**XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E
ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO**
**VIII ENCUESTRO LATINOAMERICANO DE GESTIÓN
Y ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Do conhecimento à ação: práticas avançadas de gestão da produção
Londrina, Paraná, Brasil. 23 a 25 de Outubro de 2019

**VARIABILIDADE DO TEMPO NO SISTEMA CONSTRUTIVO EM
AÇO E A TENDÊNCIA DOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS**
***TIME VARIABILITY IN THE STEEL CONSTRUCTION SYSTEM
AND THE TREND OF INDUSTRIALIZED SYSTEMS***

**CRUZ, Herbert Melo (1); COSTA, Breno da Cunha (2); REIS, Gabriel Fonseca
(3); SANTOS, Débora de Gois (4).**

(1) Instituto Federal da Bahia, hmc.014@hotmail.com; (2) Universidade de São Paulo,
brenocosta@usp.br; (3) Universidade Federal de Sergipe, eng.gabrielreisf@outlook.com; (4)
Universidade Federal de Sergipe, deboragois@yahoo.com.br.

ABSTRACT

One of the main challenges faced by the construction management is implementing activities on schedule, to avoid variability. This research aims to identify the causes of variability in steel constructions and compare their results with the literature. The method consisted of multiple case study with direct observations at six construction sites. A questionnaire with 31 causes of variability divided into categories was applied to construction workers to detect the frequency and intensity of delays. To obtain the results, the causes were grouped into risk levels using cluster analysis. In addition, an index called Delay Factor was used. Research has shown the eight main causes of variability in steel constructions. Statistical analyzes showed similarities between steel construction and other industrialized systems, such as: the most industrialized systems had less impact of process variability. Similarities were among the main causes of steel construction and concrete walls, in which the majority of the causes were related to the group work prerequisites, justified as peculiarities of industrial systems.

Keywords: *Causes of variability. Industrialized construction. Steel construction. Lean Construction.*

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas gerenciais que desafiam as empresas construtoras é o cumprimento da programação das atividades, ou seja, executá-las em tempo consoante ao planejado. Neste cenário, a variabilidade dos processos pode ser tomada como uma das fontes desta dificuldade.

Cruz, Santos e Mendes (2018) discutem que a tendência da industrialização dos sistemas construtivos pode torná-los mais suscetíveis à ocorrência e aos riscos da variabilidade, ao mesmo tempo os autores sugerem a partir dos resultados da pesquisa que, nesses sistemas industrializados, o impacto da variabilidade tende a ocorrer de forma mais amena em relação a sistemas mais convencionais.

Partindo deste pressuposto, este trabalho objetivou analisar as causas da variabilidade do tempo de execução dos processos no sistema construtivo em aço, verificando se este

apresenta resultados próximos a outros sistemas industrializados, confirmando a tendência de pesquisas anteriores.

2 SISTEMA CONSTRUTIVO EM AÇO E A VARIABILIDADE DE TEMPO NA CONSTRUÇÃO

Alguns autores (TOMMELEIN; RILEY; HOWELL, 1999; WAMBEKE; HSIANG; LIU, 2011; RUSSELL, 2013) reconhecem os desvios no cumprimento da programação das atividades como um tipo específico de variabilidade relacionado ao tempo de execução dos processos. O foco das pesquisas destes autores foi o estudo do impacto da variabilidade na produtividade do trabalho e na programação das obras.

Segundo Cruz, Santos e Mendes (2018), diversos fatores que podem ser reconhecidos como causas da variabilidade são encontrados na literatura ou verificados no cotidiano da construção, tais como: falhas na entrega de materiais, quebra de equipamentos e ferramentas, falta de informações, falta de recursos, desmotivação da mão de obra, fatores naturais (chuva, calor) e outros. Cruz (2017), identificou oito principais causas de variabilidade de tempo que podem afetar diversos sistemas construtivos e comparou com outras dispostas na literatura (Quadro 1).

Quadro 1 – Principais causas da variabilidade de tempo que afetam as obras

Ranking	Causa	Ranking das causas			Comparação com outros trabalhos			
		Descrição	Categoria	Fator de Atraso	Wambeke (2011)	Russel (2013)	De Filippi e Melhado (2015)	Reis et. al (2016)
1	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	6,81	NE	12 ^a	9 ^a	1 ^a
2	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	4,95	NE	11 ^a	NE	NE
3	12	Socialização	3. Mão de obra	4,93	3 ^a	NE	NE	NE
4	3	Retrabalho devido qualidade anterior	1. Pré-requisito do trabalho	4,39	6 ^a	3 ^a	7 ^a	2 ^a
5	15	Baixa disposição/motivação	3. Mão de obra	3,74	NE	NE	5 ^a *	5 ^a *
6	8	Requisitos de controle de qualidade	2. Detalhamento do projeto/ método do trabalho	3,29	NE	10 ^a	NE	NE
7	21	Tentativa de solicitação de materiais	5. Materiais e componentes	2,84	NE	NE	NE	NE
8	2	Conclusão dos trabalhos prévios	2. Pré-requisito do trabalho	2,61	2 ^a	2 ^a	NE	NE
Média				4,19	NE: Não existe			
Soma do Fator de Atraso (SFA)				33,55	* Considerada como baixa produtividade da mão de obra.			

Fonte: Cruz (2017).

Uma das principais características dos sistemas construtivos são suas etapas de execução, que impactam diretamente na organização e na redução da quantidade de ciclos. À medida que há uma redução destes ciclos, há uma tendência de redução da variabilidade (CRUZ; SANTOS; MENDES, 2018).

A construção em aço, apesar de englobar diversos aspectos da industrialização, ainda apresenta inúmeras variabilidades que impactam na relação tempo executado/programado da obra.

Identificar estas causas da variabilidade é importante pois os gestores podem priorizar aquelas a serem combatidas, permitindo obter maior economia no processo construtivo. Em outras palavras, eles podem concentrar seus esforços na eliminação das causas da variabilidade que fornecerão o maior benefício em termos de desempenho do projeto (WAMBEKE, HSIANG; LIU, 2011; RUSSEL, 2013).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa escolhida para ser empregada neste trabalho foi o estudo de casos múltiplos baseado em observações diretas de seis obras em Sergipe, que empregavam o sistema construtivo em aço. O Quadro 2 resume as principais características das obras.

Quadro 2 – Descrição dos objetos de estudo

Construtora	Obra	Tipologia construtiva	Nº de pavimentos	Serviços acompanhados	Nº de visitas
X	A	Comercial	2	Acabamentos; cobertura	3
Y	B	Residência unifamiliar	2	Estrutura	1
X	C	Edifício residencial	8	Estrutura; vedação	2
X	D	Edifício residencial	8	Fundação; estrutura	2
Z	E	Comercial	2	Estrutura; vedação	2
X	F	Comercial	2	Estrutura	1

Fonte: Os autores (2019).

O método de coleta, tratamento e análise dos resultados desta pesquisa foi o mesmo utilizado por Cruz, Santos e Mendes (2018), visando facilitar as comparações. A seguir, os procedimentos estão apresentados resumidamente.

Foi utilizado o questionário de causas da variabilidade para aplicação com engenheiros, mestres e operários, contendo 31 causas agrupadas em oito categorias (parte inferior da Figura 1, em Resultados), sete destas baseadas nas condições prévias de Koskela (2000) e uma relativa à gestão e fluxo de informações.

Há duas variáveis de análise (com horizonte de 1 semana de trabalho): a intensidade, cuja causa impacta no processo (horas de atraso); e a frequência, cuja causa ocorre no processo. A partir de escalas semânticas, foi possível atribuir características quantitativas a essas variáveis (Quadro 3). Para cada causa presente no questionário, os entrevistados atribuíam os graus para a intensidade e frequência de ocorrência.

Quadro 3 - Escala das variáveis

Grau	0	1	2	3	4	5
Intensidade	Não ocorre	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Frequência	Não ocorre	Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Sempre

Fonte: Cruz, Santos e Mendes (2018).

Foram empregados dois principais procedimentos de análise. A utilização do indicador Fator de Atraso (Equação 1) possibilitou a elaboração do *ranking* das principais causas de variabilidade, sendo feita também a soma do fator de atraso (SFA) das causas deste *ranking*.

$$FA = I \times F \quad (1)$$

onde, FA = fator de atraso;
I = intensidade;
F = frequência de ocorrência.

Outro procedimento de análise foi a classificação em níveis de risco. Nele, as causas foram representadas graficamente e agrupadas em quatro níveis de risco – utilizando a análise de *clusters* – que as classificaram em risco baixo, moderado, alto e extremamente alto.

Foram comparados os resultados obtidos neste trabalho com os apresentados por Cruz, Santos e Mendes (2018). Os sistemas construtivos abordados por estes autores foram: sistema estrutural de concreto armado com vedação em alvenaria (CAVA); alvenaria estrutural (AE); paredes de concreto moldadas no local (PCML).

As comparações foram realizadas baseadas nas oito principais causas de cada sistema devido à maior relevância apontada pelos estudos. Os dados referentes ao Fator de Atraso dos sistemas foram analisados a partir do teste t de *Student* na forma bicaudal, com hipótese nula de médias iguais para as duas amostras e nível de confiança de 95%. Para se rejeitar a hipótese de que as médias de FA entre dois sistemas comparados sejam iguais, é preciso atender às condições $T \text{ calculado} > T \text{ crítico}$ e $p\text{-valor} < 0,05$, considerando o nível de confiança adotado.

4 RESULTADOS

4.1 Identificação das principais causas da variabilidade de tempo

Os resultados obtidos a partir da utilização do Fator de Atraso e posterior elaboração do *ranking* estão mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 - Ranking das principais causas de variabilidade para o sistema em Aço

Ranking	Causa	Descrição	Categoria	Intensi- dade (I)	Frequên- cia (F)	Fator de Atraso
1	31	Impactos climáticos (calor excessivo, frio, vento, chuva)	8. Clima	3,09	2,70	8,34
2	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	2,20	1,33	2,93
3	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	1,64	1,70	2,79
4	3	Retrabalho exigido devido à qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	1,65	1,68	2,77
5	5	Inspeções de trabalhos previamente concluídos	1. Pré-requisito do trabalho	1,49	1,64	2,44
6	26	Espera para obter respostas sobre perguntas ou orientações sobre o projeto	7. Gestão, supervisão e fluxo de informações	1,67	1,45	2,42
7	7	Qualidade dos documentos	2. Detalhamento do projeto e método do trabalho	1,97	1,07	2,11
8	1	Obtenção de autorizações para iniciar o trabalho	1. Pré-requisito do trabalho	1,71	1,23	2,10
Média				1,93	1,60	3,24
Soma do Fator de Atraso						25,91

Fonte: Os autores (2019).

A relevância das oito principais causas é confirmada quando se observa que a sua soma do Fator de Atraso (SFA) (25,91) equivaleu a aproximadamente 60% da SFA total das 31 causas (45,99). Isto indica que essas oito causas são responsáveis pelo maior impacto da variabilidade no sistema.

O maior impacto foi expresso pela causa 31 (impactos climáticos), o que é justificado com os períodos nos quais as construções das obras analisadas ocorreram. O mês de setembro (quando ocorreu a coleta de dados), que geralmente é um dos períodos que menos chove em Sergipe, foi bastante chuvoso, superando as médias anuais históricas (INMET, 2017), logo, impactando o andamento de alguns serviços das obras, sobretudo aqueles que são executados em ambiente externo. É válido ressaltar que este resultado obtido pode estar ligado a uma característica momentânea ocorrida no período da coleta de dados.

Outra causa de grande impacto foi a 22, referente ao atraso no recebimento de materiais. Este problema foi bastante debatido durante as visitas aos empreendimentos, principalmente entre os engenheiros e mestres de obras. Eles relataram a dificuldade de encontrar no mercado bons fornecedores dos perfis metálicos, que atendam de maneira correta à logística programada.

Metade das oito causas estão ligadas à categoria de pré-requisito do trabalho: 3 (retrabalho devido à qualidade do trabalho anterior), 4 (baixa qualidade do trabalho anterior), 5 (inspeções de trabalhos previamente concluídos) e 1 (autorização para iniciar o trabalho). Isto pode estar relacionado ao próprio sistema construtivo, que, por ser mais industrializado, exige um maior planejamento e qualidade para iniciar os seus processos.

A causa 7 (qualidade dos documentos), assim como a causa 26 (espera para obter respostas sobre perguntas ou orientações sobre o projeto) também podem estar associadas às peculiaridades desse sistema, próprias de processos racionalizados.

4.2. Classificação das causas da variabilidade em níveis de risco

A classificação em níveis de risco é extremamente importante para permitir uma tomada de decisão em relação ao combate destas causas de variabilidades. O gráfico, demonstrado na Figura 1 foi obtido a partir das variáveis intensidade e frequência das 31 causas, em que foi utilizado o processo de análise de clusters.

Figura 1 – Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco.

Legenda das causas e respectivos grupos		
Pré-requisitos do trabalho	Mão de obra	Condições de trabalho e do local de trabalho
1 Autorizações para iniciar o trabalho	12 Socialização	23 Área de trabalho desordenada/canteiro congestionado
2 Conclusão dos trabalhos prévios	13 Absentismo	24 Leilante do local de trabalho
3 Retrabalho	14 Pessoas que chegam tarde/saem mais cedo	25 Forma de transporte do material
4 Baixa qualidade do trabalho	15 Baixa disposição/motivação	Gestão, supervisão e fluxo de informações
Detalhamento do projeto e método de trabalho	16 Falta de habilidade dos trabalhadores	26 Espera para obter respostas/orientações
5 Inspeções de trabalhos concluídos	Ferramentas e equipamentos	27 Pouco compromisso por cronograma
6 Construtibilidade do projeto	17 Confiabilidade de equipamentos / ferramentas	28 Mudanças nas atividades por alterações
7 Qualidade dos documentos	18 Disponibilidade de equipamentos / ferramentas	29 Comunicação entre engenheiro e mestre
8 Requisitos de controle de qualidade	19 Capacidade de equipamentos / ferramentas	30 Comunicação entre mestre e operários
9 Complexidade do trabalho	Materiais e componentes	Condições climáticas
10 Planejamento da sequência/método do trabalho	20 Falhas no recebimento dos materiais	31 Impactos climáticos
11 Baixo grau de repetição	21 Tentativa de solicitação de materiais	
	22 Recebimento atrasado de materiais	

Fonte: Os autores (2019)

Através da correlação calculada entre as variáveis intensidade e frequência, obteve-se um coeficiente de 0,86. De acordo com Morettin e Bussab (2012), isto mostra uma forte associação entre as duas variáveis, acarretando uma tendência linear crescente.

Esse tipo de tendência estabelece uma relação diretamente proporcional entre a frequência e a intensidade, tornando a variabilidade mais impactante para o processo produtivo.

Observando o gráfico da Figura 1, pode-se analisar que dez causas (32%) estão classificadas como de risco extremamente alto, seis causas (19%) como de risco alto, dez (32%) como moderado e 4 causas (13%) como de risco baixo.

Nota-se, portanto, uma grande quantidade de causas classificadas como de risco extremamente alto, que incluem todas as oito principais apontadas pelo *ranking*. Isto indica uma certa fragilidade do sistema construtivo para ocorrências de variabilidades no processo. Essa fragilidade pode ser explicada pela agilidade executiva imposta pelo próprio sistema construtivo.

Outro fator importante a ser observado no gráfico é a causa 31 (impactos climáticos), que se comportou como um *outlier*, impossibilitando enquadrá-lo em um dos níveis de risco. Os motivos deste comportamento foram explicados em 4.1.

4.3 Comparação com os resultados da literatura

São apresentadas as comparações entre os resultados do sistema construtivo em aço (deste trabalho) e os sistemas CAVA, AE e PCML (CRUZ; SANTOS; MENDES, 2018).

Nota-se (Quadro 5) que a diferença significativa apontada entre as médias do Fator de Atraso dos sistemas Aço e CAVA sugere um menor impacto da variabilidade para o este sistema industrializado. Agregado a este fator, a semelhança apresentada pelas outras duas comparações (Aço x AE e Aço x PCML) manifestam uma relação de menor impacto da variabilidade quando o processo construtivo tende a ser mais industrializado.

Quadro 5 – Comparação dos resultados do teste t de Student.

Médias do FA		Parâmetros	Comparação entre os sistemas		
			Aço x Cava	Aço x AE	Aço x PCML
CAVA	5,88	t calculado	2,25	1,26	0,56
AE	4,84	t crítico	2,16	2,16	2,36
PCML	3,66	p-valor	0,04	0,22	0,58
Aço	3,24	Diferença entre médias	Sim	Não	Não

Fonte: Os autores (2019).

Essa relação pode ser comprovada quando se comparam os resultados referentes à média e soma dos fatores de atraso (SFA) do sistema em aço com o PCML, identificados no Quadro 6. Outro fator de semelhança está nas causas apontadas pelos dois grupos, ambos apresentaram, em sua maioria, causas relacionadas ao grupo de pré-requisitos do trabalho, o que foi justificado anteriormente como sendo causas relacionadas à peculiaridade de sistemas mais industrializados.

Quadro 6 – Comparação entre os *rankings* do sistema construtivo em aço e do PCML.

Ranking das causas - AÇO					Ranking das causas - PCML (CRUZ; SANTOS; MENDES, 2018)			
Ranking	Causa	Descrição	Categoria	Fator de Atraso	Causa	Descrição	Categoria	Fator de Atraso
1	31	Impactos climáticos (calor excessivo, frio, vento, chuva)	8. Clima	8,34	17	Confiabilidade de equipamentos	4. Ferramentas e equipamentos	4,17
2	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	2,93	3	Retrabalho exigido devido à qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	3,86
3	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	2,79	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	3,82
4	3	Retrabalho exigido devido à qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	2,77	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	3,77
5	5	Inspecções de trabalhos previamente concluídos	1. Pré-requisito do trabalho	2,44	2	Conclusão dos trabalhos prévios	2. Pré-requisito do trabalho	3,58
6	26	Espera para obter respostas sobre perguntas ou orientações sobre o projeto	7. Gestão, supervisão e fluxo de informações	2,42	21	Tentativa de solicitação de materiais	5. Materiais e componentes	3,48
7	7	Qualidade dos documentos	2. Detalhamento do projeto e método do trabalho	2,11	1	Obtenção de autorizações para iniciar o trabalho	1. Pré-requisito do trabalho	3,38
8	1	Obtenção de autorizações para iniciar o trabalho	1. Pré-requisito do trabalho	2,10	13	Absentismo	3. Mão de obra	3,21
Média				3,24	3,66			
Soma do Fator de Atraso				25,91	29,28			

Fonte: Os autores (2019).

5 CONCLUSÕES

A análise permitiu ranquear as oito principais causas, que responderam pela maior parte do impacto da variabilidade dos processos. Além disso, a análise de *clusters* possibilitou a classificação das causas em níveis de riscos, apontando quais causas demandam ações mais imediatas.

Os resultados da análise do sistema em aço permitiram confirmar tendências de pesquisas anteriores em relação às peculiaridades da industrialização de sistemas construtivos. Quando comparado com outros sistemas através da análise dos dados pelo teste t de *Student*, o sistema em aço apresentou diferenças significativas do sistema CAVA, sugerindo que pode haver relação entre a industrialização dos processos construtivos e o menor impacto da variabilidade neste sistema. Este indício também foi apontado quando comparado ao PCML, além das semelhanças entre as médias e somas dos fatores de atraso, os *rankings* apresentaram, em sua maioria, causas relacionadas ao grupo de pré-requisitos do trabalho, que podem ser justificadas como peculiaridades de sistemas mais industrializados.

Recomenda-se para pesquisas futuras, principalmente visando discutir as possíveis tendências, a ampliação das análises para outros tipos de obras, sobretudo para as que apresentem características de industrialização, além da coleta de dados em outras localidades.

REFERÊNCIAS

CRUZ, H. M. **Análise das Causas da Variabilidade do Tempo de Execução dos Processos em Diferentes Sistemas Construtivos**. São Cristóvão, 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

CRUZ, H. M.; SANTOS, D. de; MENDES, L. A. Causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 49-65, jan./mar. 2018.

FONSECA, G. R. **Análise das Causas da Variabilidade de Tempo no Sistema Construtivo em Aço**. 69 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Chuva acumulada mensal versus chuva (Normal Climatológica 61-90)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 31/10/2017.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296p. Thesis (Doctor). Espoo, Finlândia: VTT. 2000.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 7 ed. São Paulo: Livraria Saraiva, 2012. 540 p.

REIS, C. J. L.; SEIXAS, R. M.; SILVA, G. B.; MAUÉS, L. M.; DUARTE, A. A. A. M. Identificação das causas de atrasos de obras: um estudo de caso na região metropolitana de Belém. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, 2016.

RUSSEL, M. M. **Allocation of Time Buffer to Construction Project Task Durations**. 2013. 180p. Dissertation (Doctor of Philosophy), Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, NC, 2013.

TOMMELEIN, I.; RILEY, D. R.; HOWELL, G. A.; Parade Game: Impact of work flow variability on trade performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 5, p. 304-310, 1999.

WAMBEKE, B. W.; HSIANG, S. M.; LIU, M. Causes of variation in construction project task starting times and duration. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 9, p. 663-677, 2011.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio recebido.