O USO DE *DESIGN STRUCTURE MATRIX* PARA IDENTIFICAÇÃO DE ASPECTOS CRÍTICOS INERENTES À ADOÇÃO DE TECNOLOGIA CONSTRUTIVA[1]

SATO, L., Unidade EMBRAPII – Poli USP, e-mail: luana.sato@embrapii.poli.usp.br; BARROS, M. M. S. B., Universidade de São Paulo, e-mail: mercia.barros@usp.br; GONÇALVES JR., Unidade EMBRAPII – Poli USP, e-mail: marco.goncalves@embrapii.poli.usp.br; CEOTTO, L. H., Unidade EMBRAPII – Poli USP, e-mail: lhceotto@terra.com.br; JUNGINGER, M., Universidade de São Paulo, e-mail: max.junginger@lme.pcc.usp.br; JOHN, V. M., Universidade de São Paulo, e-mail: vanderley.john@lme.pcc.usp.br

ABSTRACT

The insertion of a constructive technology innovation in the production of buildings, without due systemic analysis, can generate liabilities that may jeopardize its future consolidation in the market. As the building is a complex system, the systemic assessment of its behavior in use is essential. Other industries such as aerospace, which also work with complex products, adopt as a tool of analysis the Design Structure Matrix (DSM), aiming the subdivision of complex problems into smaller and easier to solve ones. The objective of this work is to verify the feasibility of using the DSM tool for analysis of innovative construction technologies. A literature review was made for fully understand the tool, which was applied in a case study involving Light Steel Framing, taking as parameter of analysis the Performance Standard (ABNT NBR15575: 2013). The result obtained confirm that the DSM induces a systemic look at all the interactions generated by the new technology in the constructive context of the building and, by this, allows a broader and deeper analysis of the consequences of adopting the new technology. It can also be concluded that its efficiency in evaluating complex problems depends on the maturity of the team performing it.

***Keywords**: Research and development (P&D). Design structure matrix. Light steel framing. Building performance.*

1 INTRODUÇÃO

A introdução de sistema construtivo inovador na produção de edifícios envolve dificuldades de análise de consequências inerentes às novas interações.

A dificuldade de previsão de todas as interações e de seus respectivos riscos tem levado o meio técnico a buscar métodos e ferramentas de análise que auxiliem na etapa de verificação de viabilidade técnica, pois a adoção de uma nova tecnologia sem que se conheça o seu comportamento em uso, pode gerar barreiras de aceitação, de difícil transposição posterior.

A *Design Structure Matrix* – DSM, tem sido utilizada em segmentos industriais de alta e complexa tecnologia pois possibilita a análise sistêmica de problemas, usualmente associados à inovação de produtos ou de processos.

Essa ferramenta foi criada por Don Steward e sua primeira publicação data de 1981(DSMWEB.ORG, 2018). Desde então, foi estudada e replicada por

[1] SATO, L. *et al*. O uso de Design Structure Matrix para identificação de aspectos críticos inerentes à adoção de tecnologia construtiva inovadora. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

diversas indústrias (automotiva, aeroespacial, eletrônica, farmacêutica etc.), em inúmeras nações (Austrália, Alemanha, Japão, Reino Unido, Estados Unidos etc.) (EPPINGER, 2012). Como exemplos de sua utilização, são citados os desenvolvimentos de: motor híbrido pela BMW; turbina de jato comercial pela Pratt & Whitney; avaliação de risco da Mars Pathfinder pela NASA, dentre outros (EPPINGER, 2012, 2017).

Tanto quanto esses segmentos industriais, a indústria da construção de edificações também trabalha com produtos complexos. Por isto, a introdução de uma nova tecnologia pode, muitas vezes, levar a resultados inesperados, principalmente pela ausência de uma análise sistêmica do problema enfrentado. Então, a questão de pesquisa que se coloca é: seria viável a aplicação da ferramenta DSM ao desenvolvimento tecnológico de produtos e processos voltados à construção de edificações?

Buscando responder esta questão, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de aplicação da ferramenta DSM para análise de novas tecnologias a serem aplicadas no segmento de edificações. Para tanto, foi feita uma revisão bibliográfica para completo entendimento da ferramenta e, na sequência, ela foi aplicada em um estudo de caso envolvendo a tecnologia construtiva *Light Steel Framing* – LSF, empregada em edificação unifamiliar, tomando-se como parâmetro de análise a Norma de Desempenho (ABNT NBR15575:2013).

2 A FERRAMENTA *DESIGN STRUCTURE MATRIX*

A construção de uma DSM envolve a partição do problema complexo, organizando visualmente os elementos que o compõem em uma matriz quadrada (linhas e colunas com os mesmos rótulos). Essa forma de organização permite a identificação de interfaces – críticas ou não – entre os elementos, cuja análise e resolução são mais simples do que do todo.

Problemas de diferentes naturezas podem ser resolvidos com a DSM que pode ser utilizada no desenvolvimento de produto (análise interações entre as partes), otimização de processo (avaliação do fluxo de informações) ou avaliação de organização (análise das comunicações).

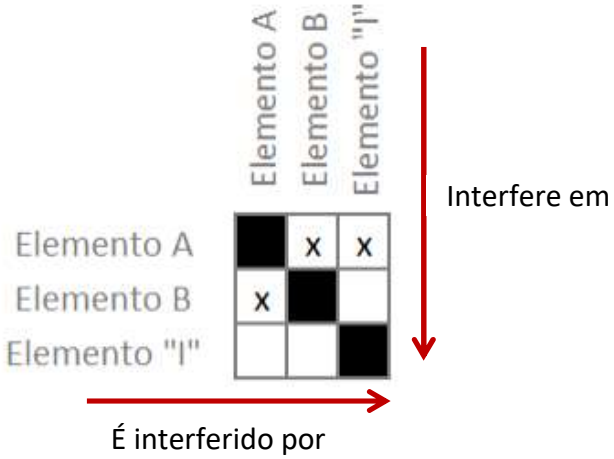
No Brasil, a DSM de processos foi abordada por Manzione (2006) e por Gualberto (2011), ambos com foco em gestão de projetos de edifícios. Porém, não foram identificados trabalhos relativos à aplicação da DSM para desenvolvimento de tecnologias construtivas inovadoras, foco deste trabalho.

Para montagem de uma DSM de componentes deve-se: 1) decompor o subsistema em elementos; 2) entender e registrar as interações entre esses elementos; 3) analisar o potencial de recomposição aproximando os grupos de elementos que interagem entre si (BROWNING, 2011).

Um exemplo simplificado (contendo as duas primeiras etapas antes citadas) de construção e análise do impacto de uma tecnologia inovadora (elemento "I") em um subsistema de um edifício, composto pelos elementos A e B é apresentado na Figura 1.

O preenchimento da matriz não é simétrico, ou seja, há uma lógica de preenchimento e, portanto, de leitura que deve ser seguida. Quando a leitura se orienta na direção horizontal, o primeiro elemento que aparece (rótulo horizontal) é interferido pelo vertical. Quando se orienta a leitura pela direção vertical, o primeiro elemento que aparece (rótulo vertical) interfere no horizontal. Verifica-se, pela Figura 1, que o Elemento A interfere e é interferido pelo B. Porém, no caso da interface entre os Elementos A e "I", A não interfere, sendo somente interferido por "I".

Figura 1 – Preenchimento e leitura de uma DSM

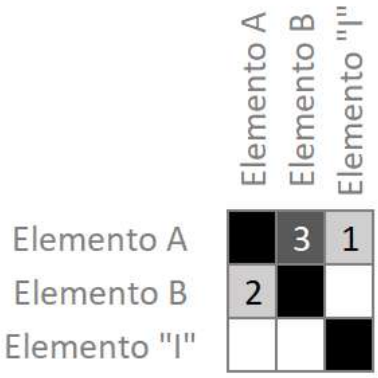


Fonte: Os autores

É possível graduar as interferências por marcações adicionais. Como pode ser visto na Figura 2, a interface entre os Elementos A e B é diferenciada da interface entre os Elementos A e "I", pela tonalidade da célula. Esse destaque pode identificar que o impacto de uma interface é mais alto do que o da outra.

Além disso, pode-se avaliar o nível de desenvolvimento das soluções para as interfaces, por meio de uma marcação numérica. Por exemplo, enquanto a solução para a interferência causada por B em A está consolidada no mercado, por meio de detalhes e ensaios (nível "3"), a solução para a interferência causada por "I" em A pode nem ter sido estudada ou sequer identificada (nível "1") (Figura 2).

Figura 2 – Marcações adicionais para destaque de criticidade na ferramenta DSM



Fonte: Os autores

Com as gradações distintas, é possível planejar a resolução do problema complexo, de acordo com sua relevância e urgência.

3 APLICAÇÃO DA DSM EM UM ESTUDO DE CASO

O Estudo de caso consistiu em analisar, pela aplicação de uma DSM, o nível de desenvolvimento das soluções das interfaces entre elementos que compõem a tecnologia construtiva LSF, ponderando-se o impacto de cada interface no desempenho do elemento e da edificação.

Os passos para a elaboração da DSM, e posterior análise, foram:

a) Divisão do edifício em subsistemas, os quais foram subdivididos em elementos e componentes (Quadro 1).

Quadro 1 – Exemplo de divisão do edifício em subsistemas, elementos e componentes.

Subsistema	Elementos e Componentes
Vedação vertical externa	Perfis metálicos Parafusos Peças de contraventamento Placas da face externa Acabamento externo Isolamento termo-acústico Barreira impermeável à água e permeável ao vapor Placas da face interna Acabamentos internos Impermeabilização da base do quadro metálico Impermeabilização das áreas molhadas Esquadrias: janelas; peitoril; guarda-corpo e portas Juntas

Fonte: Os autores

b) Reunião de grupo de pesquisa com diferentes experiências profissionais, para identificação e avaliação de interferências, bem como análise de criticidade em relação ao desempenho da edificação. Cada interface foi classificada em 3 níveis de impacto (Quadro 2).

Quadro 2 – Nível de impacto da interface dos componentes analisados no desempenho da edificação

Nível de impacto	Caracterização em relação ao desempenho
Alto (vermelho)	impacta criticamente
Médio (amarelo)	impacta medianamente
Baixo (azul)	quase não impacta

Fonte: Os autores

c) Avaliação de patamar de desenvolvimento das soluções para as interfaces identificadas. Cada interface foi classificada em 5 estágios de desenvolvimento (Quadro 3).

Quadro 3 – Patamar de desenvolvimento das soluções para as interfaces dos componentes analisados com foco no desempenho da edificação

Patamar de desenvolvimento	Caracterização
1	Interface sequer identificada / Interface nunca mencionada ou estudada
2	Interface identificada, mas sem solução definida
3	Interface com solução definida, mas sem detalhamento
4	Interface com solução definida, detalhada, mas não ensaiada
5	Interface com solução consolidada, amplamente empregada e comprovadamente aprovada por ensaios

Fonte: Os autores

d) Submissão dos itens identificados, com suas respectivas classificações, para comitê responsável pela elaboração da norma de LSF (ABNT/CB-217);

e) A partir da interação com especialistas, reconsideração das criticidades e eleição de itens mais críticos.

Para melhor entendimento, no quadro 4 é exposto um exemplo da análise da interface do elemento "guarda-corpo (de varanda)" com o elemento "estrutura do entrepiso".

Quadro 4 – Exemplo de aplicação

Interface avaliada	Etapa da análise	Classificação
Guarda-corpo (de varanda) *versus* estrutura do entrepiso	Criticidade em relação ao desempenho	"Alta" – afeta o desempenho estrutural, bem como a segurança no uso e operação
	Patamar de desenvolvimento da solução	"1" – Menção à interface não foi encontrada em nenhum material técnico (internacional ou nacional)
	Resposta dos especialistas (ABNT/CB-217)	Interface só foi ensaiada no caso de peitoril de janela, mas não no caso de um guarda-corpo de varanda
	Conclusão	A interface identificada é crítica e precisa ser solucionada

Fonte: Os autores

A partir dos passos descritos, foram identificadas mais de 320 interfaces, dentre elas, mais de 80 foram consideradas críticas, as quais, em um cenário com tempo exíguo, tornaram-se foco do desenvolvimento.

4 CONCLUSÕES

A partir da revisão bibliográfica que possibilitou entender a dinâmica de elaboração da DSM para sua posterior aplicação, foi possível avaliar o potencial dessa ferramenta na análise de inovações tecnológicas aplicadas à construção de edificações. A tecnologia do LSF foi decomposta em elementos e componentes, as interfaces identificadas pelos pesquisadores foram analisadas. Suas relações foram ponderadas de acordo com o impacto de cada uma no desempenho da edificação e segundo o patamar de desenvolvimento da sua solução no mercado.

Portanto, é possível afirmar que a DSM é uma ferramenta com grande potencial de aplicação na análise sistêmica de problemas de alta complexidade do setor da construção civil. A subdivisão do todo em elementos induz à varredura de todas as interfaces. A ponderação por impacto e grau de desenvolvimento de soluções aponta para a criticidade e embasa o planejamento para o desenvolvimento dessas soluções.

Porém, identificou-se que a qualidade da análise está diretamente relacionada à experiência da equipe que a realiza. O domínio sobre o comportamento do edifício é indispensável para a sua eficiência.

Além disso, a aplicação da DSM ao LSF demonstrou que, embora a tecnologia esteja disponível no mercado brasileiro há mais de 20 anos, ainda há aspectos construtivos e lacunas críticos a serem resolvidos, possivelmente devido à falta de uma visão sistêmica ao longo do seu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Comitê Brasileiro de Drywall pelo apoio técnico, e à Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) em conjunto com a CMC Lafaete pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 83p.

BROWNING, TYSON R. **Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions.** IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 48, nº 3, 292-306, 2001.

DSMWEB.ORG. Munique. Reúne conceitos e informações sobre Design Structure Matrix. Disponível em: < http://www.dsmweb.org/>. Acesso em fevereiro, 2018.

GUALBERTO, ANA CRISTINA F. **Aplicação da Ferramenta DSM – Design Structure Matrix ao Planejamento do Processo de Projeto de Edificações.** 2011. 197p.

Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, julho de 2012.

EPPINGER, STEVEN D. **Design structure matrix methods and applications.** Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology, 2012. 338p.

EPPINGER, STEVEN D. **Managing Complex Technical Projects.** Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology, [2017]. Slides de aula. 140p.

MANZIONE, LEONARDO. **Estudo de métodos de Planejamento do processo de Projetos de Edifícios.** 2006. 267p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.