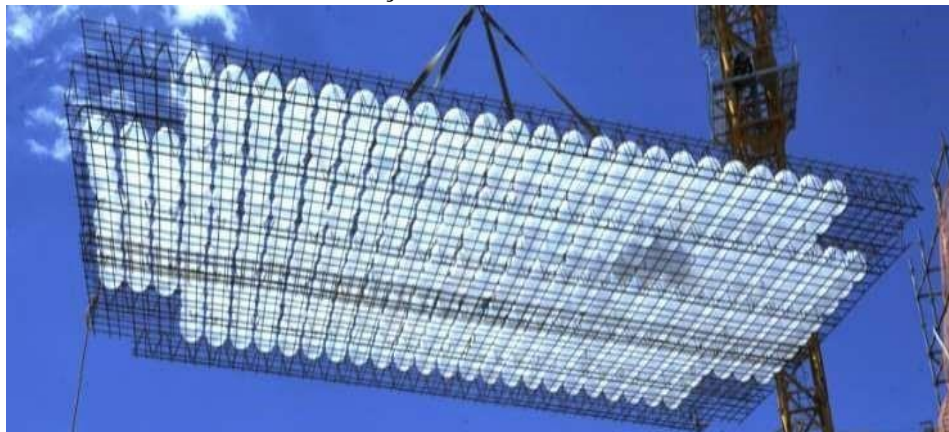
Podemos abordar alguns métodos construtivos das lajes bubbledeck sendo eles módulo reforçado, pré-laje ou em painéis acabados.

4.1.1 MÓDULO REFORÇADO

O método consiste em posicionar as esferas no interior de duas telas metálicas, formando módulos que são dispostos sobre as formas, possibilitando a concretagem em dois estágios. Posteriormente são colocadas as armaduras (barras de flexão, armadura de cisalhamento, etc.) e para finalizar é efetuada a concretagem, a qual é realizada em duas etapas, sendo a primeira uma camada de 60 mm (executada no sistema com pré-laje) e na segunda etapa ocorre a concretagem do restante da laje. A concretagem é feita em duas 8 etapas para evitar a flutuação das esferas e garantir assim uma correta posição dos elementos que compõem a laje. A principal

vantagem deste sistema construtivo é a facilidade que têm enquanto ao transporte e posicionamento dos módulos BubbleDeck, já que o mesmo pode ser feito de maneira manual (BUBBLEDECK, 2008). A figura 7 apresenta o esquema de um módulo bubbledeck.

FIGURA 7 – Módulo Reforçado



Fonte: Bubbledeck Brasil (2018)

4.1.2 PRÉ-LAJES

A pré-laje é um método de montagem mais viável e econômico da laje bubbledeck, é composta por painéis formados pelo módulo e pela camada pré-fabricada de 6 cm de concreto. O tamanho dos painéis é feito sob medida para cada projeto, para minimizar o número de painéis necessários, reduzindo, portanto, o custo geral. No entanto, suas dimensões são geralmente limitadas pelo transporte local e pela capacidade do guindaste (BUBBLEDECK AU, 2018). A figura 8 apresenta o esquema de uma pré-laje com os módulos bubbledeck incorporados.

FIGURA 8 - Painel de Pré-lajes



Fonte: Bubbledeck Brasil (2018)

4.1.3 SISTEMA DE PAINÉIS ACABADOS

Neste tipo de sistema, os processos construtivos de colocação de armadura e concretagem da laje são feitos em fábricas. Este tipo de laje trabalha em apenas uma direção, necessitando de vigas ou paredes para seu apoio.

Segundo Silva (2011), é a laje já concretada de fábrica, bastando apenas fazer o posicionamento com guindastes. Apesar de ser muito prática ela necessita de vigas ou paredes suporte, além disso ela se restringe a ser apenas unidirecional, o que diminui sua capacidade de carga.

Quando os painéis já estão posicionados em seu local final as armaduras de flexão são conectadas e as barras de ligação são posicionadas para que sua união seja perfeita. Como as lajes distribuem seus esforços em apenas uma direção, se comportando como uma laje pré-moldada unidirecional, necessitam do uso de vigas ou de paredes para suporte. (Lima, 2015). A figura 9 demonstra um painel acabado bubbledeck.

FIGURA 9 - Painéis Acabados



Fonte: BubbleDeck internacional (2008)

Conforme Bubbledeck Uk (2008), a área total do piso é dividida em uma série de elementos individuais planejados, 3 ou 2,4 metros de largura dependentes sobre o acesso ao local, que são fabricados fora do local. Estes elementos compreendem a malha de reforço superior e inferior, dimensionada para se adequar o projeto específico, juntou-se com vigas de treliça vertical com os formadores de vazio bolha preso entre o reforço de malha superior e inferior para corrigir sua posição ideal. Denominado um sanduíche de "reforço de bolha", que é então lançado na camada inferior do pré-elenco concreto, encerrando o reforço de malha inferior, para fornecer forma permanente dentro de parte da profundidade geral da laje terminada.

No local, os elementos individuais são então "costurados" juntamente com reforço

solto simplesmente colocado centralmente através das articulações entre os elementos. Barras de emenda são inseridas soltas acima da camada de concreto pré-moldada entre as bolhas e a finalidade fizeram as folhas de malha amarradas através da malha superior do reforço para juntar os elementos (BUBBLEDCK UK, 2008).

Depois do local de acabamento de concreto é derramado e curado esta técnica fornece continuidade estrutural em toda a laje de piso, as articulações entre elementos são então redundantes, sem qualquer efeito estrutural - para criar uma laje de piso sem costura.

BubbleDeck provou ser altamente bem sucedido na Europa desde a sua invenção há dez anos. Na Dinamarca e na Holanda mais de 1 milhões de metros quadrados de pisos foram construídos nos últimos sete anos usando o sistema Bubbledeck em todos os tipos de edifícios de vários andares.

Independentemente do método de execução, existem diversas vantagens em optar-se por esse sistema:

- Permite liberdade de projeto com formas de planos não-retilíneos.
- A construção é menos dependente do tempo, pois não há necessidade de erguer blocos de suporte de carga para suportar lajes, que são retiradas do caminho crítico.
- A eliminação de vigas de baixo, significa que os problemas e os custos dos serviços de roteamento ao redor, ou através da estrutura, são evitados.
- Tamanhos de fundação reduzidos porque há até 50% menos peso morto estrutural.
- O uso de concreto é significativamente reduzido; 1kg de plástico reciclado substitui 100kg de concreto. É, portanto, ecologicamente correto.
- Utiliza menos elementos de construção em comparação com os sistemas de armação de aço e de decks metálicos e, portanto, reduz o tempo de montagem.
- Esferas feitas de plástico reciclado, diminuindo a emissão de carbono e a energia usada; em caso de incêndio, elas carbonizam sem emitir gases tóxicos;

5 ESTUDO COMPARATIVO

A norma NBR 6118/2014, explica que placas de concreto são elementos de superfície plana sujeitos a ações normais a seu plano, recebendo cargas verticais em suas estruturas, portanto, transmitindo para os respectivos apoios (vigas localizadas em seus bordos ou pilares apoios pontuais). Essas placas de concreto são denominadas de lajes, na quais são determinadas que tenham $1/3$ do vão devem ser estudadas como placas espessas.

De acordo com Bastos (2006) as lajes são os elementos planos que se destinam a receber a maior parte das ações aplicadas em uma construção. As ações são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas em: distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas. As ações são normalmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas eventualmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares.

5.1 LAJES NERVURADAS

As lajes nervuradas, são lajes moldadas no local ou com nervura pré-moldada, onde a zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Desenvolvida por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa, esse elemento estrutural tem comportamento intermediário entre o de laje maciça e o de grelha.

Nos sistemas de lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas removíveis, as fôrmas são uma importante parte, pois são elas que possibilitam a formação da laje nervurada sem material de enchimento, deixando vazios os espaços entre as nervuras.

No começo da utilização desse sistema, a fôrma de madeira era a mais usada. Devido ao alto custo desse material e da maior praticidade das fôrmas plásticas, atualmente opta-se mais pelas fôrmas plásticas, geralmente feitas de polipropileno. Essas fôrmas apresentam várias vantagens, tal como: são reaproveitáveis, reforçadas internamente, com ótima precisão nas dimensões, leves, de fácil manuseio, não incorporam peso a laje, desforma manual, sem ar comprimido e podem ser colocadas diretamente em cima do escoramento, dispensando o assoalho da laje (SILVA, 2005). A figura 10 apresenta o esquema de formas de polipropileno na laje nervurada.

FIGURA 10 - Formas de polipropileno na laje nervurada.



Fonte: ATEX do Brasil (2014)

O contraponto do uso das lajes nervuradas, ocorre justamente na sua execução, é preciso uma mão-de-obra de maior volume se as formas das nervuras forem executadas no local. Este volume de mão-de-obra é reduzido consideravelmente quando for executada lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas. Por outro lado, uma das vantagens da laje nervurada é a redução do peso próprio da estrutura, pois o volume de concreto diminui, devido à substituição do mesmo por materiais de enchimento. Estes materiais de enchimento têm função de somente substituir o espaço físico do concreto, deixando toda a resistência a tração concentrada nas nervuras.

5.2 ANÁLISE ENTRE AS LAJES NERVURADAS E BUBBLEDECK

O sistema Bubbledeck é um método revolucionário de eliminação do volume de concreto de uma laje, que proporciona lajes mais leves e resistentes. É composta por esferas plásticas ocas, fabricadas com resina plástica de Polietileno (PEAD) e Polipropileno (PP) de alta densidade (HDE) e devem estar de acordo com os materiais de construção da classe B2 pela Norma DIN 4102-1 no mínimo. Na maior parte, a matéria prima utilizada é reciclada, retirada do meio ambiente. Entre telas de aço é eliminado o concreto que não exerce qualquer função estrutural, reduzindo significativamente seu peso próprio. Este sistema foi criado como melhor solução ecológica, econômica e que pudesse ser aplicada em grande escala.

Bubbledeck assemelha-se as lajes nervuradas, pois além de conter vazios na estrutura de concreto, reduz o pé direito. Possui ainda como vantagem a eliminação de vigas, reduzindo, portanto, fôrmas e acelerando o procedimento executivo, redução do volume de concreto, pois 3,5Kg do plástico reciclável das esferas substituem 14,31Kg de concreto, além de reduzir energia e a emissão de carbono, redução do peso próprio e aumento dos vãos nas duas direções, visto que a conexão da laje diretamente nos pilares sem nenhuma viga através de concreto *in situ*. (SILVA, 2011)

Conforme Presotto (2017), a tecnologia bubbledeck é um processo industrializado, de maior qualidade, praticidade e agilidade no momento da montagem, requerendo menos mão de obra que a laje nervurada, que é construída por um processo artesanal, feito inteiramente na obra. As escoras da laje bubbledeck podem ser espaçadas a cada 3,5 m. Isso significa uma redução no escoramento em até 57%, comparando com uma laje nervurada.

Pode-se verificar a viabilidade da laje *Bubbledeck*, fazendo um comparativo entre esse método construtivo e a laje maciça tradicional e nervurada. No qual, o volume de concreto utilizado e a quantidade de armadura longitudinal, positiva e negativa, seja necessária para que a laje consiga atingir diferentes comprimentos de vãos. No entanto, para a maior possibilidade de vão, a laje *Bubbledeck* apresentou o menor consumo de concreto. No quadro 2 está apresentada a espessura das lajes pelo método do vão.

QUADRO 2 – Espessura das lajes pelo método do vão.

Vão (m)	8	10	12	14
Maciça (cm)	20	25	30	35
Laje nervurada ATEX (cm)	28	33,5	40	47,5
Bubbledeck (cm)	23	23	28	34

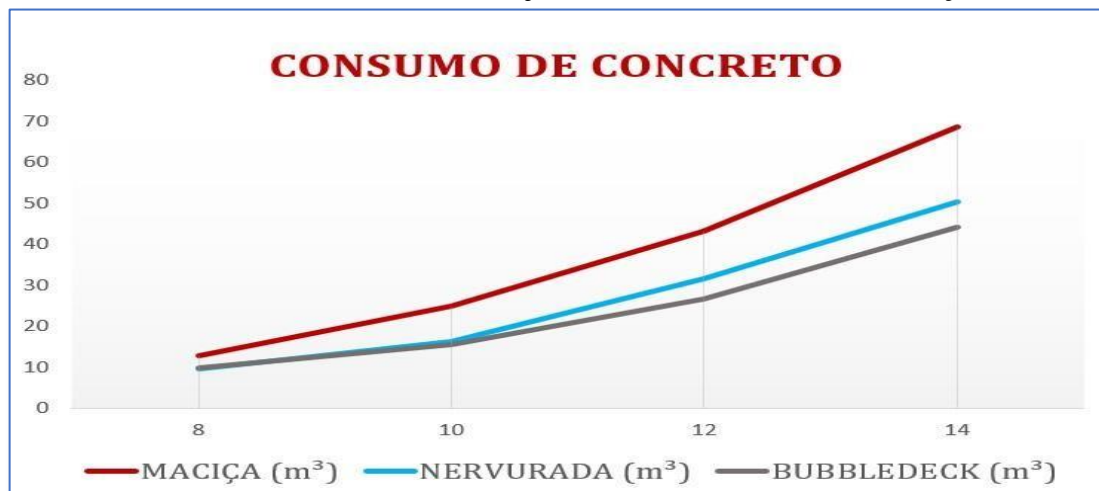
Fonte: BUBBLEDECK UK (2008).

No quadro 3 é realizada a comparação entre o volume total de concreto consumido.

QUADRO 3 – Consumo do Concreto.

Vão (m)	8	10	12	14
Maciça (m³)	12,8	25	43,2	68,6
Nervurada (m³)	9,47	16,34	31,61	50,47
Bubbledeck (m³)	9,83	15,37	26,58	44,2

Fonte: BUBBLEDECK UK (2008).

GRÁFICO 1 – Consumo de concreto laje bubbledeck, nervurada e maciça.

Fonte: On - line Especialize

De acordo com o gráfico 1, a revista On-line Especialize (2014) defende que para o consumo de concreto, o melhor resultado é para o sistema BubbleDeck, que é uma das principais vantagens citadas pela empresa e em artigos científicos. Esta vantagem não está ligada apenas a economia de concreto em laje propriamente dita, mas sim ao fato de a estrutura ter o peso expressivamente menor do que em outros sistemas construtivos, fato este que acarreta redução na carga da fundação e influencia todo dimensionamento estrutural, além de reduzir o tempo de concretagem e, conseqüentemente, proporcionar maior velocidade na execução dos pavimentos.

No quadro 4 apresenta-se algumas vantagens e desvantagens relacionadas aos dois sistemas de lajes:

QUADRO 4 – Laje BubbleDeck vs Laje Nervurada

Itens Principais	Nervurada	BubbleDeck
Procedimento executivo	Processo artesanal	Processo industrializado (Reduz o prazo de execução e os custos indiretos)
Técnica	Inadequado para ambiente sem forros	Acabamento aparente adequado ao projeto
	Economia no consumo de aço e concreto	Economia no consumo de aço e concreto
	Baixo potencial de isolamento acústico	Alto potencial de isolamento acústico
	Necessidades de vigas	Não existem vigas
	Vence grandes vãos	Vence vãos maiores que as nervuradas
Meio ambiente	Requer o uso de madeira no assoalho	Eliminação do uso de madeira no assoalho
Mão de obra	Mão de obra capacitada disponível no mercado	Necessidade de capacitação de mão de obra especializada no mercado
Histórico em obras	Solução plenamente difundida no mercado	Tecnologia nova no Brasil, porém já está sendo usada em mais de 30 países

Fonte: Parcianello, 2014

O sistema BubbleDeck indica um modelo construtivo apto a suprir as necessidades do mercado e ao mesmo tempo preservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais.

Apresentando um empreendimento sustentável que tenha em vista quatro requisitos básicos:

- Ecologicamente correto;
- Economicamente viável;
- Socialmente justo
- Culturalmente aceito

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a análise do capítulo anterior, os projetos de lajes Bubbledeck vem se tornando cada vez mais viável, mesmo sendo uma nova tecnologia na área da construção, considerando-se a tendência para o amanhã é construções que busca melhor economia e se torne cada vez mais sustentável na obra. Além desses fatores é possível construir espaços mais amplos, com menor consumo de aço e de concreto, como pode ser demonstrado pela comparação com os sistemas construtivos convencionais de laje maciça e nervurada.

Atualmente a tecnologia pode ser aplicada em estruturas com laje maciça bidirecional, assim como em outros tipos de construções residenciais, comerciais e industriais, encontrando-se presente em cerca de 30 países estando certificada em vários deles, tornando-se mais vantajosa para a maior possibilidade de comprimento de vão por espessura da laje.

Tratando-se de uma inovação na área da construção civil, foi possível observar que a laje Bubbledeck apresenta algumas vantagens em relação a alguns sistemas construtivos que são mais utilizados na construção civil no Brasil e é uma boa opção para quem busca modernidade, agilidade de produção e economia.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, Marcelo de Lima. **Análise de produtividade de lajes do tipo Bubbledeck**. UNB. Brasília. 2013.
- ARAÚJO, A. R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 113 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia e Tecnologia, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Brasil, 2014, 238 p.
- BUBBLEDECK UK. BubbleDeck Structure Solutions. **Channel Islands**. USA, 6 set. 2008. p. 1-7
- BUBBLEDECK-UK. **Technical Paper – BubbleDeck Slab Properties**. BubbleDeck UK Ltd. 2006.
- BUBBLEDECK-UK. **Tech Manual v1a**. BubbleDeck UK Ltd. 2008.
- CUNHA, J.C.A.C. **Análise de lajes nervuradas bidirecionais através de módulo simplificado**. 97f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2012.
- FEENER, Andrew. **Flexural Comparison of a Concrete BubbleDeck Slab**. Dalhousie University. Halifax, Nova Scotia. 2005.
- FREIRE, Augusto. **Laje de concreto com esferas plásticas**. Techne, BRASIL, 2008.
- FREIRE, Tamara Carvalho. **Estudo comparativo para lajes cogumelo utilizando as tecnologias “bubbledeck” e atex**. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- GUEDES, N. D.; ANDRADE, R. L. **Avaliação de desempenho de estruturas utilizando lajes do tipo bubbledeck**. 106f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.
- HARDING, Paul. **BubbleDeck** – Advanced Structure Engineering. Cornerstone. Grand Rapids, USA. 2004. p.15 e 16.
- JÚNIOR, Ossimar Fernandes Duarte. **Laje Bubbledeck Características gerais e viabilidade executiva**. ISSN 2179-5568 – Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 8ª Edição nº 009 Vol.01/2014 dezembro/2014.
- LEMOS, P. **Sistemas de lajes mistas steel deck: análise comparativa com o sistema de lajes zero em concreto armado**. 2013. Dissertação de Graduação – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LIMA, H. J. N. de (2015). **Análise experimental à punção de lajes lisas tipo BubbleDeck**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 002 A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 113p.

MELO, Monaliza Fabricia. **Laje bubbledeck e sua viabilidade executiva**. 2017. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife, BA, 2017.

NOVAES, C. C. **A modernização do setor da construção de edifícios e a melhoria da qualidade do projeto**. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Qualidade no Processo Construtivo. Florianópolis. Anais. Santa Catarina, 1998

PARCIANELLO, Alexandre Thiago. **Planejamento e execução de lajes bubbledeck na obra: Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, 2004.

PRESOTTO, Ana Carolina. **Dimensionamento de laje lisa maciça de concreto armado e laje bubbledeck - estudo comparativo**. 93f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2017.

SILVA, Yuri Mariano de Oliveira. **Estudo comparativo entre lajes “Bubbledeck” e lajes lisas** Rio de Janeiro. 2011. UFRJ - Escola Politécnica. 2011

PINHEIRO, Gustavo F., **O gerenciamento da construção civil e o desenvolvimento sustentável: Um enfoque sobre os profissionais da área de edificações**. Campinas/SP 2002.

PRETTO, Solane. **Fôrmas Plásticas para Laje Nervurada**. 2013.

RODRIGUES, Fabrício. **As esferas plásticas-Bubbledeck para construção civil**. 2014. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico de Edificações, Associação Educacional e Tecnológica de Santa Catarina, Instituto Tecnológico Assessoritec, Joinville, 2014.

TÉCHNE. **Operação Econômica**, pg. 28-29. Editora Pini. Edição 220, julho 2015.