



Paranoá is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Fonte: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/issue/view/398>. Acesso em: 03 jan. 2022.

Referência

MORAES, Ailton Cabral *et al.* Sistema Modular Misto Sustentável - SMMS. **Paranoá**, Brasília, n. 15, p. 119-127, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n15.2015.09>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/11441/10073>. Acesso em: 03 jan. 2022.

Sistema Modular Misto Sustentável - SMMS

MORAES, Ailton Cabral¹
PANTOJA, João da Costa²
MIRANDA, Bianca de³
GOMES, Fabiana Vasconcelos⁴

¹Centro Universitário de Brasília, Brasil. ailtoncabral.moraes@gmail.com

²Universidade de Brasília, Brasil. joaocpantoja@gmail.com

³Centro Universitário de Brasília, Brasil. arq.bianca.miranda@gmail.com

⁴Centro Universitário de Brasília, Brasil. fvasconcelosgomes@gmail.com

Resumo

No contexto atual, as preocupações com o meio ambiente fazem com que a busca por soluções construtivas menos impactantes seja uma necessidade inadiável. Nesse sentido, o trabalho propõe a criação e análise de um sistema estrutural e construtivo misto para lajes e coberturas; que associa o concreto e a madeira, chamado de: SMMS (SISTEMA MODULAR MISTO SUSTENTÁVEL).

Uma análise comparativa entre o Sistema SMMS, demonstra um desempenho mecânico superior à alguns sistemas de lajes tradicionais e mostra o comportamento para diversas possibilidades de composição.

O seu bom desempenho mecânico, associado à diversas vantagens, como construtivas, ambientais, arquitetônicas e sensoriais, fazem do sistema uma solução interessante para as necessidades do mundo atual e com características únicas, que não podem ser alcançadas pelos sistemas tradicionais.

Palavras-Chave: Sistema Estrutural Misto, Concreto, Madeira

Abstract

In the present context, the concerns about the environment make the search for constructive less impacting solutions an urgent need. In this sense, the paper proposes the creation and analysis of a structural and constructive system for slabs and roofing, associating concrete and wood, called: SMMS (SUSTAINABLE MODULAR MIXED SYSTEM).

A comparative analysis between the SMMS system demonstrates a superior mechanical performance to some systems of traditional slabs and shows the behaviour for different composition possibilities.

Its good mechanical performance, associated with several advantages: constructive, environmental, architectural and sensitive, make the system an interesting solution for the needs of today's world, with some specific characteristics that cannot be achieved by any other traditional system.

Key-Words: Hybrid Structural System, Concrete, Wood.

1. Introdução

O trabalho propõe a criação e análise de um sistema estrutural e construtivo para lajes e coberturas; que associa o concreto e a madeira, chamado de: (SMMS (SISTEMA MODULAR MISTO SUSTENTÁVEL)).

A ideia consiste na associação dos dois materiais, mas cada um com uma função estrutural bastante específica: o concreto posicionado na parte superior absorve os esforços de compressão e a madeira na parte inferior absorve os esforços de tração.

Os componentes podem ser dimensionados conforme as necessidades de desempenho do projeto (resistência mecânica, contra vibrações, incêndio, isolamento termo acústico, etc), criando uma solução versátil e adaptável a diversas situações, além de possibilitar uma ampla variedade de composições – capaz de atender a diversos padrões estéticos e sensitivos (visual, tátil, acústico e olfativo).

Além dos aspectos acima citados: o incentivo ao uso de matéria prima renovável, biodegradável e com baixo consumo energético incorporado (madeira); a redução da geração de resíduos de madeira nos canteiros de obra proveniente de fôrmas e escoramentos e a otimização do consumo de matéria-prima de origem mineral não renovável (cimento e aço), também são aspectos importantes dentre os benefícios do sistema proposto.

2. Referencial Teórico

Na Europa existem vários exemplos de construções que utilizam sistemas mistos de madeira e concreto em edifícios escolares, residenciais, industriais e inclusive em pontes.

Como exemplo, cita-se um sistema horizontal semelhante ao proposto chamado D-Dalle (Figura 1), criado pela empresa suíça Concept Bois Structure / Concepts Bois Technologie (CBS - CBT). A D-Dalle é uma laje mista de madeira e concreto que consegue alcançar vãos livres de 10 a 18m. Consiste em peças de madeira aparafusadas intercaladamente com preenchimento de concreto, para aumentar o desempenho da mesma. Para esse sistema, utilizam-se madeiras de média densidade (de 500 a 720 kg/m³) e de alta densidade (acima de 720 kg/m³). Analisando as principais características na sua ficha técnica verificam-se: vãos livres de 10 a 18 metros, peso próprio a partir de 350 kg/m², resistência ao fogo de 30 a 90 minutos, armazenamento de CO₂ de 100 a 200 kg/m² e consumo de madeira de 0.17 a 0.26 m³/m².

Figura 1: Sistema D-Dalle / CBS-CBT



Fonte: Disponível em: <http://www.cbs-cbt.com/>

Segundo, o Professor Eng. Jean-Luc Sandoz, professor assistente da cadeira de Construção em Madeira da EPFL (École Polytechnique Federale de Lausanne) na Suíça e diretor dos escritórios de engenharia: Concept Bois Structure na França e Concepts Bois Technologie na Suíça: a economia da laje D-Dalle é garantida por seu conceito básico de integrar a multifuncionalidade e permitir vencer grandes vãos. Além disso, a leveza destas permite a economia sobre os pilares da estrutura vertical e fundações. Por exemplo: uma laje para vão livre de 15,00 m e 300 kg/m² de carga de uso pesará cerca de 350 kg/m², sendo muito menor que uma laje de concreto armado equivalente (3 à 6 vezes menos).

3. Metodologia

A primeira parte do trabalho consiste na descrição do sistema e seus componentes, definindo os três diferentes tipos de seções que serão analisados.

A avaliação e comparação do desempenho mecânico das seções são propostas através da relação da capacidade de carga e vão livre que compõe a segunda fase.

Para a verificação de desempenho mecânico dos elementos propostos, utilizou-se a teoria de homogeneização de seções e a fórmula de cálculo de deslocamento indicada na norma: NBR 7190, para Projetos de Estruturas de Madeira. As seções foram homogeneizadas para um único material, no caso: a madeira, e foram adotados conforme indicação da NBR 7190: o deslocamento limite (flecha máxima) de: $L / 350$ e o coeficiente modificador (k_{mod}) de: 0,56 (valor usual de carregamentos de longa duração em classes de umidade 1 e 2) para o cálculo do Módulo de Elasticidade Efetivo (E_{ef}).

Após os levantamentos de todos os dados foram feitas quatro análises comparativas:

1. Comparação do Sistema SMMS com Lajes Tradicionais (Treliçadas, Protendidas e Alveolares);
2. Comparação do Sistema SMMS, com diferentes valores de resistência característica do concreto (fck).
3. Comparação do Sistema SMMS, para diferentes classes de resistência da madeira.
4. Comparação da Seção 1 do Sistema SMMS, para diferentes composições.

A terceira etapa do trabalho consiste na análise e conclusão dos resultados.

4. Desenvolvimento

5. Descrição do sistema:

Para o presente trabalho foi proposto três módulos com seções indicadas nas Figuras 2, 3 e 4.

Os módulos são compostos pela associação entre três tipos de peças de madeira maciça (seção "L", "T" e "retangular") que se encaixam umas às outras através da utilização de barras roscadas, impedindo assim o escorrimento do concreto quando o mesmo é despejado sobre elas.

Figura 2: Corte Transversal Seção 1 (desenho do autor)

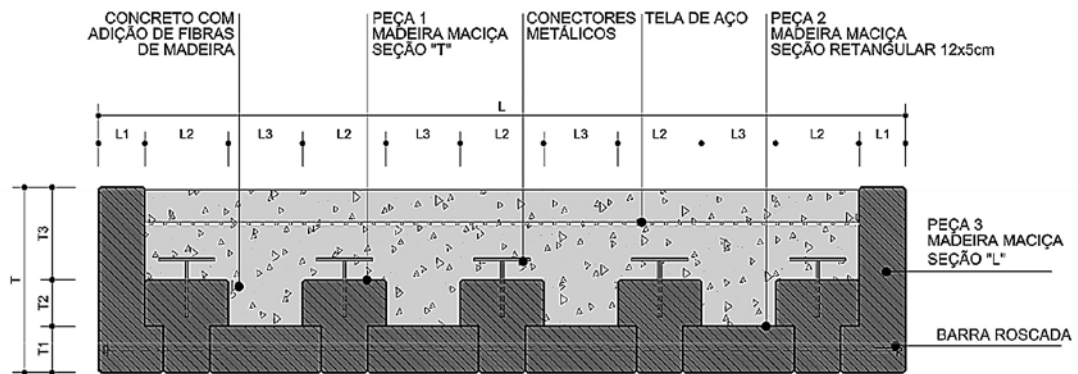


Figura 3: Corte Transversal Seção 2 (desenho do autor)

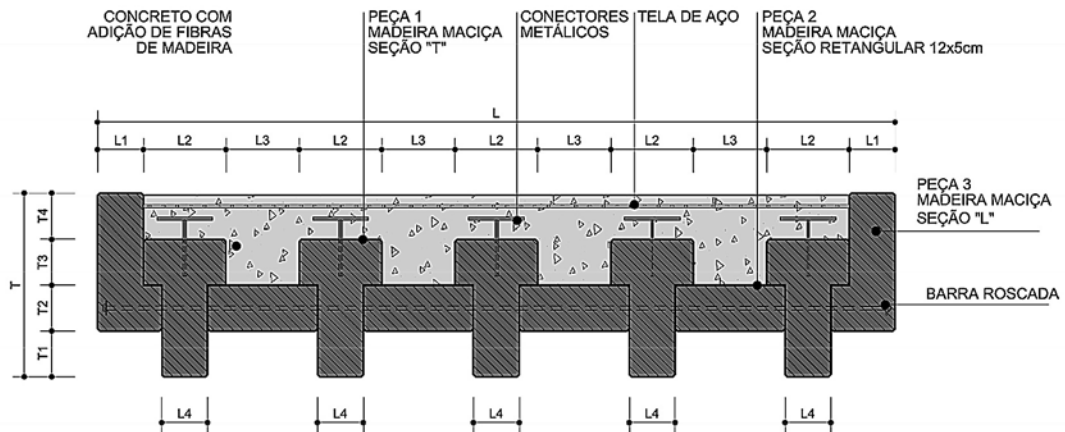


Figura 4: Corte Transversal Seção 3 (desenho do autor)

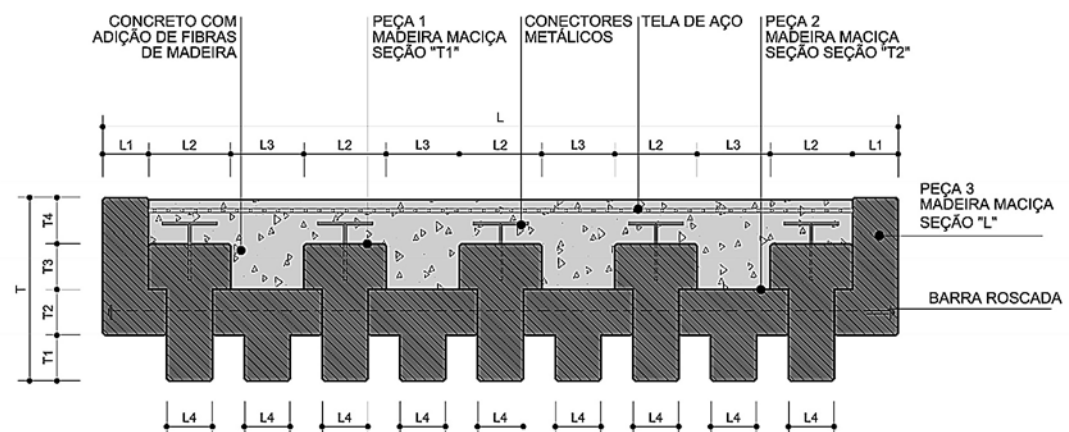
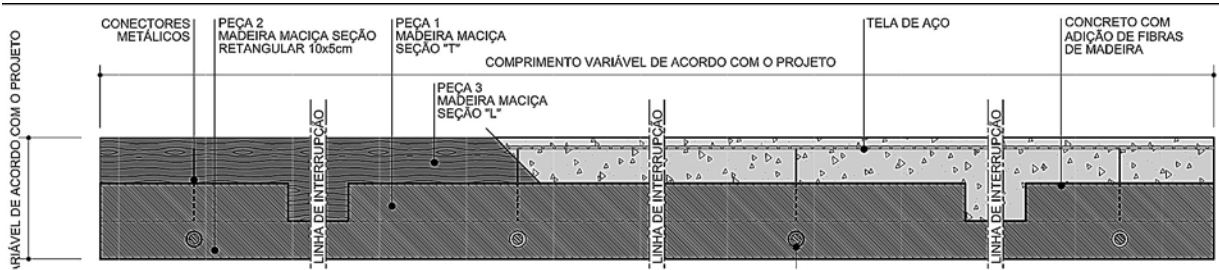
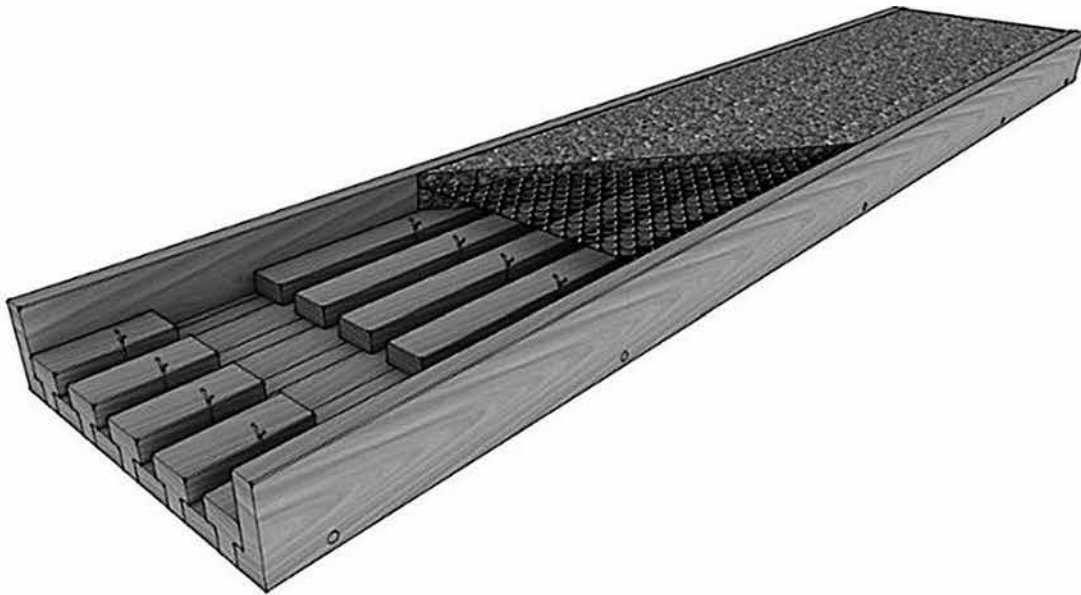


Figura 5: Corte Longitudinal (desenho do autor)**Figura 6:** Perspectiva do Módulo Seção 1 (desenho do autor)

As dimensões das camadas de madeira e de concreto, podem ser definidas a partir do vão livre, do carregamento aplicado, do desempenho termo acústico, contra vibrações e/ ou contra incêndio. A quantidade de peças poderá variar de acordo com a largura e a modulação do projeto ou conforme situações específicas de transporte e montagem.

Além de absorver os esforços de tração, as peças de madeira absorve também os esforços de cisalhamento entre os dois materiais, através do atrito criado pelas nervuras e através dos entalhes executados na face superior das peças de seção "T" (Figuras 5 e 6). A dimensão e distância desses entalhes são definidas conforme a magnitude dos esforços cortantes.

As peças de madeira maciça com seção "L" limitam a largura do elemento estrutural e contem lateralmente a camada de concreto. Tais peças definem a largura dos módulos a serem fabricados e sua altura depende das características do projeto.

É importante ressaltar que a madeira, além da função estrutural, desempenha as funções de

escoramento, fôrma e isolamento termo acústico.

A camada de concreto é responsável pela absorção dos esforços de compressão e também desempenha um importante papel no isolamento termo acústico do sistema.

Em relação ao concreto, uma possibilidade

interessante seria a adição de fibras de madeira, provenientes do próprio processo de produção dos componentes do sistema, de forma, a modificar as características de desempenho termo acústico e de fissuramento do concreto. Essa possibilidade é apenas especulativa, não sendo portanto avaliada nas análises apresentadas no trabalho.

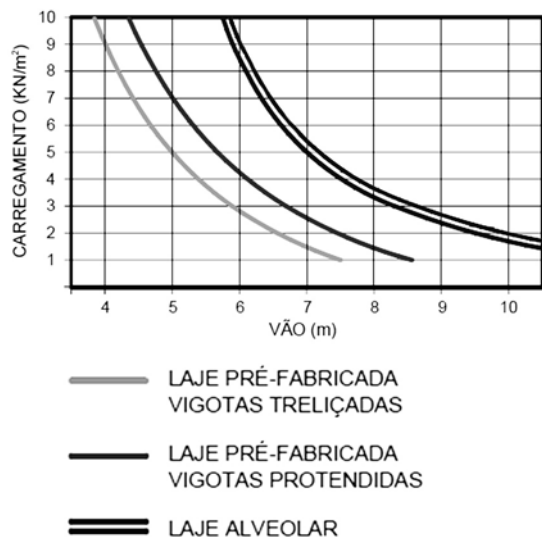
6. Análise Comparativa

7. Sistema SMMS versus Lajes Tradicionais

No primeiro estudo de caso, adotou-se como base um gráfico comparativo entre: lajes treliçadas,

protendidas e alveolares; disponível no site da empresa: Tatu Pré-moldados, apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Comparação de desempenho entre lajes treliçada, protendida e alveolar, com altura de 16 cm



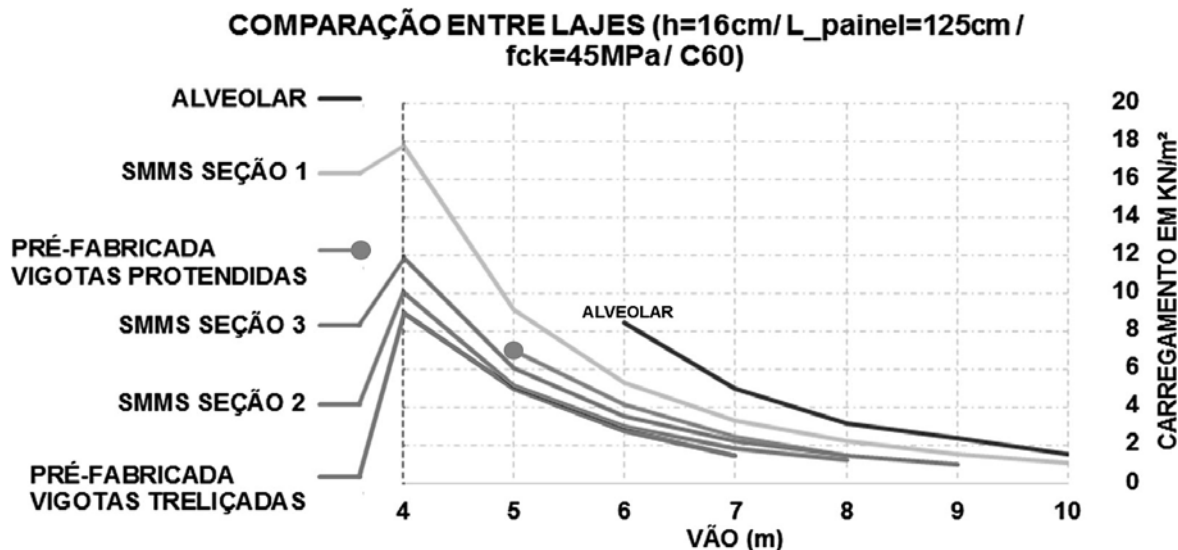
Fonte: Disponível em: <http://www.tatu.com.br/>

Tabela 1: Classe de Resistência para madeiras - Dicotiledôneas

DICOTILEDÔNEAS (valores na condição padrão de referência U=12%)					
CLASSES	COMPRESSÃO PARALELA (MPa)	CISALHAMENTO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE E (MPa)	DENSIDADE BÁSICA (kg/m³)	DENSIDADE APARENTE (kg/m³)
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

Fonte: ABNT 7190

Gráfico 2: Comparação de desempenho com lajes tradicionais



Fonte: elaborado pelo autor

O gráfico apresentado pela empresa, foi reproduzido para que pudéssemos sobrepor os resultados e comparar com os módulos do Sistema SMMS propostos.

É importante ressaltar que no gráfico apresentado, pela empresa Tatu Pré-moldados, as lajes comparadas possuíam uma altura de 16,00 cm e utilizavam um concreto com $f_{ck} \geq 45$ MPa. Conseqüentemente, adotou-se esses mesmos parâmetros para os módulos do Sistema SMMS. Em relação à madeira: considerou-se sua classe de resistência como: C 60 para dicotiledônias, com módulo de elasticidade (E) de 24.500 Mpa (Tabela 1).

Através do novo gráfico traçado (Gráfico 2), observamos que: a Seção 2 do Sistema SMMS, apresentou um desempenho ligeiramente superior às lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas e a Seção 3 apresentou desempenho superior às lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas, mas inferior às lajes pré-fabricadas com vigotas protendidas. A Seção 1 do Sistema SMMS, foi a que apresentou

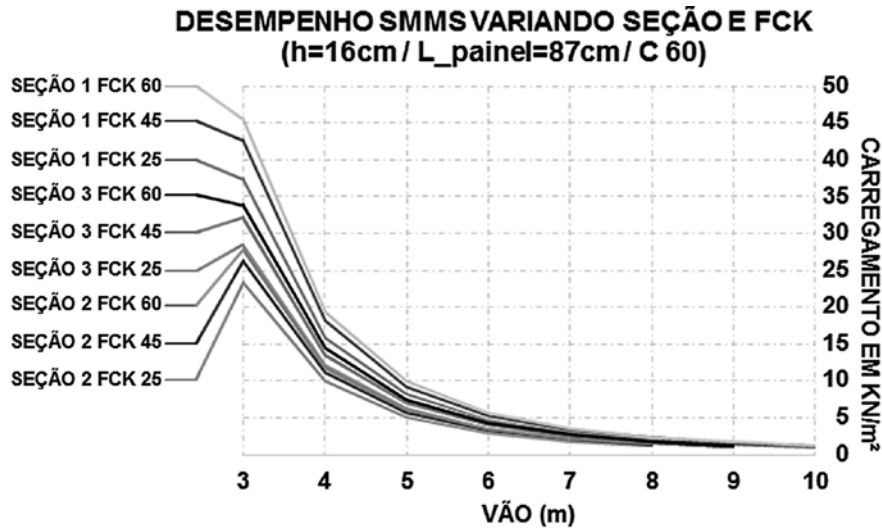
melhor desempenho dentre as três seções propostas, sendo superior às lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas e protendidas, mas inferior às lajes alveolares.

8. Desempenho do Sistema SMMS para diferentes valores de resistência característica do concreto (fck).

O gráfico confirma um comportamento já esperado. Uma relação diretamente proporcional entre a resistência característica do concreto (fck) e o desempenho do sistema, ou seja; quanto maior for o valor do fck, melhor será o desempenho do sistema.

Percebe-se também que a diferença de desempenho é mais acentuada para vãos entre 3,00 e 5,00 m e que dentre os três módulos propostos, a

Gráfico 3: Comparação de desempenho com variação do fckv

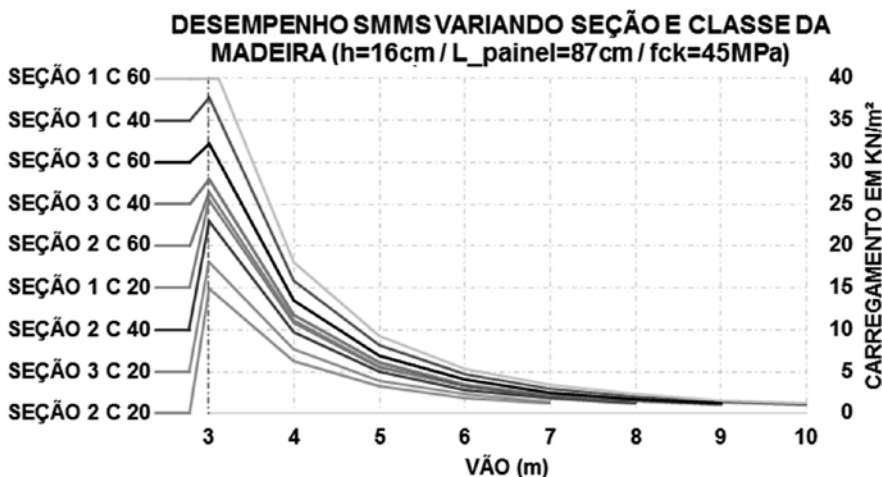


Fonte: elaborado pelo autor

Na segunda análise, manteve-se a classe de resistência da madeira fixa em: C 60 com módulo de elasticidade (E) em 24.500 MPa e variou-se o fck do concreto em 25 MPa, 45 MPa e 60 MPa para as três seções do Sistema SMMS (sempre com módulos de 16,00 cm de altura).

Seção 2 foi a que novamente apresentou pior desempenho, seguida pela Seção 3 e a Seção 1 foi a que apresentou melhor desempenho.

Gráfico 4: Comparação de desempenho com variação das classes de resistência da madeira



Fonte: elaborado pelo autor

9. Desempenho do Sistema SMMS para diferentes classes de resistência da madeira.

Na terceira análise, o fck do concreto foi fixado em 45 Mpa e variou-se as classes de resistência da madeira em C20 ($E = 9.500 \text{ MPa}$), C40 ($E = 19.500 \text{ MPa}$) e C60 ($E = 24.500 \text{ MPa}$) para as três seções propostas, sempre com 16,00 cm de altura.

pela Seção 3 e a Seção 1 foi a que apresentou melhor desempenho.

I. Desempenho da Seção 1 do Sistema SMMS para diferentes composições.

Na quarta análise, comparou-se o comportamento da Seção 1 do sistema proposto, com cinco possíveis tipos de composição,

Tabela 2: Composições Seção 1 do Sistema SMMS

	fck CONCRETO	CLASSE DA MADEIRA	DESEMPENHO
Composição 1	60 Mpa	C 60	Máximo
Composição 2	40 Mpa	C 40	Intermediário
Composição 3	20 Mpa	C 20	Mínimo
Composição 4	60 Mpa	C 20	Misto
Composição 5	20 Mpa	C 60	Misto

Fonte: elaborado pelo autor

Observou-se também a influência direta da classe de resistência da madeira no desempenho do sistema. Quanto mais resistente for a madeira, melhor será o desempenho do módulo.

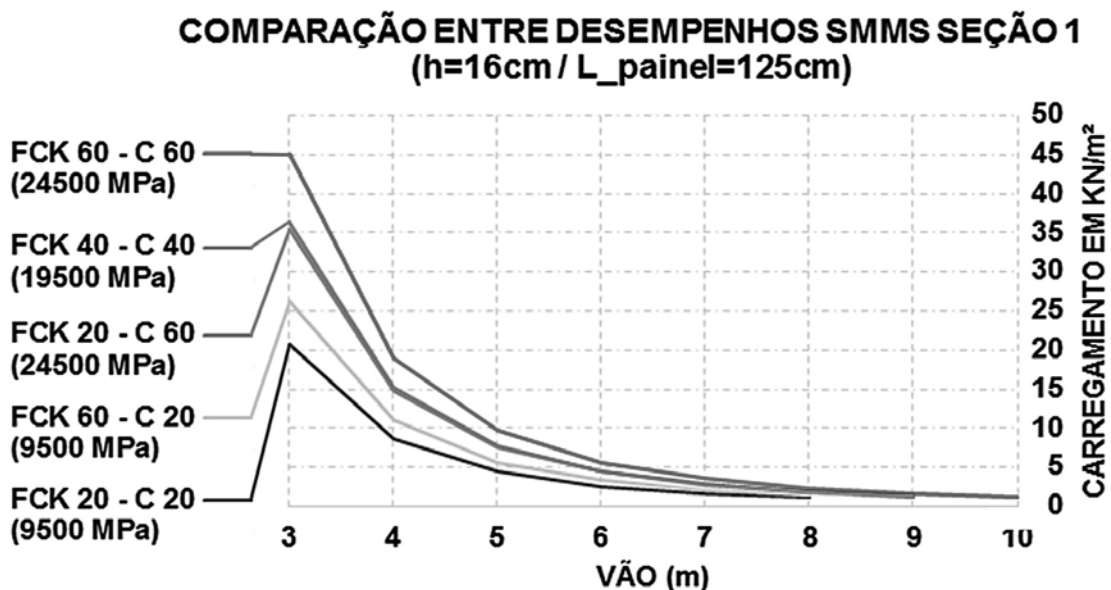
A diferença entre os resultados obtidos é relativamente significativa para vãos livres abaixo de 5,00 m. Novamente, a Seção 2 foi a que apresentou pior desempenho, seguida

variando-se a resistência característica do concreto (fck) e as classes de resistência da madeira.

Foram consideradas as seguintes composições:

Primeiramente traçou-se o desempenho das três primeiras composições para obtenção de parâmetros de referência (máximo, mínimo e intermediário), para posteriormente comparar

Gráfico 5: Comparação de desempenho Seção 1 com diferentes composições



Fonte: elaborado pelo autor

qual seria a melhor situação de desempenho misto: com o concreto mais resistente do que a madeira ou o contrário.

Verificou-se que a composição mista que apresenta melhor desempenho, é quando tem-se a madeira mais resistente do que o concreto. No gráfico, a Composição 5 (fck = 20 Mpa / C 60) apresenta melhor desempenho do que a composição inversa (Composição 4 - fck = 60 Mpa / C 20), ou seja, com o concreto mais resistente do que a madeira. Verificou-se também que o desempenho da Composição 5 é equivalente a uma situação de desempenho intermediário, com valores de resistência característica do concreto (fck) fixado em 40 MPa e a classe de resistência da madeira em C 40, com módulo de elasticidade (E) de 19500 MPa (Composição 3).

10. Possibilidades e Aspectos Arquitetônicos

A Figura 7 ilustra algumas possibilidades arquitetônicas do sistema e as Figuras 8 e 9, mostram dois possíveis detalhes, incorporando instalações termo acústicas extras aos módulos, mostrando a versatilidade e a incontável variedade de composições do sistema.

Figura 7: Possibilidades e aspectos arquitetônicos



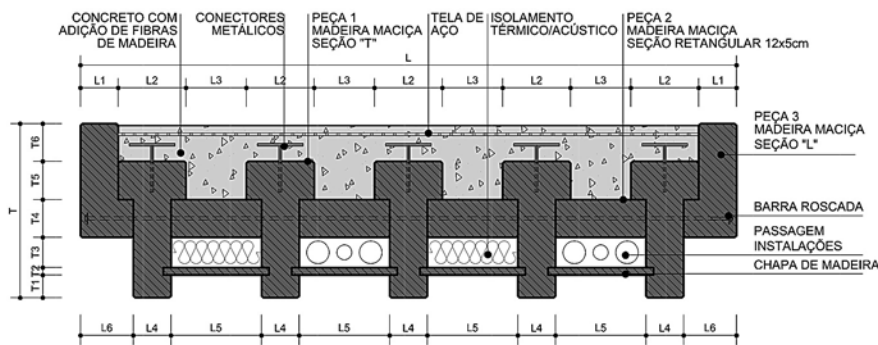
Fonte: elaborado pelo autor

11. Síntese e Conclusões

Através dos gráficos apresentados, verificou-se que o Sistema SMMS, é uma solução que apresenta bom desempenho mecânico sendo superior à algumas soluções tradicionais como as lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas e protendidas.

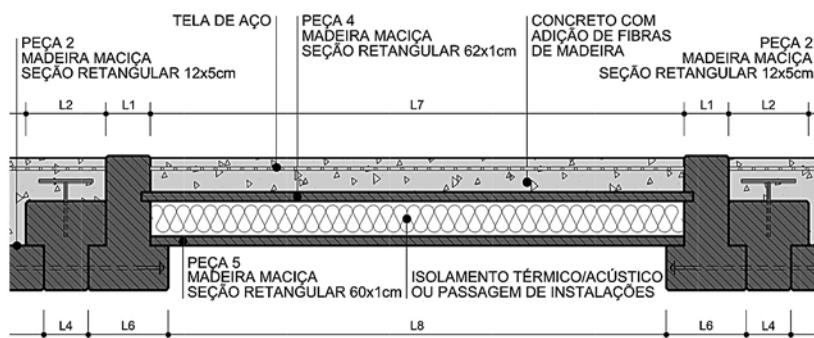
Conclui-se que em relação ao desempenho mecânico, o sistema proposto é uma solução bastante competitiva quando comparado às soluções tradicionais.

Figura 8: Corte Transversal (instalações e isolamento termo acústico embutidos)



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9: Corte Transversal (instalações ou isolamento termo acústico embutidos entre dois módulos)



Fonte: elaborado pelo autor

É importante ressaltar que o Sistema SMMS apresenta uma série de vantagens que somadas ao desempenho mecânico, podem torná-lo mais vantajoso do que as soluções tradicionais como:

1. Uso de matéria prima renovável com baixo consumo energético incorporado e biodegradável (madeira);
2. Fixação de CO₂ através do uso durável da madeira, diminuindo problemas relativos ao efeito estufa e aquecimento global;
3. Diminuição da emissão de CO₂, na atmosfera proveniente da combustão da madeira de descarte;
4. Diminuição da geração de resíduos sólidos nos canteiros de obra;
5. Diminuição de despejo de resíduos sólidos nos aterros sanitários;
6. Aumento da vida útil dos aterros sanitários;
7. Possibilidade de reutilização de madeira proveniente do descarte de fôrmas de concreto ou de demolição;
8. Possibilidade de utilização de madeiras de bitolas reduzidas;
9. Incentivo à produção e reciclagem da madeira;
10. Incentivo ao controle e fiscalização na extração da madeira;
11. Geração de emprego e renda, para a população de áreas próximas às florestas;
12. Diminuição e otimização do consumo de matéria-prima de origem mineral, não renovável (cimento e aço);
13. Facilidade de transporte, montagem e manuseio;
14. Possibilidade de pré-fabricação total ou parcial;
15. Diminuição do tempo de obra;
16. Excelente desempenho termo acústico;
17. Excelente desempenho contra vibrações;
18. Excelente desempenho contra incêndio;
19. Eliminação de escoras e fôrmas de madeira nos canteiros de obra;
20. Não requer revestimento e acabamento final na parte de madeira;
21. Ampla gama de possibilidade de composições e padrões estéticos;

22. Definição / adequação do sistema à situações específicas de desempenho, transporte, montagem e padrões estéticos;

23. Possibilidade de incorporar aspectos estéticos e sensitivos (visual, tátil, acústico e olfativo) interessantes ao projeto; em virtude da utilização da madeira aparente.

24. Grande flexibilidade para atender as mais diversas situações de desempenho e exigências.

Dentre todas as vantagens listadas algumas delas merecem destaque especial: Primeiramente as diversas vantagens relacionadas às questões ambientais. No contexto atual as preocupações com o meio ambiente, fazem com que a busca por soluções menos impactantes seja realmente uma necessidade inadiável. Nesse sentido, o sistema proposto se destaca em relação a qualquer sistema tradicional.

O segundo ponto de destaque é a grande flexibilidade que o sistema proporciona para as mais diversas situações de desempenho, transporte, montagem e padrões estéticos. Essa ampla gama de possibilidades se traduz em um sistema que não apresenta restrições de uso, podendo ser aplicado para qualquer tipo de edificação.

O terceiro ponto é relativo as possibilidades arquitetônicas, ligadas às questões estéticas e sensoriais. Uma série de detalhes podem ser trabalhados, criando-se uma riquíssima gama de detalhes e efeitos. A espessura das peças de madeira, a diferença de profundidade entre elas, a intercalação de tipo e cor das espécies utilizadas, o tipo de corte das peças (reto, chanfrado, inclinado, abaulado, côncavo, convexo, etc), o tipo de acabamento, entalhes e/ou frisos e iluminação integrada; podem criar efeitos visuais e de sensações impossíveis de serem atingidos por outros sistemas, pois utilização da madeira aparente em grande quantidade traz consigo aspectos sensoriais relacionados ao tato, visão, audição e olfato que nenhum outro material consegue copiar.

12. Referências Bibliográficas

HERZOG, Thomas; NATTERER, Julius; SCHWEITZER, Roland; WINTER, Wolfgang. Timber Construction Manual. Birkhäuser, Basel, 2004. (ISBN 3-7643-7025-4)

MOLITERNO, Antônio. Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira. Edgard Blücher Ltda, 2003, 2ªed.

PFEIL, Walter; PFEIL Michele. Estruturas de Madeira - 6ª Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2003.

NATTERER, Julius; SANDOZ, Jean-Luc; REY, Martial. "Construction en Bois: Matériau, Technologie et Dimensionnement", Traité de génie Civil de L'École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL, Volume 13. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2000. (ISBN 2-88074-400-8)

SANDOZ, Jean-Luc; Descriptive Technique D-Dalle, CBS – Concpet Bois Structure / CBS – Concpet Bois Structure, disponível em:

<http://www.cbs-cbt.com>. Acesso em 27 de setembro de 2014. NBR7190/97. Projeto de Estruturas de Madeira. Agosto de 1997