

# **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO DA FERRAMENTA DE LINHA DE BALANÇO NO GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS EM OBRAS DE RODOVIA**

**Lívia Braga Sydrião de Alencar**

**Ernesto Ferreira Nobre Júnior**

Universidade Federal do Ceará

Departamento de Engenharia de Transportes

## **RESUMO**

Um planejamento de obras bem realizado pode garantir o fluxo contínuo da produção, fazendo a empresa executar serviços com maior qualidade e menor custo. A Gestão da Cadeia de Suprimento (GCS) sugere controlar a cadeia como um fluxo contínuo de geração de valor. Conforme o exposto, pode-se relacionar esses dois conceitos através da análise dos fluxos logísticos da produção. O presente trabalho estudou o impacto que a mudança entre duas técnicas de planejamento de obras com abordagens distintas ocasiona na Cadeia de Suprimentos de obras de rodovia. Através da realização de revisão bibliográfica e de um estudo de caso foi possível inferir que realizando o planejamento por PERT/CPM, o fluxo de capital foi de maneira menos uniforme, com grandes custos em meses específicos, já que não há, nessa técnica, a consideração das interdependências e fluxos entre todas as atividades da construção e sim, das atividades que compõem o caminho crítico.

## **ABSTRACT**

A well-executed work planning can ensure the continuous flow of production, making the company execute services with higher quality and lower cost. Supply Chain Management (SCM) suggests controlling the chain as a continuous stream of value generation. According to the above, one can relate these two concepts through the analysis of the logistical flows of production. The present work studied the impact that the change between two techniques of construction planning with different approaches causes in the Supply Chain of highway construction. Through a bibliographical review and a case study, it was possible to infer whether planning PERT / CPM, the capital flow was less uniform, with large costs in specific months, since there is no consideration of the interdependencies and flows between all the activities of the construction, but of the activities that compose the critical path.

## **1. INTRODUÇÃO**

A gestão de projetos de grandes dimensões requer o planejamento e coordenação de vários estágios e fluxos diferentes. Para se executar uma obra complexa como a construção de uma rodovia, é necessário elaborar e seguir um planejamento que possibilite completar uma quantidade prescrita de trabalho dentro de um tempo fixo, a um custo previamente estimado, e a padrões especificados de qualidade.

Existe um grande número de componentes envolvidos no processo de construção de rodovias. Clientes, usuários, projetistas, reguladores, contratados, fornecedores, subcontratados e consultores representam um número elevado de interfaces que têm de ser levadas em consideração no planejamento de sua execução. As análises dos problemas existentes nessa indústria mostram que a maior parte são originados na cadeia de suprimentos, nessas interfaces dos seus diferentes componentes. Problemas localizados nas interfaces afetam o fluxo contínuo, e, conseqüentemente, geram desperdícios. Essas interfaces devem ser estudadas de acordo com os três fluxos logísticos presentes ao longo da cadeia de suprimentos, o fluxo de informações, de insumos e de capital.

As técnicas de planejamento *Program Evaluation and Review Technique / Critical Path Method* (PERT/CPM) em conjunto representam um método tradicional de programação e controle da execução de obras. Já a técnica Linha de Balanço (LoB) tem como princípio a

associação dos fluxos produtivos ao ritmo de produção. A construção é mostrada como um fluxo rítmico de linhas de produção, em que a continuidade do trabalho deve ser garantida. A orientação do CPM é "determinista" e a do PERT é "probabilística", enquanto a LoB apresenta-se como alternativa ao método tradicional de abordagem de construções que prioriza a conversão à noção de fluxos logísticos.

O planejamento de construções e a Gestão da Cadeia de Suprimento (GCS) mostram-se como alternativas ao aumento da produtividade das empresas, de vantagem competitiva no mercado e da qualidade de execução dos serviços. São pouco os estudos que contextualizem como esses dois objetos se relacionam. Pretendeu-se, portanto, compreender o funcionamento da cadeia de suprimentos de obras de rodovia, indicando qual o impacto da utilização da técnica de planejamento de Linha de Balanço nos seus fluxos logísticos.

## **2. GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIENTOS E TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE OBRAS DE RODOVIA**

As empresas gerenciam as cadeias de suprimentos há décadas, mas nunca tiveram o tipo de pressão competitiva que enfrentam agora. A cadeia de suprimento típica para qualquer projeto de construção pode incluir arquitetos e engenheiros, empreiteiros, subcontratados e fornecedores que se unem para construir um projeto único para um cliente específico. Na construção, observam-se esses componentes posicionados como nós conectados por interfaces que compreendem transferência de conhecimento, informações, relações financeiras e contratuais. Essas redes são transitórias, e os fluxos estão continuamente mudando, dependendo do estágio do projeto a ser executado. Grande parte dos problemas de uma construção se origina nessas interfaces (BEHERAA *et al.*, 2015).

Segundo Chopra e Meindl (2003), uma Cadeia de Suprimento é dinâmica e abrange um fluxo constante de informações, insumos e capital, denominados fluxos logísticos, entre os seus diferentes estágios, que são os clientes, varejistas, atacadistas, distribuidores, fabricantes, fornecedores, entre outros participantes. (TITUS e BRÖCHNER, 2005; EBRAHIMY *et al.*, 2010; O'BRIEN *et al.*, 2009; CHOPRA e MEINDL, 2003).

Segundo Souza e Koskela (2014), problemas localizados nas interfaces dos estágios afetam a continuidade dos fluxos logísticos, e, conseqüentemente, geram desperdícios e custos. Essas interfaces entre os vários estágios devem ser estudadas de acordo com os fluxos de informação, de capital e de materiais presentes ao longo da cadeia de suprimentos. Também é necessário mover o material através de várias etapas da cadeia de suprimentos, como carga, descarga e transporte. Isso exige uma cuidadosa aquisição de material e planejamento logístico pela equipe do projeto (LIMA e NOBRE JR., 2004).

Segundo Mota (2017), para se obter sucesso em construções de rodovias, é essencial fazer-se uso de métodos e técnicas de planejamento. Uma fase de planejamento que abranja a visão holística do ciclo de vida de projetos de infraestrutura, integrando elementos essenciais do gerenciamento de projetos, como definição clara de escopo, gerenciamento de riscos, controle, gerenciamento de partes interessadas, gerenciamento de informações e comunicação, é indispensável (SÖZÜER e SPANG, 2012).

Segundo Maders (1987), a técnica de redes é uma das mais sofisticadas técnicas de planejamento e programação. As atividades são organizadas em Diagramas de Flecha ou de

Precedência, com determinação de folgas entre atividades e alocação de seus recursos. Existem muitos modelos utilizados para planejar cronogramas de grandes projetos, lidando com as incertezas, sendo as duas técnicas de rede mais difundidas a Técnica de Avaliação e Controle de Programas (PERT) e do Método do Caminho Crítico (CPM). A orientação do CPM é "determinista" e a do PERT é "probabilística" (ZHONG e ZHANG, 2003). A aplicação da técnica Linha de Balanço ao planejamento de uma obra rodoviária traz, de maneira prática e fácil, o conceito de fluxo contínuo, transparência do fluxo de execução e visibilidade ao planejamento, facilitando a execução da programação de obra por parte dos seus gestores (MOTA, 2017).

Ao contrário das técnicas de planejamento de rede, as técnicas de programação de projetos repetitivos mantêm a continuidade do trabalho da equipe (HASSANEIN e MOSELHI, 2004). As técnicas de planejamento linear baseiam-se na hipótese de que a produtividade de uma atividade é uniforme. A taxa de produção de uma atividade é a inclinação da linha de produção, e é expressa em termos de unidades/metro linear por tempo (ARDITI *et al.*, 2001; SHAH e DAWOOD, 2011). Uma característica comum da LoB é a rede unitária típica que representa as sequências lógicas das atividades individuais em uma das muitas unidades a serem produzidas e suas relações e / ou interdependências (SUHAIL e NEALE, 1994; KRAEMER *et al.*, 2014).

O principal benefício da metodologia LOB é que ela apresenta informações de taxa e duração de produção em um formato gráfico de fácil interpretação. O gráfico de LOB pode apresentar de relance a taxa de progresso das atividades e permite a possibilidade de ajustar as taxas para cumprir os prazos do projeto, mantendo a continuidade de trabalho dos recursos (AMMAR, 2013; ARDITI e ALBULAK, 1986).

### **3. APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

#### **3.1. Considerações iniciais**

Visando relacionar o planejamento de obras de rodovia com a sua Cadeia de Suprimentos e analisar as alterações nos fluxos logísticos entre os dois cenários de planejamento, PERT/CPM e LoB, aplicou-se um estudo de caso com dados de planejamento fornecidos por uma grande construtora brasileira de obras de infraestrutura. Esse estudo de caso dá continuidade às análises realizadas por Mota (2017), porém, com enfoque no comportamento da Cadeia de Suprimentos de obras de rodovia. Utilizou-se os dados de planejamento da mesma obra de rodovia estudada pelo autor, além de alguns de seus resultados obtidos, como a linha de balanço.

O planejamento da obra em questão foi realizado para a participação de uma concorrência pública federal na modalidade de Regime Diferenciado de Contratação - RDC, de uma obra de implantação e pavimentação do quilômetro 291,98 ao 395,36 da rodovia BR-242 situada no estado do Mato Grosso. Prazo para execução total das obras: 1270 dias (3 anos e 6 meses). A construtora, cuja identificação não será revelada por questões de sigilo industrial, utilizou originalmente a técnica PERT/CPM para planejar a obra. Mota (2017) reprogramou as atividades dessa obra segundo a técnica LoB.

A extensão a ser construída foi dividida em dois trechos denominados Trecho A que vai do Km 291,98 ao 343,24 totalizando uma extensão de 51,26km, e Trecho B, que vai do Km 343,24 ao 395,36 totalizando uma extensão de 52,12km. As atividades da obra foram divididas em pacotes apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Divisão de atividades das obras por pacotes (Fonte: Mota, 2017)

<b>PACOTE 01 - SERVIÇOS PRELIMINARES</b>	<b>PACOTE 06 - DRENAGEM PROFUNDA/ VALETAS</b>
DESMATAMENTO E LIMPEZA	DRENO PROFUNDO
<b>PACOTE 02 - TERRAPLENAGEM</b>	VALETA DE PROTEÇÃO DE CORTE/ ATERRO
ESCAV CARGA E TRANSP	<b>PACOTE 07 - SINALIZAÇÃO</b>
COMPAC ATERRO	SINALIZAÇÃO VERTICAL
<b>PACOTE 03 - PAVIMENT 1 FASE</b>	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL
REG SUBLEITO	<b>PACOTE 08 - DEFENSA</b>
SUB-BASE SEG	DEFENSA METÁLICA
BASE SEG	<b>PACOTE 09 - CERCAMENTO</b>
IMPRIMAÇÃO	CERCA DE ARAME FARPADO
<b>PACOTE 04 - PAVIMENT 2 FASE</b>	<b>PACOTE 10 - REVESTIMENTO VEGETAL</b>
PINTURA DE LIGAÇÃO COM RR-1C	REVESTIMENTO VEGETAL 1 FASE
REVESTIMENTO EM BINDER/ CBUQ	REVESTIMENTO VEGETAL 2 FASE
<b>PACOTE 05 - OAC</b>	<b>PACOTE 11 - DRENAGEM SUPERFICIAL</b>
BUEIROS DE GROTA	SARJETAS/ MEIO-FIO DE CONCRETO
BUEIROS DE GREIDE	ENTRADAS D'ÁGUA
CAIXAS COLETORES	DESCIDAS D'ÁGUA/ DISSIPADORES

Cada pacote, em cada trecho, tem o número de equipes de trabalho e uma duração, em dias, definidas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Número de equipes e durações dos pacotes

PACOTES	TRECHO A		TRECHO B	
	EQUIPES	DURAÇÃO	EQUIPES	DURAÇÃO
PACOTE 1	1	416	1	416
PACOTE 2	1	520	1	520
PACOTE 3	3	520	3	520
PACOTE 4	1	520	1	520
PACOTE 5	2	624	3	520
PACOTE 6	2	520	2	520
PACOTE 7	1	104	1	104
PACOTE 8	5	104	5	104
PACOTE 9	1	104	2	104
PACOTE 10	2	104	2	104
PACOTE 11	5	104	5	104

O estudo de caso apresentado na próxima seção foi dividido em quatro momentos: i) Produtos do Planejamento utilizando a técnica PERT/ CPM; ii) Produtos do Planejamento utilizando a técnica Linha de Balanço; iii) Comparação dos produtos sob a ótica dos fluxos logísticos (insumos, informações e capital); iv) Análise do impacto dos resultados das comparações na GCS de Obras de Rodovias.

### 3.2. Estudo Exploratório

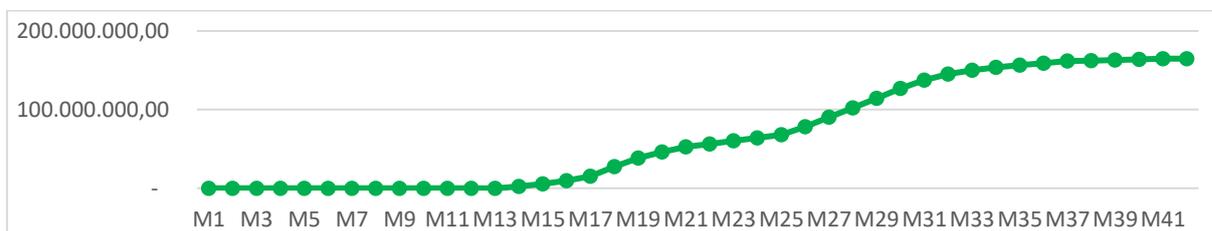
Os dados do planejamento original segundo a técnica PERT/CPM e o replanejamento dessa mesma obra segundo a técnica de Linha de Balanço foram utilizados para se obter outros dados importantes para a análise desejada, como o orçamento e composições de custo.

### 3.2.1. Fluxo de Capital

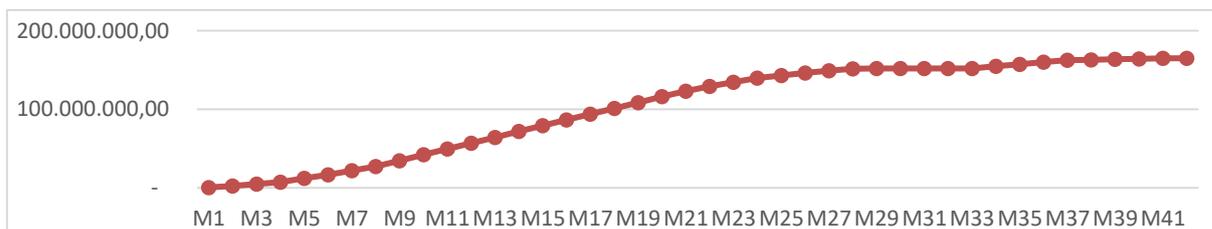
A Figura 4 apresenta uma composição típica da tabela de referência SICRO 2 do DNIT que foi utilizada, junto aos serviços e quantitativos da obra, para elaborar o orçamento apresentado na Figura 7, já que a empresa não cedeu o orçamento original com seus valores unitários dos serviços. Nesse trabalho, procurou-se ter um valor unitário de referência de maneira a possibilitar a comparação entre o Fluxo de Custo segundo o planejamento PERT/CPM e segundo a LoB. Os valores financeiros do orçamento foram obtidos pela multiplicação simples entre os valores unitários dos serviços obtidos da tabela SICRO2 pelos quantitativos cedidos pela construtora.

Com base nas porcentagens mensais obtidas no cronograma físico-financeiros PERT/CPM cedidos pela empresa, pelo cronograma físico-financeiro proveniente da LoB e dos valores financeiros de cada serviço de cada pacote de cada trecho, obtém-se a curva de custo PERT/CPM e LoB (Gráficos 1 e 2) que é a curva que liga os valores totais a serem gastos mensalmente na execução das atividades planejadas. Os valores acumulados são distribuídos ao longo dos 42 meses de obra, cada mês é sinalizado com um M na frente, ou seja, o primeiro mês de execução é o M1.

**Gráfico 1: Fluxo de Capital Acumulado - PERT/CPM**



**Gráfico 2: Fluxo de Capital Acumulado - LoB**



É possível observar que a Curva LoB é mais suave e regular, representando uma melhor distribuição financeira ao longo do tempo. O maior equilíbrio de gastos devido ao planejamento bem distribuído das atividades que é característica da LoB, proporciona ao gestor maior poder de escolha de alocação de recursos. Não pretendeu-se, nesse trabalho, a redução de custos totais da obra, e sim, a análise de sua distribuição. O valor total da obra permanece o mesmo segundo as duas técnicas de planejamento. É possível identificar pelos gráficos que, no Gráfico 1, os serviços começam a ser executados a partir do M13. Já no Gráfico 2, eles começam desde o M2.

### 3.2.2. Fluxo de Insumos

As composições da tabela SICRO2 apresentam a quantidade de horas que cada função componente da equipe daquele serviço deve realizar para executar uma determinada quantidade. Na Figura 4, observa-se que a função Servente, código T701, trabalha 3 horas, fazendo parte da equipe de mão-de-obra e máquinas, para uma produção de equipe de 192,00 m<sup>3</sup> do serviço de escavação carga e transporte de 1ª categoria com DMT entre 800 e 1000 metros, código 2S 01 100 26. O cálculo para se obter a quantidade unitária total de cada função durante toda a obra por pacote é obtido por uma regra simples de proporção, já que tem-se que o servente trabalha 3 horas para realizar 192 m<sup>3</sup>, ele realizará a quantidade total orçada em determinada quantidade de horas. Dividindo-se esse total por 8 horas diárias de trabalho, obtém-se a quantidade de dias que o trabalhador dessa função deverá prestar. Dividindo-se a duração total do pacote em cada trecho retirado do cronograma da Lob, tem-se o número de trabalhadores que serão necessários para executar totalmente todos os serviços de determinado pacote.

Na Tabela 3, apresenta-se os histogramas com as quantidades totais de cada equipamento segundo o planejamento PERT/CPM cedido pela construtora. A penúltima coluna apresenta o valor máximo de equipamento em determinado mês durante toda a duração da obra. O Trator de Esteiras, cujo código é E003, teve uma quantidade máxima de 4 unidades durante pelo menos um mês da obra. Esse mesmo equipamento, teve uma quantidade total de 66 unidades durante toda a obra.

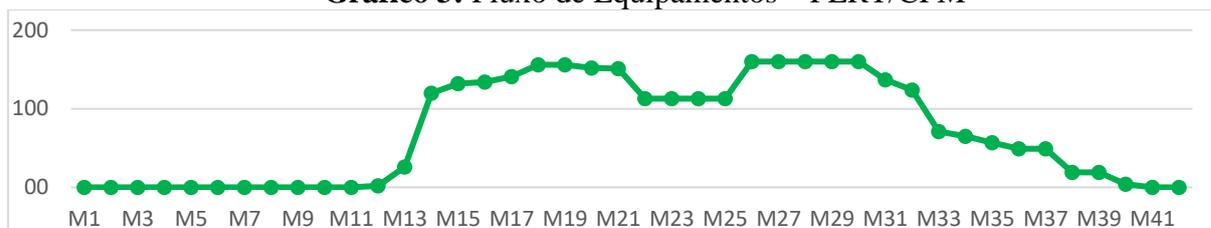
**Tabela 3:** Histograma de equipamentos segundo a PERT/CPM

Código	Descrição	MÊS	Eqpto x Mês
E003	TRATOR DE ESTEIRAS CAT D-6-T	04	66
E006	MOTONIVELADORA CAT 140 M	10	164
E016	PÁ-CARREGADEIRA FRONTAL DE PNEUS CAT 962-H	04	60
E010	PÁ-CARREGADEIRA FRONTAL DE PNEUS CAT 924-H	02	40
E007	TRATOR DE PNEUS MULLER MF 7180 / 4x4	07	121
E011	RETROESCAVADEIRA CAT 416-D	01	21
E062	ESCAVADEIRA HIDRAULICA SOBRE ESTEIRAS CAT 336 DL	07	115
E105	ROLO DE PNEUS AUTOPROPULSOR DYNAPAC CP 271 B	04	68
E013	ROLO VIBRO AUTOPROPELIDO DYNAPAC CA-25-D	13	219
E102	ROLO VIBRO LISO AUTOPROPELIDO TANDEM DYNAPAC CC	02	40
E906	COMPACTADOR DE PLACA VIBRATÓRIA DYNAPAC CM-20	06	96
E147	USINA DE ASFALTO UACF 80-120 T/H	02	40
E110	INST.DE AQUECIMENTO DE ASFALTO	02	40
E149	VIBROACABADORA DE ASFALTO SOBRE ESTEIRAS	02	40
E225	CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO TIB DM5 20 M3/H	01	26
E302	BETONEIRA AUTOCARREGAVEL 320L BC-320 - DIESEL	02	52
E306	VIBRADOR DE IMERSAO M90 - DIESEL	04	104

E904	SERRA CIRCULAR INVICTA RT-30 DISCO 12"	06	140
E432	CAMINHAO BASCULANTE MB LK-2423	03	59
E407	CAMINHAO TANQUE MB 1718 CAP. 10.000L	08	131
E111	CAMINHAO ESPARGIDOR DE ASFALTO MB LK-2213	03	60
E404	CAMINHAO BETONEIRA REX TIB MB LB-2726 8 M3	04	104
E402	CAMINHAO BASCULANTE VOLVO 6 x4 FM 440 16 M3	33	523
E101	GRADE DE DISCOS 20 x 24"	07	121
E107	VASSOURA MECANICA REBOCÁVEL VM-7	02	42
E434	CAMINHÃO GUINDAUTO 6x4 MB 2423, C/ MUNCK 14 T	02	25
<b>TOTAL DE GERAL</b>		<b>33</b>	<b>2517</b>

O Gráfico 3 apresenta o Fluxo de Equipamentos segundo PERT/CPM ao longo dos 42 meses de obra, observa-se uma irregularidade principalmente no meio do período total, entre os meses M12 e M33, e um maior fluxo de equipamentos, devido ao maior ritmo de execução dos serviços.

**Gráfico 3: Fluxo de Equipamentos – PERT/CPM**



Na Tabela 4, apresenta-se o histograma elaborado pela autora com as quantidades totais de cada equipamento, por trecho A ou B, segundo o planejamento LoB de Mota (2017). Essa distribuição foi feita levando-se em consideração as porcentagens mensais a serem executadas de cada serviços presentes no cronograma físico-financeiro obtido pelo desenho da LoB e as quantidades de máquinas de cada pacote. A penúltima coluna apresenta o valor máximo de equipamento em determinado mês durante toda a duração da obra. Por exemplo, o Trator de Esteiras, cujo código é E003, teve uma quantidade máxima de 3 unidades no Trecho A e de 4 unidades no Trecho B durante pelo menos um mês da obra. Esse mesmo equipamento, teve uma quantidade total de 53 unidades no Trecho A e 77 unidades no Trecho B durante toda a obra.

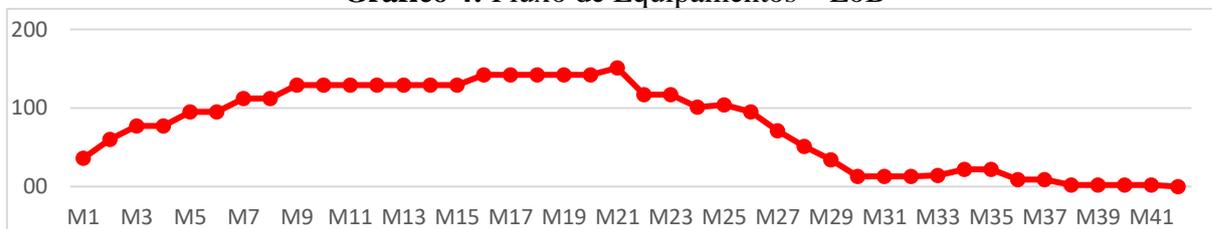
**Tabela 4: Histograma de equipamentos - LoB**

SICRO2	Descrição	Efetivo	Eqpto x Mês
E003	TRATOR DE ESTEIRAS CAT D-6-T	07	130
E006	MOTONIVELADORA CAT 140 M	05	114
E016	PÁ-CARREGADEIRA FRONTAL DE PNEUS CAT 962-H	07	152
E010	PÁ-CARREGADEIRA FRONTAL DE PNEUS CAT 924-H	08	162
E007	TRATOR DE PNEUS MULLER MF 7180 / 4x4	07	152
E011	RETROESCAVADEIRA CAT 416-D	02	10

E062	ESCAVADEIRA HIDRAULICA SOBRE ESTEIRAS CAT 336 DL	08	174
E105	ROLO DE PNEUS AUTOPROPULSOR DYNAPAC CP 271 B	06	122
E013	ROLO VIBRO AUTOPROPELIDO DYNAPAC CA-25-D	04	84
E102	ROLO VIBRO LISO AUTOPROPELIDO TANDEM DYNAPAC	02	40
E906	COMPACTADOR DE PLACA VIBRATÓRIA DYNAPAC CM-20	03	70
E147	USINA DE ASFALTO UACF 80-120 T/H	02	40
E110	INST.DE AQUECIMENTO DE ASFALTO	08	164
E149	VIBROACABADORA DE ASFALTO SOBRE ESTEIRAS CAT	02	40
E225	CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO TIB DM5 20 M3/H	02	40
E302	BETONEIRA AUTOCARREGAVEL 320L BC-320 - DIESEL	07	90
E306	VIBRADOR DE IMERSAO M90 - DIESEL	14	180
E904	SERRA CIRCULAR INVICTA RT-30 DISCO 12"	11	110
E432	CAMINHAO BASCULANTE MB LK-2423	18	378
E407	CAMINHAO TANQUE MB 1718 CAP. 10.000L	10	218
E111	CAMINHAO ESPARGIDOR DE ASFALTO	04	82
E404	CAMINHAO BETONEIRA REX TIB MB LB-2726 8 M3	15	314
E402	CAMINHAO BASCULANTE VOLVO 6 x4 FM 440 16 M3	08	159
E101	GRADE DE DISCOS 20 x 24"	04	84
E107	VASSOURA MECANICA REBOCÁVEL VM-7	04	82
E434	CAMINHÃO GUINDAUTO 6x4 MB 2423, C/ MUNCK 14 T	02	50
	TOTAL	151	3241

O Gráfico 4 apresenta o Fluxo de Equipamentos ao longo da obra, observa-se um formato da curva mais regular, denotando um fluxo mais suave de atividades e de equipamentos. O equilíbrio de máquinas ao longo da obra possibilita um maior controle por parte dos gestores do seu fluxo, em razão de não haver oscilações bruscas, com exceção do intervalo entre os meses M24 e M30.

**Gráfico 4:** Fluxo de Equipamentos – LoB



Comparando-se os histogramas de equipamentos PERT/CPM e LoB, observa-se que há um total de 2.517 máquinas durante toda a execução segundo PERT/CPM e 3.241 segundo a LoB. O número total de máquinas é superior segundo a LoB. Como não foi disponibilizado pela construtora o seu memorial de cálculo, entende-se que o histograma da LoB traz um quantitativo maior por seguir as bases de cálculo de produtividade da tabela SICRO2. Portanto,

por mais que os valores do número de máquinas não possam ser comparados de maneira direta, a distribuição das máquinas ao longo dos meses de execução da obra podem.

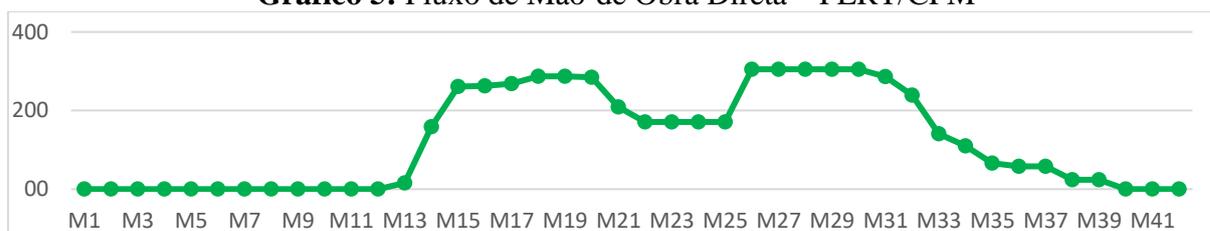
Na Tabela 5, apresenta-se o histograma de quantidades totais de mão-de-obra direta (MOD) por função de execução segundo o planejamento PERT/CPM cedido pela construtora.

**Tabela 5:** Histograma de mão-de-obra - PERT/CPM

Código	Descrição	MÊS	
		Efetivo	Eqpto x Mês
IH3221	ENCARREGADO DE FRENTE	05	86
IH3271	ENCARREGADO DE USINA	03	66
IH5331	ARMADOR	04	66
IH5421	PEDREIRO	17	297
IH5801	SERVENTE	149	2416
IH5341	CARPINTEIRO	12	206
IH5471	AUXILIAR DE USINAS	06	132
IH5311	VIBRADORISTA	03	59
IH5651	MOTORISTA DE CAMINHÃO	52	902
IH5491	OPERADOR DE USINAS	03	66
IH5671	OPERADOR DE ACABADORA	02	40
IH5681	OPERADOR DE CARREGADEIRA	06	100
IH5691	OPERADOR DE TRATOR AGRICOLA	07	121
IH5701	OPERADOR DE ESCAVADEIRA	07	115
IH5731	OPERADOR DE LAMINA	04	66
IH5761	OPERADOR DE PATROL	10	164
IH5791	OPERADOR DE ROLO COMPACTADOR	19	327
IH5981	OPERADOR DE RETROESCAVADEIRA	01	21
TOTAL DE GERAL		149	5250

De maneira semelhante ao Gráfico 3, o Gráfico 5 apresenta o Fluxo de Mão-de Obra Direta segundo PERT/CPM ao longo da obra, observa-se uma irregularidade principalmente no meio do período total, entre os meses M12 e M33, e um maior fluxo devido ao maior ritmo de execução dos serviços.

**Gráfico 5:** Fluxo de Mão-de Obra Direta – PERT/CPM



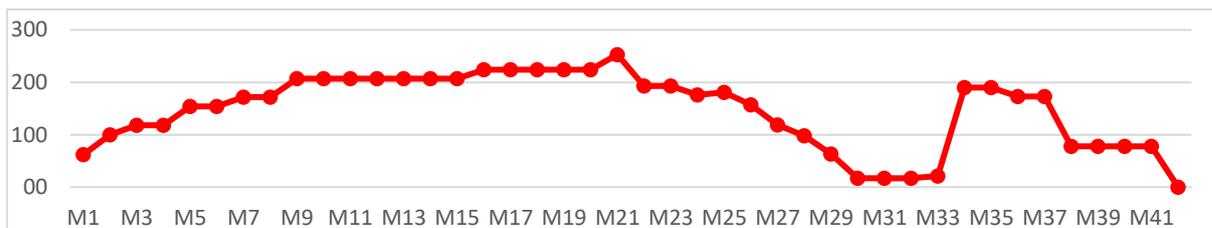
Na Tabela 6, apresenta-se o histograma elaborado pela autora com as quantidades totais de cada função de mão-de-obra segundo o planejamento LoB de Mota (2017). Essa distribuição foi feita levando-se em consideração as porcentagens mensais a serem executadas de cada serviços presentes no cronograma físico-financeiro obtido pelo desenho da LoB e as quantidades de mão-de-obra de cada pacote. A penúltima coluna apresenta o valor máximo de equipamento em determinado mês durante toda a duração da obra. Por exemplo, o Encarregado de Frente, teve uma quantidade máxima de 21 pessoas no Trecho A e de 31 pessoas no Trecho B durante pelo menos um mês da obra. Esse mesmo trabalhador teve uma quantidade total de 288 pessoas no Trecho A e 439 pessoas no Trecho B durante toda a obra.

**Tabela 6:** Histograma de mão-de-obra - LoB

Descrição	Mês	Eqpto
	Efetivo	x Mês
ENCARREGADO DE FRENTE	52	727
ENCARREGADO DE USINA	04	82
ARMADOR	02	50
PEDREIRO	07	90
SERVENTE	195	2422
CARPINTEIRO	05	80
AUXILIAR DE USINAS	05	110
VIBRADORISTA	14	180
MOTORISTA DE CAMINHÃO	55	1201
OPERADOR DE USINAS	02	40
OPERADOR DE ACABADORA	02	40
OPERADOR DE CARREGADEIRA	15	314
OPERADOR DE TRATOR AGRICOLA	07	152
OPERADOR DE ESCAVADEIRA	08	174
OPERADOR DE LAMINA	07	130
OPERADOR DE PATROL	05	114
OPERADOR DE ROLO COMPACTADOR	12	246
OPERADOR DE RETROESCAVADEIRA	02	10
TOTAL	253	6162

O Gráfico 6 apresenta o Fluxo de Mão-de Obra Direta ao longo da obra, observa-se um formato da curva mais regular na primeira metade da duração da obra, do M1 até M30, denotando um fluxo mais suave de atividades nesse período. Já na segunda metade, M31 a M42, tem-se uma maior irregularidade devido a atividades que contêm valores ou muito baixos ou muito altos de mão-de-obra nas suas equipes.

**Gráfico 6:** Fluxo de Mão-de Obra Direta – LoB



Pelos mesmos motivos citados para justificar o maior número de mão-de-obra da LoB, tem-se que o número total de trabalhadores para executar a obra é de 5250 segundo o planejamento PERT/CPM cedido pela construtora e de 6162 segundo a LoB.

A análise do valor superior de MOD da LoB segundo composições SICRO2 explica a diferença entre o número de trabalhadores entre as duas técnicas de planejamento, pois a tabela de referência adota produtividades das equipes de trabalho (MOD e equipamentos) padrão e o histograma cedido pela construtora conta com as produtividades próprias da empresa, refletidos em seus valores unitários orçamentais, que em geral, são menores que as de tabela de referência por serem mais realistas.

### 3.2.3. Fluxo de Informações

A análise do comportamento do fluxo de informações é mais complexa do que a dos outros fluxos por não ser numérica. Nas Frentes A e B, como as equipes são reaproveitadas pelo desenho da LoB, há uma melhor comunicação entre os trabalhadores em função da divisão de equipes de trabalho. O planejamento LoB, em função do princípio de formação de equipes que trabalham no mesmo serviço do início ao fim, as equipes que trabalham no mesmo pacote têm a vantagem de ter sua curva de aprendizado mais rápida, o fator união entre os trabalhadores que realizam os serviços juntos durante toda a duração, têm conhecimento dos problemas, podendo antever soluções.

O planejamento original da empresa PERT/CPM teve suas atividades iniciadas no mês M13 ao M41, enquanto o LoB inicia no M1 e se estende até o M41. Essa diferença de início dos serviços representa uma importante diferença na rede de comunicação da obra, pois no cenário PERT/CPM, existe um menor tempo considerado, tornando todos os serviços mais acelerados, assim como decisões a serem tomadas e soluções de problemas. O Planejamento LoB deixa a execução da obra mais confortável pelo aproveitamento maior do período dos doze primeiros meses da duração total.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao estudo de caso conduzido de maneira a resultar em uma avaliação quantitativa do impacto do uso de uma das técnicas de planejamento na obra em questão, observou-se que a Curva de Fluxo Acumulado de Capital LoB é mais suave e regular, representando uma melhor distribuição financeira ao longo do tempo. O maior equilíbrio de gastos devido ao planejamento bem distribuído das atividades que é característica da LoB, pode proporcionar ao gestor maior poder de escolha de alocação de recursos. Não se pretendeu, nesse trabalho, a redução de custos totais da obra, e sim, a redistribuição mais uniforme dos recursos. O valor total da obra permanece o mesmo segundo as duas técnicas de planejamento.

Os desenhos das Curvas de Fluxos de Insumos apontam para um melhor tratamento dos fluxos logísticos pela técnica LoB. Analisando-as, observou-se que as do planejamento LoB possuem mais patamares, representando uma constância no número de determinada variável, podendo-

se interpretá-las como a ocorrência do Fluxo Contínuo indispensável à Gestão da Cadeia de Suprimentos. Os ganhos no fluxo de informações, através dos princípios LoB, também não devem ser subestimados na GCS, já que a rede de comunicação da obra é fator decisivo na adequada gestão da sua execução. Fatores como a pacotização dos serviços e o estudo da formação das equipes são importantes conforme anteriormente mencionado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ammar, M. A. LOB and CPM Integrated Method for Scheduling Repetitive Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. Disponível em < ascelibrary.org>, 2013.
- Arditi, D.; Albulak, M. Z.; Line-of-Balance Scheduling in Pavement Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. Disponível em < ascelibrary.org>, 1986.
- Arditi, D.; Tokdemir, O. B.; Suh, K.; Challenges in Line-of-Balance Scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*. Disponível em < ascelibrary.org>, 2001.
- Beheraa, P.; Mohantya, R.P.; Prakashb, A. Understanding Construction Supply Chain Management. *Journal of Production Planning and Control*. Disponível em < taylorandfrancisonline>, 2015.
- Chopra, S.; Meindl, P. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação. 1.ed. São Paulo - Prentice Hall, 2003.
- Ebrahimy, Y.; Mohamed, Y.; Abourizk, S.; An Analytical Framework for Incorporating Projects Supply Chain Problems into Project Plan. *Construction Research Congress: nnovation for Reshaping Construction Practice*, Banff, Alberta, Canada. Disponível em < ascelibrary.org>, 2010.
- Hassanein, A.; Moselhi, O. Planning and Scheduling Highway Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. Disponível em < ascelibrary.org>, 2004.
- Kraemer, K.; Henrich, G.; Koskela, L.; Kagioglou, M. How Construction Flows Have Been Understood In Lean Construction. Disponível em < <https://www.researchgate.net/publication/228757419>>, 2014.
- Lima, R. X.; Nobre Júnior, E. F. Logística aplicada à construção rodoviária. In: Vº RIRL - Rencontre Internationale de Recherche Logistique, Fortaleza. Anais do Vº Rencontre Internationale de Recherche Logistique, 2004.
- Maders, Berenice. Técnica de programação e controle da construção repetitiva, linha de balanço, estudo de caso de um conjunto habitacional. 1987.
- Mota, I. P. D. H. Sistematização da Aplicação da Linha de Balanço em Obras Rodoviárias Planejadas que Utilizaram diferentes Técnicas de Programação de Execução. Dissertação de mestrado defendida pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN) da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2017.
- O'brien, W.J. Formoso, C. T.; Ruben, V.; London, K.; *Construction Supply Chain Management Handbook*. CRC Press., 2009.
- Shah, R. K.; Dawood, N. A. An innovative approach for generation of a time location plan in road construction projects. *Journal of Construction Management and Economics*. Disponível em < taylorandfrancisonline>, 2011.
- Souza, D. V. S.; Koskela, L. Interfaces, flows, and problems of construction supply chains - A case study in Brazil. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, Oslo, 2014.
- Sözüer, M.; Spang, K. Challenges in the planning process of infrastructure projects in Germany. *Construction Research Congress*, West Lafayette, Indiana, EUA, 2012.
- Suhail, S. A.; Neale, R. H. CPM/LOB: New Methodology to Integrate CPM And Line Of Balance. *Journal of Construction Engineering and Management*. Disponível em < ascelibrary.org>, 1994.
- Titus, S.; Bröchner, J.; Managing information flow in construction supply chains. *Construction Innovation*, Vol. 5 Issue: 2, Disponível em < [www.emeraldinsight.com/1471-4175.htm](http://www.emeraldinsight.com/1471-4175.htm) >, 2005.
- Zhong, D. H.; Zhang, J. S. New Method for Calculating Path Float in Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Journal of Construction Engineering and Management*. Disponível em < ascelibrary.org>, 2003.

---

Lívia Braga Sydrião de Alencar (liviasydriao@det.ufc.br)

Ernesto Ferreira Nobre Júnior (ernestonobrejr@gmail.com)

Departamento de Engenharia de Transportes

Campus do PICI, s/n – Bloco 703 – CEP. 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil