XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Considerações analíticas sobre o fluxo de equipes de produção e implicações para a elaboração de Linhas de Balanço

Analytical considerations on the flow of production crews and implications for Line of Balance scheduling

Eduardo Mesquita Santos Marques
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | e263558@dac.unicamp.br
Ariovaldo Denis Granja
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | adgranja@m.unicamp.br

Resumo

O uso de Linhas de Balanço tem sido constantemente associado ao Planejamento Baseado em Locais, mostrando-se como uma ferramenta útil na visualização do fluxo das equipes pelos locais de trabalho. No entanto, há escassez de estudos analíticos sobre a elaboração de linhas de balanço e suas implicações no fluxo de equipes. Este estudo tem por objetivo avaliar o efeito de um conjunto de variáveis associadas às linhas de balanço e seus impactos no fluxo de equipes pelos locais de produção. Para isto, utilizou-se um estudo de caso adaptado da literatura em uma sequência iterativa de análises, com a finalidade de descrever as principais considerações analíticas que compõem a elaboração de linhas de balanço e seus impactos no fluxo das equipes de produção.

Palavras-chave: Linhas de Balanço. Fluxo de equipes de produção. Lean Construction. Planejamento da Construção.

Abstract

The use of Lines of Balance has been constantly associated to Location Based Planning, it has been known as a useful tool for visually displaying the crews flowing through locations. However, there is a lack of analytical studies about line of balance scheduling and its implications on the workflow of the crews. This study aims to analyse the effect of a group of variables associated to lines of balance scheduling and their impacts on the flow of the work crews. To achieve that, a case study was followed in an iterative sequence to describe the main analytical considerations regarding Lines of Balance and the impacts on the flow of production crews.

Keywords: Lines of Balance. Flow of production crews. Lean Construction. Construction Planning.

Como citar:
MARQUES, E.M.S.; GRANJA, A. D. Considerações analíticas sobre o fluxo de equipes de produção e implicações para a elaboração de Linhas de Balanço. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022, p.1-16.

INTRODUÇÃO

Uma das técnicas recorrentes no Planejamento Baseado em Locais (PBL) para a visualização das equipes executando as atividades pelos locais de trabalho é a linha de balanço (LB) (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). O PBL inclui a LB para evitar que as equipes fiquem ociosas aguardando o trabalho ser liberado e os locais de trabalho não fiquem vazios aguardando as equipes, o que configura um desperdício ou perda de produtividade (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

Esta perda de produtividade pode ser dada pela interrupção do fluxo das equipes nos locais de trabalho, Arditi e Albulak (1986) postularam que a ociosidade das equipes se deve à violação do ritmo natural de produção (RNP) de uma atividade. Portanto, a taxa de entrega das atividades deve ser dimensionada de acordo com a capacidade de trabalho de cada equipe, adicionando-se ou subtraindo-se equipes, em vez de se alterar a composição das mesmas. Para a determinação do tamanho de uma equipe são utilizadas estimativas técnicas com base em dados históricos, registros próprios da equipe e consultas com especialistas (ARDITI et al., 2002).

Para a manutenção de um fluxo contínuo na produção, esta movimentação das equipes deve ser garantida a fim de ser evitar estoques de serviços e, portanto, aumentar a eficiência do fluxo de produção (LEHTOVAARA et al., 2021). O processo de elaboração de LBs deve, pois, ter um grau de detalhamento adequado ao considerar aspectos de produtividade das equipes e estimar durações e taxas de entrega capazes de emular a realidade de execução na obra (KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008). As principais dificuldades na elaboração das LB estão na definição das durações das atividades e das unidades de repetição, bem como na formulação matemática envolvendo as variáveis do planejamento (YANG; IAOANNOU, 2004; KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008).

Embora existam várias pesquisas na literatura sobre a elaboração de LBs para a obtenção do fluxo contínuo (ARDITI; ALBULAK, 1986; MENDES Jr; HEINECK, 1998; KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008; BIOTTO et al., 2017), estudos específicos sobre os impactos das variáveis que as compõem são escassos. Algumas variáveis de interesse deste estudo e seus impactos no fluxo das equipes pelos locais de produção são: durações das atividades, duração para conclusão de uma unidade de repetição, duração total do cronograma, taxas de entrega e número de equipes.

Este estudo tem por objetivo avaliar o efeito das variáveis acima no fluxo de equipes pelos locais de produção em obras e as respectivas implicações para a elaboração de LBs. Este artigo se baseia no estudo conduzido por Olivieri; Granja (2021).

MÉTODO

Utilizou-se como método de pesquisa um estudo de caso adaptado da literatura (LIMMER, 1997) caracterizado por 40 casas iguais, vinculadas a um prazo contratual de 120 dias, considerando-se uma jornada de 44 horas de trabalho semanais e cinco dias de trabalho por semana. As atividades necessárias para a execução de uma UR e a quantidade de homens-hora necessários estão resumidas na Tabela 1.

Primeiramente foram identificadas as atividades para execução de uma unidade de repetição com as relações lógicas entre elas e a quantidade de homens-hora necessárias, os dados de produtividade das equipes foram dados fornecidos para o cálculo das durações das atividades. Em seguida, foram calculadas as taxas de entrega das unidades de repetição. As linhas de balanço foram calculadas a partir de uma planilha eletrônica (POGET; GRANJA, 2017) e de um *software* de desenho assistido por computador. Este processo foi conduzido de forma iterativa para a otimização do planejamento, de forma a melhorar o fluxo das equipes nos locais de trabalho e reduzir desperdícios. Os resultados foram organizados em quatro situações, em cada etapa foram apresentados os dados obtidos nas análises das linhas de balanço.

Tabela 1 Atividades para uma UR e Hh necessários

Atividade	Homens-hora necessários
A - Fundações	120
B - Alvenarias	240
C - Inst. Hidráulicas	160
D - Cobertura	220
E - Esquadrias	60
F - Revestimentos	50
G - Ferragens	140
H - Inst. Elétricas	100
I - Acabamentos	120
J - Limpeza	25

Fonte: adaptado de Limmer (1997).

RESULTADOS OBTIDOS

SITUAÇÃO 1

A Situação 1 desenvolve-se a partir das considerações que o tamanho da equipe está definido pelo planejador (constante). A variável dependente do número de trabalhadores será, portanto, a duração das atividades. O Quadro 1 resume a relação lógica entre as atividades e o número de trabalhadores que compõem a equipe adotada para cada atividade, a Tabela 2 contém os cálculos das variáveis da Situação 1, a Tabela 3 apresenta os quantitativos da Situação 1, a Figura 1 contém as LBs da Situação 1, a Figura 2 mostra em detalhe a ociosidade das equipes na Situação 1 e a Figura 3 corresponde ao histograma de recursos da Situação 1.

Quadro 1 Dados da Situação 1

Atividade	Antecessora	Equipe adotada (trabalhadores)
A - Fundações		3
B - Alvenarias	A	5
C - Inst. Hidráulicas	B	3
D - Cobertura	B	5
E - Esquadrias	B	3
F - Revestimentos	D;E	3
G - Ferragens	F	4
H - Inst. Elétricas	F	4
I - Acabamentos	C;G;H	3
J - Limpeza	I	2

Fonte: adaptado de Limmer (1997).

Nesta situação temos a duração de 26,8 dias para a conclusão de uma UR. Para atender ao prazo estipulado, deve-se seguir a uma taxa de entrega aproximada de duas casas por semana, ou aproximadamente 0,42 casas por dia.

Os dados das tabelas foram obtidos a partir das seguintes equações:

$$t_e = \frac{N - 1}{P - d_{UR}}$$

$$d = \frac{M}{N_{trab} \times d_{jor}}$$

$$E = d \times t_e$$

Em que:

t_e é a taxa de entrega;

N é o número de UR;

P é o prazo da obra;

d_{UR} é a duração de uma UR;

d é a duração da atividade;

M é a quantidade de Homens-hora da atividade;

d_{jor} é a jornada diária de trabalho;

E é o número de equipes.

Tabela 2 Cálculos para a Situação 1

Atividade (1)	*M* Homens-hora/unid (2)	N_{trab} Número de trabalhadores por equipe (3)	*d* Duração (dias) (4)	*E* Número de equipes (5)	T_e Taxa de entrega (UR/dia) (6)
A - Fundações	120	3	4,55	2	0,42
B - Alvenarias	240	5	5,45	3	0,42
C - Inst. Hidráulicas	160	3	6,06	3	0,42

Atividade (1)	*M* Homens-hora/unid (2)	N_{trab} Número de trabalhadores por equipe (3)	*d* Duração (dias) (4)	*E* Número de equipes (5)	T_e Taxa de entrega (UR/dia) (6)
D - Cobertura	220	5	5	3	0,42
E - Esquadrias	60	3	3,41	2	0,42
F - Revestimentos	50	3	1,89	1	0,42
G - Ferragens	140	4	3,98	2	0,42
H - Inst. Elétricas	100	4	2,84	2	0,42
I - Acabamentos	120	3	4,55	2	0,42
J - Limpeza	25	2	1,42	1	0,42

Fonte: o autor.

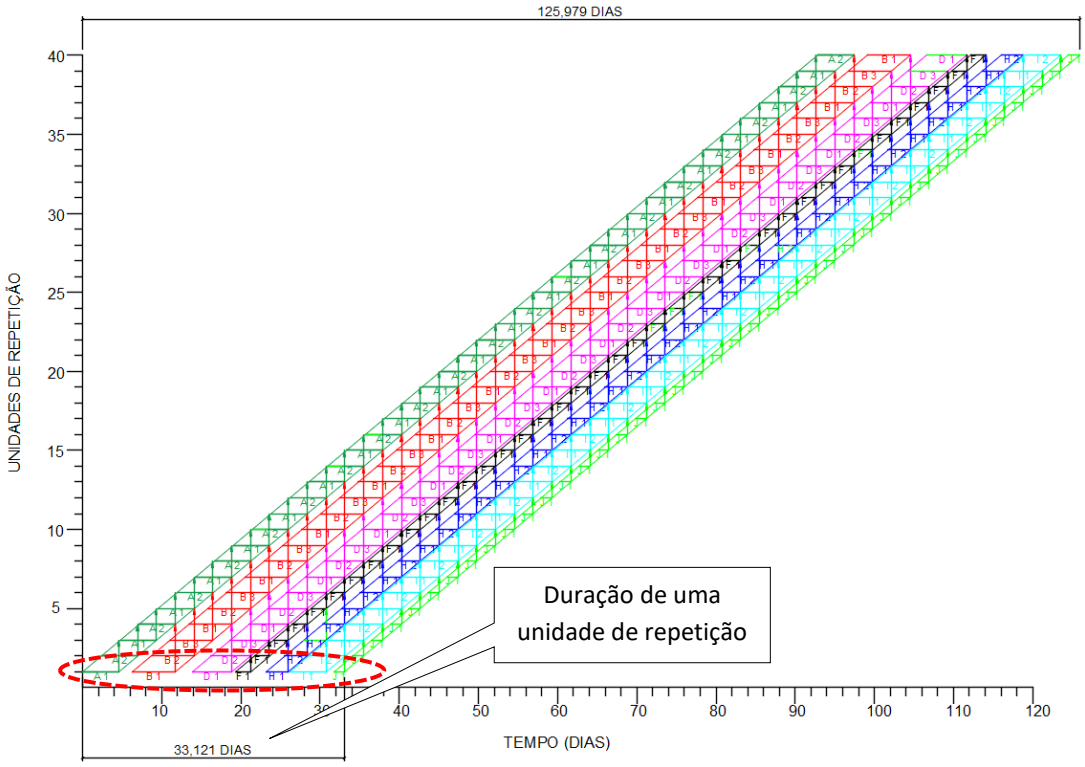
Tabela 3 Quantitativos da Situação 1

Atividade	N° Equipes	Taxa de entrega (UR/dia)	Trabalho necessário (homens-hora)	Trabalho necessário (homens-hora/UR)	Duração (dias)	Duração total (dias)	Tempo ocioso das equipes (dias)	Tempo ocioso total (dias)	Tempo ocioso (%)
A - Fundações	2	0,42	5017,38	125,43	4,55	97,41	0,21	8,05	0,08
B - Alvenarias	3	0,42	12347,97	308,70	5,45	98,31	1,69	62,64	0,64
C - Inst. Hidráulicas	3	0,42	7457,09	186,43	6,06	98,92	1,08	40,07	0,41
D - Cobertura	3	0,42	12288,57	307,21	5,00	97,86	2,14	79,29	0,81
E - Esquadrias	2	0,42	4957,19	123,93	3,41	96,27	1,35	51,37	0,53
F - Revestimentos	1	0,42	2501,32	62,53	1,89	94,75	0,49	19,15	0,20
G - Ferragens	2	0,42	6649,72	166,24	3,98	96,84	0,78	29,71	0,31
H - Inst. Elétricas	2	0,42	6569,46	164,24	2,84	95,70	1,92	73,03	0,76
I - Acabamentos	2	0,42	5017,38	125,43	4,55	97,41	0,21	8,05	0,08
J - Limpeza	1	0,42	1659,28	41,48	1,42	94,28	0,96	37,48	0,40

Desperdício: % do *lead time* da atividade sem adição de valor

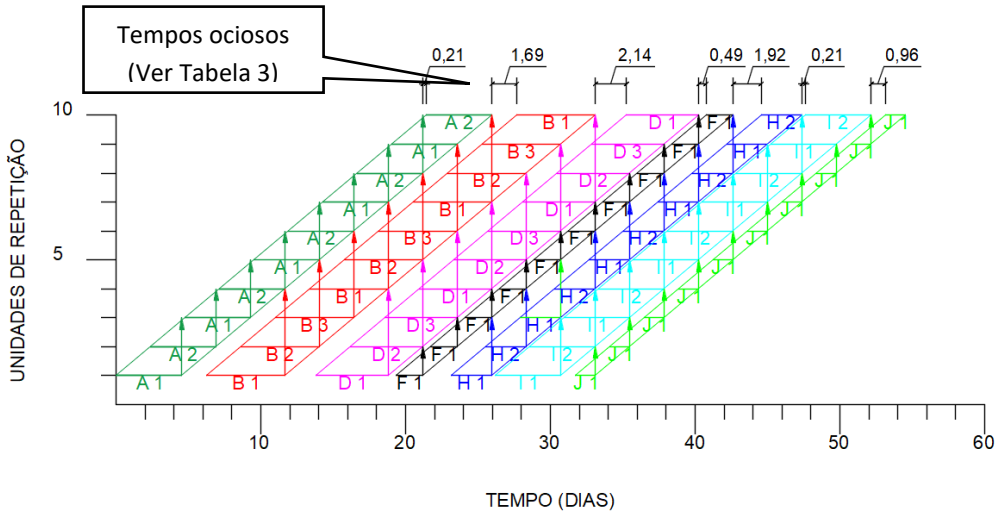
Fonte: o autor.

Figura 1 Representação das LBs da Situação 1



Fonte: o autor.

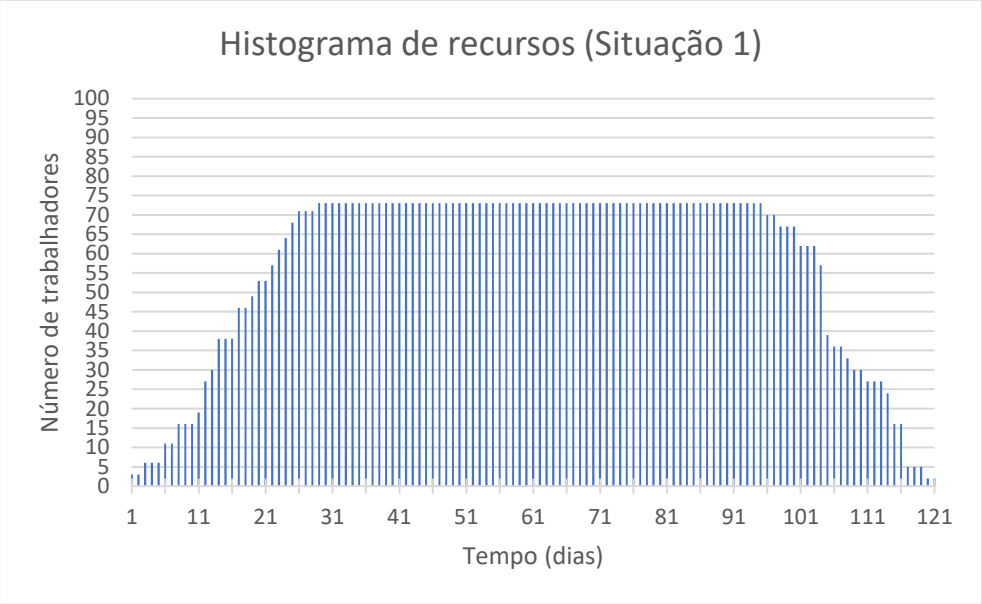
Figura 2 Movimentação das equipes pelos locais de trabalho (Apenas 10 primeiras unidades para melhor visualização)[1]



Fonte: o autor.

[1] As LBs das atividades C-E-G são sobrepostas e não foram representadas na Situação 1 para melhor visualização.

Figura 3 Histograma de recursos para a Situação 1



Fonte: o autor.

SITUAÇÃO 2

A diferença, neste caso, está na adoção de uma taxa de entrega específica para a execução de cada atividade, com a intenção de eliminar os tempos de espera observados na Situação 1, melhorando o fluxo das equipes pelos locais de trabalho e reduzindo-se o total de homens-hora necessários para cada atividade.

Nesta situação temos a duração de 64,6 dias para a conclusão de uma UR. Para atender ao prazo estipulado a partir da conclusão da primeira casa, deve-se seguir a uma taxa de entrega ajustada para cada atividade. A Tabela 4 contém os cálculos das variáveis da Situação 2, a Tabela 5 apresenta os quantitativos da Situação 2, a Figura 4 contém as linhas de fluxo da Situação 2, a Figura 5 corresponde ao histograma de recursos da Situação 2.

Tabela 4 Cálculos para a Situação 2

Atividade (1)	*M* Homens-hora/unid (2)	N_{trab} Número de trabalhadores por equipe (3)	*d* Duração (dias) (4)	*E* Número de equipes (5)	T_e Taxa de entrega (UR/dia) (6)
A - Fundações	120	3	4,55	3	0,66
B - Alvenarias	240	5	5,45	3	0,55
C - Inst. Hidráulicas	160	3	6,06	3	0,50
D - Cobertura	220	5	5	3	0,60
E - Esquadrias	60	3	3,41	3	0,88
F - Revestimentos	50	3	1,89	2	1,06
G - Ferragens	140	4	3,98	3	0,75
H - Inst. Elétricas	100	4	2,84	2	0,70
I - Acabamentos	120	3	4,55	3	0,66
J - Limpeza	25	2	1,42	1	0,70

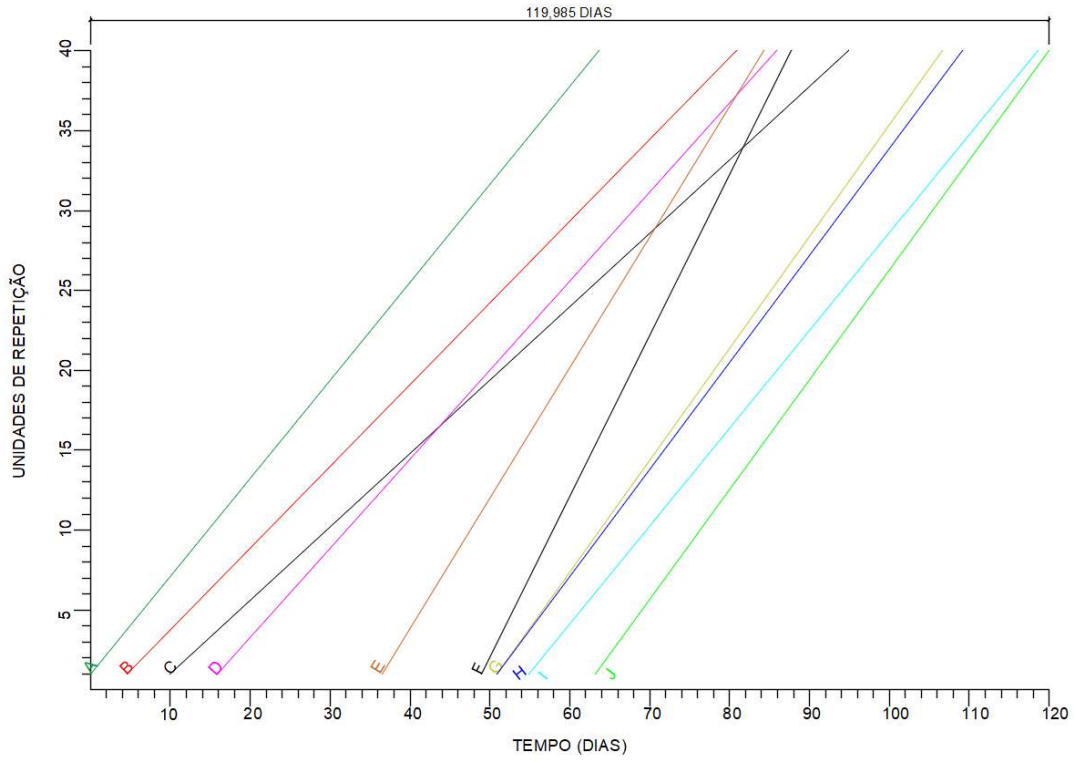
Fonte: o autor.

Tabela 5 Quantitativos para a Situação 2

Atividade	N° Equipes	Taxa de entrega (UR/dia)	Trabalho necessário (homens-hora)	Trabalho necessário (homens-hora/UR)	Duração (dias)	Duração total (dias)	Tempo ocioso das equipes (dias)	Tempo ocioso total (dias)	Tempo ocioso (%)
A - Fundações	3	0,66	4804,80	120,12	4,55	63,70	0	0	0
B - Alvenarias	3	0,55	9592,00	239,8	5,45	76,30	0	0	0
C - Inst. Hidráulicas	3	0,50	6399,36	159,984	6,06	84,84	0	0	0
D - Cobertura	3	0,60	8800,00	220	5,00	70,00	0	0	0
E - Esquadrias	3	0,88	2400,96	60,024	3,41	47,74	0	0	0
F - Revestimentos	2	1,06	1995,84	49,896	1,89	38,75	0	0	0
G - Ferragens	3	0,75	5603,84	140,096	3,98	55,72	0	0	0
H - Inst. Elétricas	2	0,70	3998,72	99,968	2,84	58,22	0	0	0
I - Acabamentos	3	0,66	4804,80	120,12	4,55	63,70	0	0	0
J - Limpeza	1	0,70	999,68	24,992	1,42	56,80	0	0	0

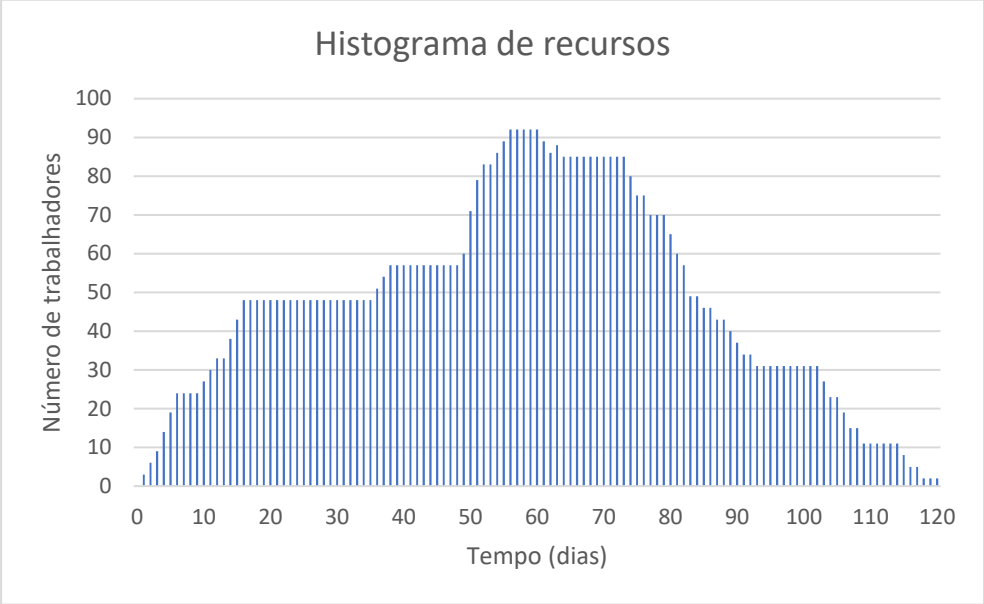
Fonte: o autor.

Figura 4 Linhas de fluxo para a Situação 2



Fonte: o autor.

Figura 5 Histograma de recursos da Situação 2



Fonte: o autor.

SITUAÇÃO 3

A Situação 3 tem como objetivo reduzir os desperdícios relacionados ao tempo de espera entre as atividades da Situação 2. A abordagem segue as condições ideais para geração de fluxo de produção em obras (SACKS, 2016) e inicia-se na definição da dependência lógica entre as atividades da UR, elaborada de maneira que elas sejam executadas sequencialmente. Em seguida buscou-se reduzir as durações das atividades através da alocação de recursos para as mesmas, ou seja, a equipe adotada foi alterada proporcionalmente aos seus índices de produtividade buscando-se uma duração uniforme entre as atividades e uma taxa de entrega uniforme para as mesmas.

A duração da UR foi estimada a partir de uma taxa de entrega de duas casas por semana, o que corresponde a 0,4 UR/dia, temos que:

$$t_e = tan\,\theta = \frac{N-1}{P-d_{UR}} \therefore d_{UR} = P - \frac{N-1}{t_e} = 120 - \frac{40-1}{0{,}4} = 22{,}5\ dias$$

Para a uniformização das 10 atividades, tem-se então que a duração desejada para as mesmas é de 2,25 dias. O Quadro 2 contém as relações lógicas entre as atividades para a Situação 2, a Tabela 5 contém os cálculos das variáveis da Situação 3, a Tabela 6 apresenta os quantitativos da Situação 3, a Figura 6 contém as LB da Situação 3, a Figura 7 corresponde ao histograma de recursos da Situação 3.

Quadro 2 Relação lógica entre as atividades da Situação 3

Atividade	Antecessora
A - Fundações	
B - Alvenarias	A
C - Inst. Hidráulicas	B
D - Cobertura	C
E - Esquadrias	D

F - Revestimentos	E
G - Ferragens	F
H - Inst. Elétricas	G
I - Acabamentos	H
J - Limpeza	I

Fonte: o autor.

Tabela 5 Cálculos para a Situação 3

Atividade (1)	*M* Trabalho necessário (homens-hora) (2)	*d* Duração (dias) (3)	N_{trab} N° trabalhadores (4)	N_{trab}' N° Trabalhadores adotado (5)	d_r Duração revisada (dias) (6)	*E* Equipes (7)	T_e Taxa de entrega (UR/dia) (8)
A - Fundações	120	2,25	6,06	6	2,27	1	0,44
B - Alvenarias	240	2,25	12,12	12	2,27	1	0,44
C - Inst. Hidráulicas	160	2,25	8,08	8	2,27	1	0,44
D - Cobertura	220	2,25	11,11	11	2,27	1	0,44
E - Esquadrias	60	2,25	3,03	3	2,27	1	0,44
F - Revestimentos	50	2,25	2,53	3	1,89	1	0,53
G - Ferragens	140	2,25	7,07	7	2,27	1	0,44
H - Inst. Elétricas	100	2,25	5,05	5	2,27	1	0,44
I - Acabamentos	120	2,25	6,06	6	2,27	1	0,44
J - Limpeza	25	2,25	1,26	1	2,84	2	0,70

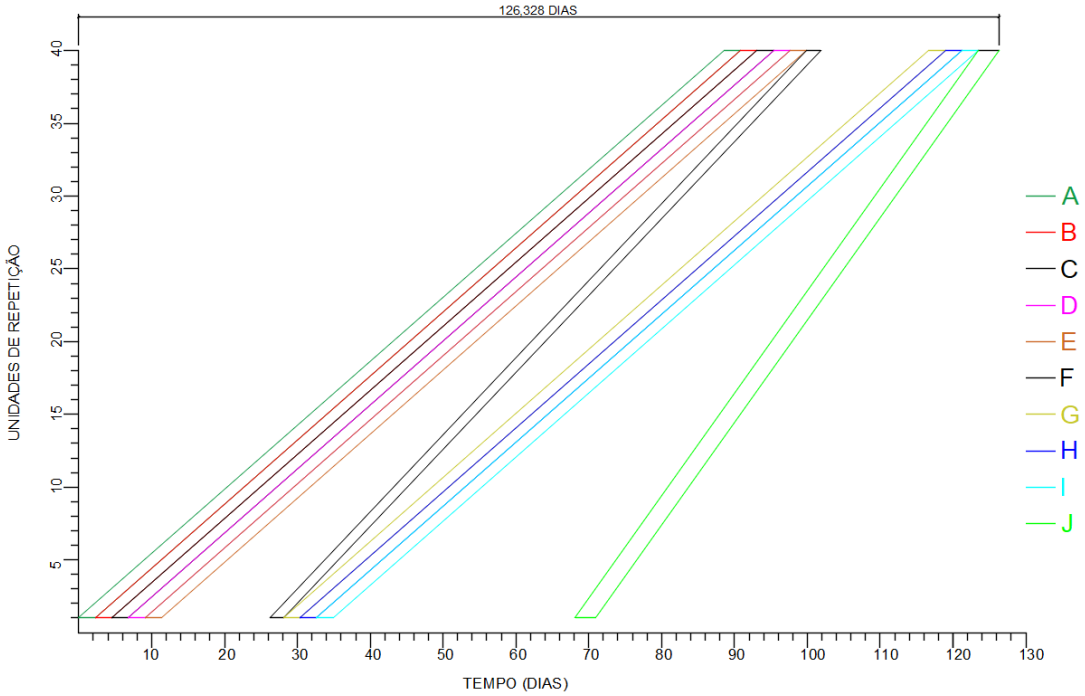
Fonte: o autor.

Tabela 6 Quantitativos para a Situação 3

Atividade	N° Equipes	Taxa de entrega (UR/dia)	Trabalho necessário (homens-hora)	Trabalho necessário (homens-hora/UR)	Duração (dias)	Duração total (dias)	Tempo ocioso das equipes (dias)	Tempo ocioso total (dias)	Tempo ocioso (%)
A - Fundações	1	0,44	4796,00	119,90	2,27	90,83	0	0	0
B - Alvenarias	1	0,44	9592,00	239,80	2,27	90,83	0	0	0
C - Inst. Hidráulicas	1	0,44	6394,67	159,86	2,27	90,83	0	0	0
D - Cobertura	1	0,44	8792,67	219,81	2,27	90,83	0	0	0
E - Esquadrias	1	0,44	2398	59,95	2,27	90,83	0	0	0
F - Revestimentos	1	0,53	2001,99	50,04	1,89	75,58	0	0	0
G - Ferragens	1	0,44	5595,93	139,89	2,27	90,83	0	0	0
H - Inst. Elétricas	1	0,44	3996,67	99,91	2,27	90,83	0	0	0
I - Acabamentos	1	0,44	4796	119,90	2,27	90,83	0	0	0
J - Limpeza	2	0,70	1024,52	25,61	2,84	58,21	0	0	0

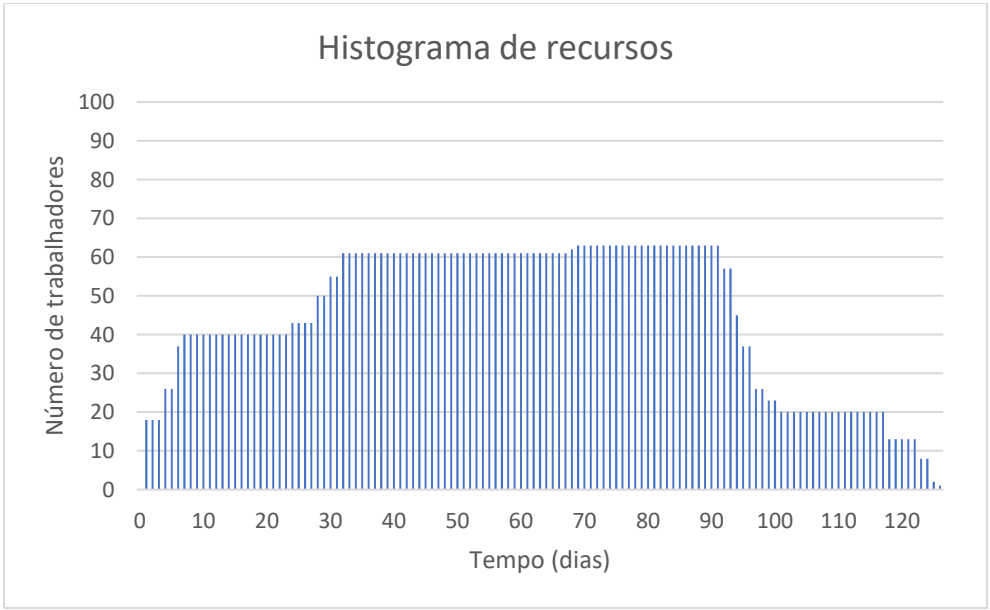
Fonte: o autor.

Figura 6 Linhas de balanço para a Situação 3



Fonte: o autor.

Figura 7 Histograma de recursos para a Situação 3



Fonte: o autor.

SITUAÇÃO 4

A Situação 4 corresponde à otimização da Situação 3. Foram mantidas as dependências lógicas entre as atividades para que todas se tornassem críticas no planejamento e a composição da equipe adotada das atividades, exceto as atividades F e J. Estas alterações correspondem à estratégia de solicitar que um funcionário esteja

trabalhando por meio período (4,4 horas) na respectiva atividade, o que possibilitou para a atividade F o balanceamento da taxa de entrega com as demais atividades.

A Tabela 6 contém os cálculos das variáveis da Situação 4, a Tabela 7 apresenta os quantitativos da Situação 4, a Figura 8 contém as LB da Situação 4, a Figura 9 corresponde ao histograma de recursos da Situação 4.

Tabela 6 Cálculos para a Situação 4

Atividade (1)	*M* Trabalho necessário (homens-hora) (2)	*d* Duração (dias) (3)	N_{trab} N° trabalhadores (4)	N_{trab}' N° Trabalhadores adotado (5)	d_r Duração revisada (dias) (6)	*E* Equipes (7)	T_e Taxa de entrega (UR/dia) (8)
A - Fundações	120	2,25	6,06	6	2,27	1	0,44
B - Alvenarias	240	2,25	12,12	12	2,27	1	0,44
C - Inst. Hidráulicas	160	2,25	8,08	8	2,27	1	0,44
D - Cobertura	220	2,25	11,11	11	2,27	1	0,44
E - Esquadrias	60	2,25	3,03	3	2,27	1	0,44
F - Revestimentos	50	2,25	2,53	3	1,89	1	0,53
G - Ferragens	140	2,25	7,07	7	2,27	1	0,44
H - Inst. Elétricas	100	2,25	5,05	5	2,27	1	0,44
I - Acabamentos	120	2,25	6,06	6	2,27	1	0,44
J - Limpeza	25	2,25	1,26	1	2,84	2	0,70

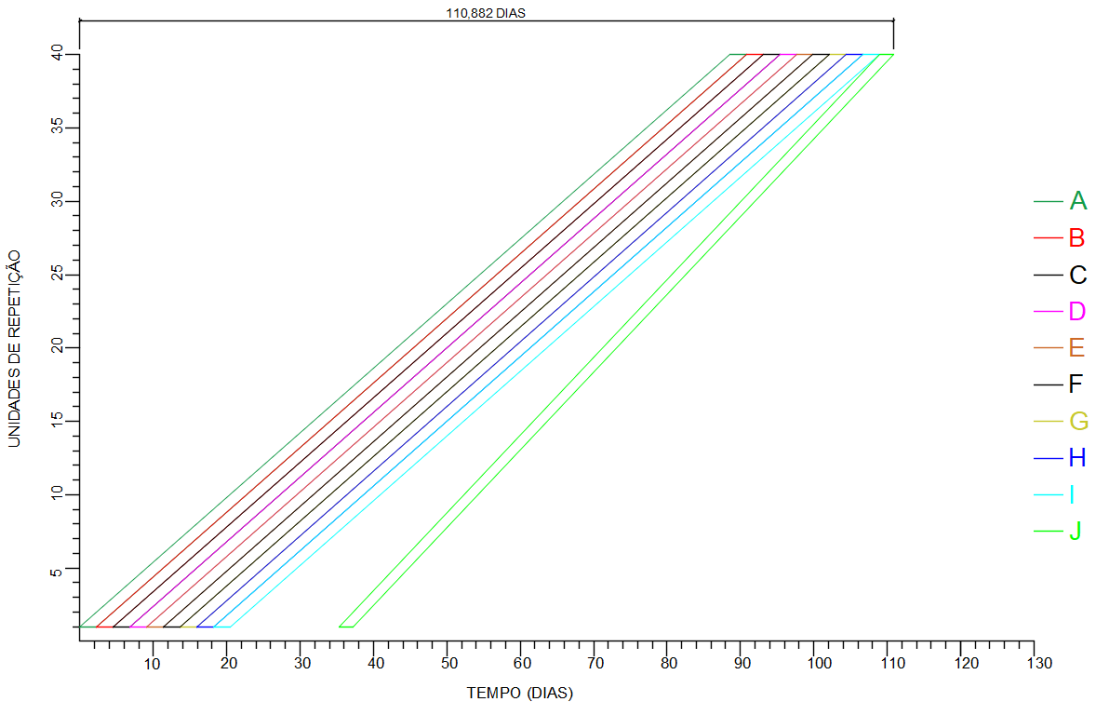
Fonte: o autor.

Tabela 7 Quantitativos para a Situação 4

Atividade	N° Equipes	Taxa de entrega (UR/dia)	Trabalho necessário (homens-hora)	Trabalho necessário (homens-hora/UR)	Duração (dias)	Duração total (dias)	Tempo ocioso das equipes (dias)	Tempo ocioso total (dias)	Tempo ocioso (%)
A - Fundações	1	0,44	4796,00	119,90	2,27	90,83	0	0	0
B - Alvenarias	1	0,44	9592,00	239,80	2,27	90,83	0	0	0
C - Inst. Hidráulicas	1	0,44	6394,67	159,86	2,27	90,83	0	0	0
D - Cobertura	1	0,44	8792,67	219,81	2,27	90,83	0	0	0
E - Esquadrias	1	0,44	2398	59,95	2,27	90,83	0	0	0
F - Revestimentos	1	0,44	1998,33	49,96	2,27	90,83	0	0	0
G - Ferragens	1	0,44	5595,93	139,89	2,27	90,83	0	0	0
H - Inst. Elétricas	1	0,44	3996,67	99,91	2,27	90,83	0	0	0
I - Acabamentos	1	0,44	4796	119,90	2,27	90,83	0	0	0
J - Limpeza	1	0,53	997,7	24,94	2,84	75,58	0	0	0

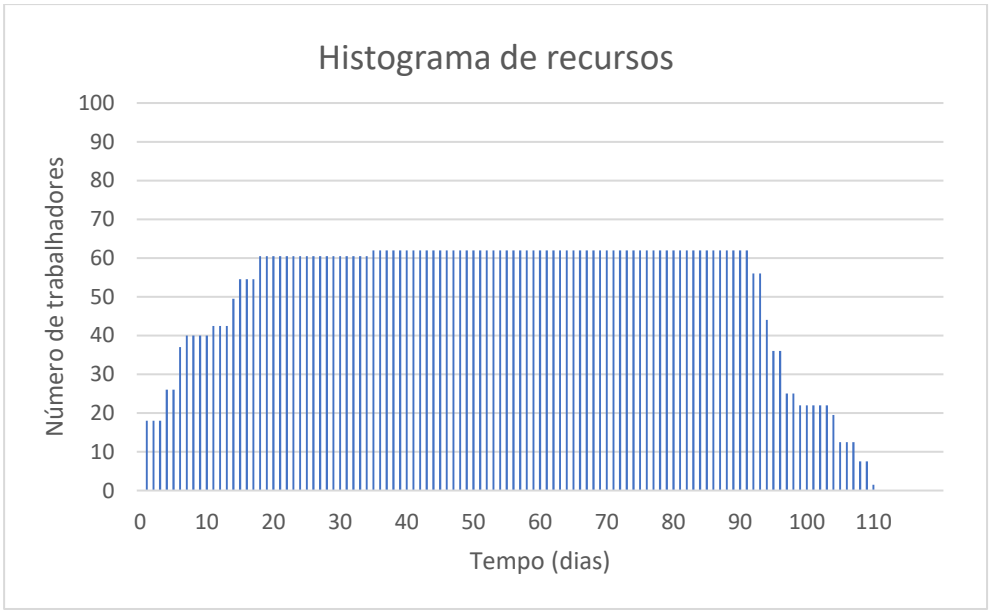
Fonte: o autor.

Figura 8 Linhas de Balanço da Situação 4



Fonte: o autor.

Figura 9 Histograma de recursos da Situação 4



Fonte: o autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES ANALÍTICAS DA SITUAÇÃO 1

A Situação 1 demonstra que, para os critérios estabelecidos de duração das atividades e composição da equipe, a imposição de uma taxa de entrega constante resulta em sucessivas interrupções de trabalho.

Nesta situação as equipes apresentam uma longa espera para poder iniciar as atividades nos locais de trabalho, conforme indicado na Tabela 2. A consequência disso é uma perda de produtividade, a qual pode ser verificada pelo acréscimo de homens-hora necessários para a execução de cada atividade.

CONSIDERAÇÕES ANALÍTICAS DA SITUAÇÃO 2

A Situação 2 desenvolve-se a partir do problema observado na Situação 1, corrigindo o desperdício gerado pelo tempo de espera das equipes ociosas antes de iniciar as atividades nos locais de trabalho. Esta melhoria pode ser verificada pela redução do total de homens-hora necessários na Tabela 5. Neste caso, foram mantidas as premissas de uma equipe adotada fixa para cada atividade, porém cada atividade deve seguir uma taxa de entrega específica.

Observa-se que o uso de diferentes taxas de entrega apresentou um *trade off*, pois foram gerados tempos de espera maiores entre as atividades, que podem ser caracterizados como desperdícios segundo a filosofia *lean*.

CONSIDERAÇÕES ANALÍTICAS DA SITUAÇÃO 3

A Situação 3 desenvolve-se a partir das condições ideais para geração de fluxo de produção em obras (SACKS, 2016). O foco foi reduzir o tempo de espera entre as atividades mantendo os mesmos quantitativos de homens-hora necessários. A principal diferença da Situação 3 é a alteração da equipe adotada para cada atividade, para que cada uma seja executada por uma única equipe (exceto atividade J), diminuindo-se a complexidade do sistema.

O histograma de recursos da Figura 7 evidencia picos menores se comparados à Situação 2, distribuídos mais uniformemente no *lead time* do projeto. Contudo, apesar de ter melhorias na qualidade do fluxo, a Situação 3 não atende ao prazo estabelecido para a obra.

CONSIDERAÇÕES ANALÍTICAS DA SITUAÇÃO 4

A Situação 4 corresponde à última iteração para a otimização do problema. Neste caso foi possível reduzir os tempos de espera entre as atividades E-F-G e entre as atividades I-J pelo uso da multidisciplinaridade, considerando-se válida a possibilidade de que os trabalhadores da atividade F seriam alocados para a atividade J por meio período.

O total de homens-hora necessários para as atividades é mantido, porém com a melhoria de redução das esperas entre as atividades e o balanceamento entre a maioria delas, o que possibilitou um histograma com uma distribuição de recursos mais uniforme se comparada à Situação 3 e uma redução do *lead time* do projeto para aproximadamente 111 dias.

DISCUSSÕES SOBRE AS EVIDÊNCIAS COLETADAS

Este item sintetiza as informações contidas nos resultados apresentados, entre as evidências observadas, destaca-se que:

a) A taxa de entrega das atividades não deve ser atribuída de forma arbitrária pelo planejador, o qual deve levar em consideração a movimentação das equipes pelos locais de trabalho para não gerar tempos ociosos e comprometer a produtividade e o prazo da obra;
b) A complexidade do sistema deve ser preferencialmente reduzida, o uso de atividades simultâneas, além de dificultar a visualização das LBs dificulta o trabalho do gestor da obra em coordenar as diferentes equipes nos locais de trabalho;
c) As alterações na composição das equipes devem ser avaliadas de acordo com seu índice de produtividade, pois pode-se alterar a duração de uma tarefa comprometendo-se a taxa de entrega estipulada para a mesma, possibilitando o surgimento de tempos ociosos e alterações no prazo da obra, a simples adição de mais trabalhadores não garante aumento de produtividade, pois pode ocasionar conflitos espaciais e desperdícios nos locais de trabalho (prejudicando o fluxo das equipes);
d) Os tempos de espera entre atividades com diferentes taxas de entrega podem ser reduzidos, o que deve levar em conta critérios como o índice de produtividade da equipe e o número de equipes em cada atividade;
e) O número de equipes tem influência na uniformização do histograma de recursos: o uso de uma equipe por atividade tende a apresentar menos picos e vales que uso de múltiplas equipes;
f) A quantidade de homens-hora necessária para cada atividade deve ser equilibrada para a elaboração das LBs: atividades com grande diferença em quantidades de homens-hora necessárias tendem a requerer taxas de entrega diferentes e gerar tempos de espera entre as atividades, o que pode ser objeto de estudo de como elaborar “pacotes” de atividades com o intuito de uniformizar a quantidade de homens-hora necessárias para cada atividade do planejamento.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado (processo n°146326/2021-0).

REFERÊNCIAS

[1] KENLEY, R.; SEPPANEN, O. **Location-based management for construction: Planning, scheduling and control**. 1. ed. Abingdon: Spon Press, 2010.

[2] ARDITI, D.; ALBULAK, M. Z. Line-of-Balance Scheduling in Pavement Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 3, p. 411–424, 1986.

[3] ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 6, p. 545–556, 2002.

[4] LEHTOVAARA, J.; SEPPANEN, O; PELTOKORPI, A.; KUJANSUU, P.; GRONVALL, M. How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model. **Construction Management and Economics**, v. 39, n. 1, 2021.

[5] KEMMER, S.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. Using the Line of Balance for Production System Design. **Proceedings of the 16th Annual Lean Construction Conference**, Manchester, 2008.

[6] MENDES JR., R.; HEINECK, L. F. M. Towards Production Control on Multi-Story Building Construction Sites. 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais** [...] 7TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Berkeley, California, 1998.

[7] OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D. Procedimento de três passos para incorporação de fluxo contínuo em cronogramas de obras. Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, v. 12, p. 1–8, 15 2021.

[8] BIOTTO, C. et al. Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools. . Em: **25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**. Heraklion, Greece, 2017.

[9] SACKS, R. What constitutes good production flow in construction**? Construction Management and Economics**, v. 34, n. 9, p. 641–656, 2016.

[10] YANG, I.; IOANNOU, P. G. Scheduling system with focus on practical concerns in repetitive projects. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 6, p. 619–630, 2004.

[11] POGET, M.; GRANJA, A. Proposta didática para comparação entre métodos de planejamento tradicionais e lean. **Anais** [...]: SIBRAGEC, VIII SIBRAGEC, 2015, São Carlos. Anais [...] Rio de Janeiro: Ambiente Construído, 2015.

[12] LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.