



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LÍVIA BRAGA SYDRIÃO DE ALENCAR**

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALORES DA ETAPA DE TERRAPLENAGEM**  
**DE UMA OBRA DE RODOVIA**

**FORTALEZA, CE**

**2016**

LÍVIA BRAGA SYDRIÃO DE ALENCAR

MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALORES DA ETAPA DE TERRAPLENAGEM DE  
UMA OBRA DE RODOVIA

Monografia a ser apresentada ao Departamento de Engenharia de Transportes do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- L354m Alencar, Lívia Braga Sydrião de.  
Mapeamento do fluxo de valores da etapa de terraplenagem de uma obra de rodovia simétrico / Lívia Braga Sydrião de Alencar. – 2016.  
62f. : il.; color.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.
1. Produção enxuta. 2. Terraplanagem. 3. Engenharia Civil. I. Título.

---

CDD 620

LÍVIA BRAGA SYDRIÃO DE ALENCAR

MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALORES DA ETAPA DE TERRAPLENAGEM  
DE UMA OBRA DE RODOVIA

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia de  
Transportes do Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para a obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 03 / 02 / 2016

BANCA EXAMINADORA

---

Professor Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Professor Dr. Bruno de Athayde Prata  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Professora Ma. Viviane Adriano Falcão  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

Aos meu pais, Alencar e Regina, e aos meus irmãos, Saulo e Mariana, por todo apoio e amor.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meu caminho todos os dias.

À minha família, que nos momentos mais difíceis dessa caminhada, esteve sempre ao meu lado, apoiando minhas escolhas.

Às minhas amigas do colégio Christus, aos meus amigos do Programa de Educação Tutorial (PET) e aos meus amigos da Universidade Federal do Ceará pelo companheirismo.

Ao professor Ernesto Nobre, orientador desse trabalho, pelos ensinamentos e pela colaboração ao longo desse Projeto de Graduação.

À Arcadis Logos e, em especial, aos engenheiros Josué Pereira e Ítalo Ponte, por toda a ajuda prestada na execução das etapas mais desafiadoras desse estudo.

Aos professores Bruno Prata e Viviane Falcão que aceitaram gentilmente participar da banca avaliadora.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.” (Albert Einstein)

## RESUMO

Obras rodoviárias são imprescindíveis para o crescimento econômico de uma nação. A duração de sua execução pode chegar a anos e os recursos necessários são numerosos. Mapear a cadeia de fluxo de valores desse tipo de obra de modo sistêmico é essencial para reduzir ou eliminar os desperdícios nela existentes aumentando a sua produtividade. O problema situa-se na ineficiência da caracterização do processo produtivo desse tipo de construção, pois existem poucos estudos que identifiquem as origens dos desperdícios e problemas existentes nas obras rodoviárias. Mapear o fluxo de valores da obra possibilita a identificação e a eliminação ou redução dos desperdícios após a proposição de melhorias. Para tornar isso possível, foi realizado um estudo de caso em que a ferramenta da Produção Enxuta chamada Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) foi utilizada na etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária. O principal propósito da ferramenta é identificar fontes de desperdícios e problemas e eliminá-las através da elaboração de dois produtos, o Mapa do Estado Atual (MEA) e o Mapa do Estado Futuro (MEF). Após a aplicação do MFV, os principais problemas identificados na cadeia de valor foram a deficiência na relação/comunicação entre construtora e cliente, a não execução dos ensaios de controle da qualidade *in situ* em alguns trechos, o ritmo de produção da terraplenagem inferior àquele estabelecido em contrato, o baixo nível de planejamento da produção a curto e médio prazo, a inexistência de planejamento e controle do transporte do solo e o armazenamento inadequado do insumo durante longos períodos. Além de identificar os problemas e desperdícios do processo produtivo, foram propostas as seguintes melhorias: realização de reuniões periódicas entre o cliente, a construtora e a empresa supervisora, busca do fluxo contínuo através da elaboração do planejamento da produção, além da eliminação dos tempos de parada e redução dos tempos de manobra das máquinas, elaboração de um planejamento da distribuição de solo e adoção de *kanbans*. Concluiu-se que, a partir da aplicação do MFV na obra rodoviária, foi possível visualizar de forma sistêmica a cadeia de valor de uma etapa do seu processo produtivo, possibilitando a introdução da Produção Enxuta nesse âmbito.

Palavras-chave: Obras Rodoviárias. Produção Enxuta. Mapeamento do Fluxo de Valores. Desperdícios. Problemas. Melhorias. Cadeia de valor.

## ABSTRACT

Highway constructions are extremely necessary for a nation's economic development. This type of construction can take a long time to be finish and many resources are necessary. Show the flow of values of a transportation infrastructure construction in a systematic way is essential to increase the productivity by reducing or eliminating existing waste of the processes that are quite complex. The problem lies on the inefficiency of the characterization of the production process of these constructions because there's very few studies about the origins of its problems and wastes. Existing waste can be eliminated or reduced by using tools and concepts of the Lean Construction representing a different approach of this philosophy in a highway construction. To make this possible, a case study was conducted by using a Lean Construction tool called Value Stream Mapping (VSM) in the earth movement construction stage of the construction. The main purpose of the tool is to identify sources of waste and problems and remove them through the elaboration of two products, the Current State Map (CSM) and the Future State Map (FSM). The main problems identified in the value chain were the deficiency in the relationship/communication between the construction company and the client, the deficiency in the implementation of quality control tests after the earth movement execution, the production pace below the one established in contract, the low level of production planning in the short and medium term, the lack of planning and control of input transport and the improper storage of input during long periods. In addition to identifying the problems and wastes of the productive process, the following improvements have been proposed: regular meetings between the client, the construction company and the supervisor company, narrowing of the relationship between the client and the construction company, through more frequent customer visits to the construction site, search for the perfect flow through the elaboration of production planning, in addition to the elimination of the waiting times and the reduction of the switching time of the vehicles, approaching the production rhythm to the rhythm imposed by customers in the design phase, preparation of a input transport planning and adoption of *kanbans*. The conclusion from the application of the VSM at a highway construction was that it was possible to map the flow of the values chain of a transportation infrastructure construction in a systematic way, allowing the introduction of the Lean Philosophy in a new different site.

**Keywords:** Highway Construction. Lean Construction. Value Stream Mapping. Waste. Problems. Improvements. Value Chain.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do Estudo de Caso .....	29
Figura 2 – Etapas de execução da Terraplenagem .....	31
Figura 3 – Desenho do Mapa do Estado Atual .....	47
Figura 4 – Relação entre o T/C e o <i>takt time</i> da terraplenagem .....	50
Figura 5 – Relação entre o T/C após a eliminação da parada das máquinas e o <i>takt time</i> .....	52
Figura 6 – Desenho do Mapa do Estado Futuro .....	57

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Dados dos clientes coletados .....	33
Quadro 2 – Dados da produção coletados .....	34
Quadro 3 – Dados de insumos coletados.....	34
Quadro 4 – Fontes de Coleta de Dados .....	35
Quadro 5 – Cronograma físico-financeiro dos cinco primeiros meses .....	38
Quadro 6 – Dados coletados referentes à demanda dos clientes .....	39
Quadro 7 – Quantidade de máquinas e operadores que trabalharam no trecho .....	42
Quadro 8 – Tempos totais coletados, em minutos, por máquina.....	43
Quadro 9 – Dados para o cálculo do ritmo de produção de projeto .....	44
Quadro 10 – Dados para o cálculo do ritmo de produção de execução.....	44
Quadro 11 – Dados coletados referentes à produção .....	44
Quadro 12 – Dados coletados referentes ao insumo.....	46
Quadro 13 – Tempos coletados das máquinas após a eliminação do tempo de parada .....	51
Quadro 14 –T/C da terraplenagem após a eliminação do tempo de parada .....	52
Quadro 15 –T/C do processo com fluxo contínuo.....	53
Quadro 16 – Tempos, em minutos, após todas as mudanças propostas .....	54
Quadro 17 – Principais problemas e desperdícios e as melhorias propostas.....	56
Quadro 18 – Principais mudanças entre MEF e MEA .....	59

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1.	Contextualização e Justificativa .....	13
1.2.	Problema .....	14
1.3.	Objetivos.....	15
1.3.1.	Objetivo Geral .....	15
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1.	Lean Production.....	16
2.2.	Lean Construction.....	17
2.3.	Mapeamento do Fluxo de Valores .....	20
2.4.	Obras de Terraplenagem.....	23
3	METODOLOGIA.....	28
3.1.	Delineamento da Pesquisa .....	28
3.2.	Delineamento do Estudo de caso .....	28
3.2.1.	Seleção da Obra Rodoviária .....	30
3.2.2.	Estudo Exploratório .....	30
3.2.3.	Coleta de Dados .....	34
3.2.4.	Análise dos Dados .....	35
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	36
4.1.	Mapa do Estado Atual .....	36
4.1.1.	Clientes .....	36
4.1.2.	Produção .....	39
4.1.3.	Fornecimento de Matéria Prima .....	45
4.2.	Mapa do Estado Atual .....	47
4.3.	Análise do Mapa do Estado Atual .....	49
4.3.1.	Clientes .....	49
4.3.2.	Produção .....	51

4.3.3. Fornecimento de Matéria Prima .....	55
4.4. Mapa do Estado Futuro.....	57
5 CONCLUSÕES .....	60
REFERÊNCIAS .....	64
APÊNDICE A – TEMPOS COLETADOS DA MOTONIVELADORA .....	66
APÊNDICE B – TEMPOS COLETADOS DO TRATOR COM GRADE DE DISCO .....	68
APÊNDICE C – TEMPOS COLETADOS DO ROLO COMPACTADOR.....	70
APÊNDICE D – KANBAN DE PRODUÇÃO .....	71
APÊNDICE E – ÍCONES PADRONIZADOS PARA MFV – ESTADO ATUAL.....	72
APÊNDICE F – ÍCONES PADRONIZADOS PARA MFV – ESTADO FUTURO .....	73

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização e Justificativa

A terraplenagem representa a etapa de preparo de terreno para que o mesmo esteja hábil a receber uma construção, sendo, portanto, uma fase fundamental de uma obra. Desde os tempos mais remotos, a movimentação de terra permite a materialização dos mais variados tipos de projetos concebidos pelo homem, seja uma edificação, uma obra de arte especial, uma obra rodoviária entre outras. Por isso, é indispensável o controle e profundo conhecimento da execução dessa etapa, de maneira a garantir a segurança e a viabilidade técnico-econômica dos empreendimentos.

Obras rodoviárias apresentam uma dinâmica de processos complexa, mas que podem ter seu tempo de realização e seus esforços reduzidos através da eliminação de desperdício. A tentativa de promover melhorias no desempenho dos processos levou o ramo da construção a adaptar os princípios da filosofia *Lean Production*, produção enxuta, originada no chão de fábrica da Toyota Motors Company, para o âmbito de variados tipos de obras.

Na década de 1950, a Toyota Motors Company passava por dificuldades na sua produtividade, chegando a produzir nove vezes menos automóveis do que seus principais rivais, a indústria automobilística de produção em massa dos Estados Unidos. O presidente da Toyota à época, Toyoda Kiishiro, e o engenheiro mecânico, Taiichi Ohno, chegaram à conclusão que existiam desperdícios excessivos ao longo da linha de produção gerando altos custos e baixa produtividade. Da tentativa de solucionar esse problema, desenvolveu-se o chamado Sistema Toyota de Produção (STP) paradigma da produção precursor da filosofia *Lean Production*.

Segundo Ohno (1997), é preciso haver uma compreensão dos princípios que regem o sistema e não a simples aplicação de suas ferramentas. Assim, é necessário que ao se implantar o *Lean* em uma linha de produção, seus dois pilares de sustentação, o Just in Time (JIT) e a autonomia, sejam considerados. JIT é o nome dado ao processo que flui de maneira que os componentes que deverão chegar à linha de produção só o farão quando forem necessário e na quantidade certa, gerando assim estoque zero. A denominação de produção puxada dada ao *Lean Production* vem dessa interação, pois os processos posteriores estão puxando os anteriores. A autonomia é o conceito de máquinas inteligentes, que são capazes de interromper automaticamente o fluxo ao identificarem produtos defeituosos, evitando que eles continuem na linha de produção e gerando transparência ao processo.

Na década de 1990, o pesquisador finlandês Lauri Koskela introduziu em seu trabalho *Application of New Production Philosophy to Construction* (1992) o conceito de *Lean Construction*, que é a aplicação da Filosofia Lean no âmbito da construção civil. Atualmente, após mais de duas décadas da publicação do estudo, a construção enxuta já é utilizada como modelo de gestão em diversas construtoras.

A filosofia *Lean* busca, com seus princípios e ferramentas, a eliminação dos desperdícios encontrados ao longo de uma linha de produção, independentemente da natureza dos processos. Tal paradigma já vem sendo aplicado em manufaturas e na construção civil há décadas, porém, segundo Mito (2007), no âmbito das obras de rodovia, poucos estudos e aplicações vêm sendo realizados a respeito.

Nesse trabalho, será aplicada, na etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária, uma das ferramentas da filosofia *Lean* chamada Mapeamento do Fluxo de Valores (MFV). A aplicação dessa ferramenta proporciona uma visão sistêmica do processo produtivo, identificando sua cadeia de valor e representa uma “porta de entrada” à introdução do *Lean Construction* nesse tipo de obra. A cadeia de valor de um processo engloba todas as atividades que geram ou não valor ao produto final, passando pelo relacionamento entre a empresa e os clientes, a obtenção de insumos e o processo produtivo em si. Através do uso da ferramenta, pode-se identificar os principais problemas e desperdícios existentes com a possibilidade de sugestões para melhoria dos fluxos dos processos envolvidos.

Essa ferramenta tem a função de mapear as informações relativas às demandas dos clientes, ao relacionamento com os fornecedores de matérias primas, às atividades produtivas, à utilização de máquinas, entre outros dados importantes, na busca da identificação dos fluxos presentes no processo produtivo. Acredita-se que a utilização dessa ferramenta resultará em uma aplicação mais objetiva da filosofia *Lean* nesse tipo de construção o que poderá estimular o desenvolvimento de outros estudos sobre o tema, assim como a percepção de que tal filosofia pode e deve ser aplicada também em obras de rodovia.

## **1.2. Problema**

Após a identificação do que representa valor para o cliente e da visualização da cadeia de fluxos de maneira sistêmica, o objetivo principal da aplicação da filosofia *Lean* é o de aperfeiçoar os processos ao longo de toda a linha de produção de maneira que os desperdícios presentes sejam reduzidos ou eliminados e a produtividade aumente (Sarmiento, 2014). O

problema situa-se na ineficiência da caracterização do processo produtivo das obras rodoviárias, o que dificulta a identificação e a eliminação dos desperdícios existentes, prejudicando a produtividade e gerando custos. Esses desperdícios podem ser eliminados ou reduzidos após a aplicação de conceitos e ferramentas *Lean* o que, segundo Wodalski *et al* (2011), auxiliará na transição da mentalidade tradicional da empresa à mentalidade *Lean*, representando a porta de entrada à aplicação da construção puxada nesse âmbito, fato relevante ao se observar o sucesso dessa filosofia em outros tipos de processo produtivo.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo Geral***

Mapear a cadeia de fluxos de valores da etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária de modo sistêmico.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- a) adaptar as variáveis do fluxo necessárias à aplicação da ferramenta MFV no âmbito das obras rodoviárias;
- b) mapear os fluxos de valores da etapa de Terraplenagem de uma obra rodoviária;
- c) identificar as etapas da obra que geram desperdícios ou problemas segundo esse mapeamento;
- d) sugerir soluções que eliminem ou reduzam esses desperdícios através de conceitos e ferramentas *Lean*;
- e) introduzir a Filosofia *Lean* no âmbito de obras rodoviárias.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção contém uma breve análise dos trabalhos existentes acerca dos assuntos que serão abordados e as principais informações sobre como será estruturado o estudo. Apresentam-se aqui também algumas adequações da ferramenta MFV necessárias à sua aplicação na etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária.

### 2.1. Lean Production

O paradigma da produção denominado Sistema Toyota de Produção (STP) foi originado no Japão, na década de 50, e surgiu pela necessidade de aumentar a produtividade objetivando a total eliminação dos desperdícios. Atualmente, em uma era em que o mundo passa por crises no crescimento econômico, esta filosofia de produção representa um conceito inovador de produção que pode ser aplicado a variados tipos de indústria (Ohno, 1997). Anos mais tarde, o termo *Lean Production* foi introduzido pelo *International Motor Vehicle Research* de maneira a dar uma denominação mais ampla ao STP aplicado em áreas diferentes do setor automobilístico (BALLARD *et al*, 2007).

Segundo Ohno (1997), os pilares que sustentam o STP são o *Just-in-time* (JIT) e a autonomia. Produzir segundo o JIT significa que cada processo receberá o item necessário, no momento necessário e na quantidade necessária, caracterizando uma produção puxada. Nesse contexto, os métodos convencionais de produção empurrada não correspondem bem a essa situação. Assim, é importante refletir sobre a transferência de materiais na direção inversa, do processo anterior ao posterior. O método utilizado para sinalizar as necessidades chama-se *kanban* que são cartões que circulam pelos processos controlando a quantidade necessária de cada insumo. O *kanban*, quando bem utilizado, impede a superprodução e resulta na eliminação de estoque extra. O *Lean Production* é o método de produção e o sistema *kanban* é a forma como ele é administrado.

A autonomia é a automação com toque humano. Conforme Ohno (1997), é necessário utilizar máquinas que podem evitar a propagação dos defeitos “autonomamente”. Uma máquina automatizada é aquela que é equipada com dispositivo de parada automática, denominados de *poka-yoke*, que impedirão o surgimento dos defeitos. Portanto, não será necessário um operador enquanto a máquina estiver funcionando normalmente, pois ela é autônoma, o que possibilita o controle de várias máquinas por um único colaborador,

umentando a produtividade e reduzindo os custos. Parar a máquina quando um problema é detectado também faz com que todos tomem conhecimento do ocorrido, gerando transparência e melhoria.

Segundo Ohno (1997), desperdícios são elementos de produção que elevam os custos sem agregar valor ao produto final. Os sete desperdícios recorrentes em uma produção são:

- a) superprodução;
- b) espera;
- c) transporte;
- d) processamento em si;
- e) estoque;
- f) movimento;
- g) produtos defeituosos.

A aplicação da filosofia *Lean* tem como passo preliminar a identificação dos desperdícios e sua eliminação (OHNO, 1997). O *kanban* é uma ferramenta visual utilizada com a finalidade de se obter processos JIT. Trata-se de um cartão que representa uma autorização de produção ou de parada da mesma. Muitas vezes, outras informações são repassadas através dele, tais como a origem da matéria prima, o cliente, o local de armazenamento do item e como ele deve ser transportado. Existem dois tipos de *kanban*, o de produção, que indica o tipo e a quantidade do produto que o fornecedor deve produzir, e o de retirada, que indica o tipo e a quantidade do produto que o cliente pode obter. As unidades e os processos são sempre acompanhados de um *kanban* e nunca são expedidas peças com defeitos (DENNIS, 2008).

O objetivo principal do trabalho padronizado na filosofia *Lean* é o *kaizen*, que significa perfeição em japonês, e se ele não se altera com o passar do tempo, significa que não está havendo evolução, nem busca pela melhoria contínua. Algumas diretrizes auxiliam a encontrar oportunidades de *kaizen*, tais como a economia de movimento e a otimização do *layout* do local de trabalho (DENNIS, 2008).

## **2.2. Lean Construction**

Nas últimas décadas, os diversos problemas nas construções culminaram em esforços em desenvolver melhorias, liderados pelos governos, pela indústria da construção em si e pela comunidade científica. Esses esforços incluem a industrialização, a mecanização, as

mudanças nas relações contratuais e organizacionais, as construções integradas por computadores, a automação, a qualidade e, também, a adaptação dos conceitos e ferramentas do *Lean Production* as construções, denominado *Lean Construction* (KOSKELA, 1992).

Segundo Koskela (1992), apesar de existirem diversos casos de sucesso da aplicação da filosofia Lean em âmbitos que não sejam manufaturas, também há casos de insucesso, pois existem barreiras conceituais à sua introdução. Para que a implantação do *Lean* seja possível, os gerentes têm de entender e incorporar a mentalidade *Lean*, pois sua liderança é essencial nesse processo, não podendo haver a delegação dessa tarefa a subordinados. Os gerentes devem envolver os outros componentes da produção de maneira gradativa e somente após o estudo dos princípios, das ferramentas e das técnicas do *Lean* e dos processos produtivos em questão.

Os conceitos de administração tradicional em construções são baseados na noção de conversão, ou seja, é assumido que a produção total consiste numa série de etapas que convertem os insumos em produto final, e que podem ser realizados e analisados isoladamente, seguindo um modelo sequencial de realização do projeto, organização hierárquica e a negligência dos problemas de qualidade. Como consequência, a construção é caracterizada por uma alta porcentagem de atividades que não geram valor (espera, transporte, retrabalho, *etc*) resultando em perda de produtividade. A cultura da construção é majoritariamente caracterizada pelo pensamento e comportamento a curto prazo (KOSKELA, 1992).

As peculiaridades das construções, como projetos únicos, produção local, e organização temporal, muitas vezes impedem que os fluxos aconteçam de maneira eficiente como nas manufaturas. Segundo Koskela (1992), o conceito de produção local refere-se a vários aspectos que dificultam o fluxo nas construções entre os quais:

- a) o local de produção como recurso;
- b) a falta de um ambiente fechado, o que resulta na influência do clima ou de intrusões;
- c) a criação de infraestrutura para produção;
- d) o fluxo espacial das máquinas e colaboradores tem de ser planejado, ao contrário de manufaturas em que apenas o fluxo dos insumos tem de ser planejado.

A organização de um projeto de construção é usualmente designada com um propósito particular e a sua execução é realizada por diferentes empresas que não necessariamente já trabalharam juntas anteriormente e que são levadas a fazê-lo por questões variadas de contrato. A natureza temporal das construções se estende também à força de

trabalho, pois ela pode ser contratada somente a curto prazo, contrário ao que ocorre em manufaturas. Na prática, os responsáveis pela execução da obra são independentes à administração da construção e enquanto a falta de planejamento e controle da produção não interferir no prazo final de entrega, não há a devida preocupação por parte dos clientes. Apesar das características únicas do âmbito construtivo, os princípios gerais do desenho dos processos, do controle e das melhorias podem ser aplicados e os fluxos na construção podem ser otimizados. O valor consiste em dois componentes, o desempenho do produto e a ausência de defeitos (conformidade com as especificações). Ele tem de ser medido na perspectiva dos clientes e somente atividades de conversão adicionam valor ao material ou informação que está sendo transformado em produto, devendo ser mais eficientes (KOSKELA, 1992).

Segundo Koskela (2000), os seguintes princípios Lean são essenciais para a melhoria dos processos e solução dos problemas:

- a) reduzir o número de atividades que não agregam valor: atividades que não agregam valor, também chamadas de desperdícios, são atividades que levam tempo, recursos ou espaço, mas não adicionam valor ao produto final;
- b) agregar valor ao produto através da consideração dos desejos dos clientes: em vários processos, os clientes e seus requerimentos não são identificados;
- c) reduzir a variabilidade: dois itens são diferentes mesmo que eles sejam o mesmo produto, porque os recursos necessários para produzi-los variam. A utilização de procedimentos padronizados resulta, usualmente, na diminuição da variabilidade;
- d) reduzir o tempo de ciclo: o ritmo de produção pode ser caracterizado pelo tempo de ciclo. Ele pode ser calculado como a soma do tempo de processamento, do tempo de inspeção, do tempo de espera e do tempo de movimento. A melhoria básica do *Lean* é a compressão desse tempo de ciclo, o que reduz as atividades que não agregam valor;
- e) simplificar os processos através da diminuição do número de etapas: a simplificação pode ser realizada pela eliminação das atividades que não agregam valor no processo de produção e pela reformulação daquelas que agregam valor;
- f) flexibilizar processos;
- g) aumentar a transparência: a falta de transparência nos processos aumenta a propensão ao erro, reduz a visibilidade deles e diminui a busca por melhorias;
- h) controlar o processo de maneira global;

- i) buscar melhoria continua: os esforços em diminuir os desperdícios e aumentar o valor são atividades internas, periódicas e interativas que podem e devem ser executadas continuamente. O objetivo é eliminar a raiz do problema, ao invés de aprender a lidar com seus efeitos;
- j) equilibrar a melhoria do fluxo e dos processos de conversão: esses dois tópicos estão intimamente conectados, pois fluxos melhores requerem menos esforços de conversão, portanto, menos investimento em equipamentos;
- k) realizar *benchmark*: é preciso procurar os melhores procedimentos das empresas líderes de mercado, entender e comparar suas melhores práticas, incorporando-as da maneira mais adequada à sua realidade;

Segundo Alarcon e Seguel (2002), o conhecimento geral por parte de todos os colaboradores do processo e dos objetivos principais da Filosofia *Lean* são fundamentais para a aplicação da mesma em um novo âmbito e para a manutenção dela naqueles já existentes, pois assim, eles pensarão em como atingir essas metas, criando até mesmo expectativas quanto aos resultados a serem obtidos, assim como o papel e o compromisso que cada um terá nesse processo.

No âmbito de obras de rodovias, as variáveis são ainda mais diferentes que aquelas da construção civil. Entender essas diferenças e mostrar como ferramentas e técnicas *Lean* podem ser adaptadas no contexto de rodovias é fundamental para dar suporte à aplicação dessa filosofia nesse ambiente (ANSELL *et al*, 2002).

Segundo Wolbers *et al.* (2005), o *Lean Construction* é um agente para melhoria de processos e que adiciona valor ao produto final. Evidências do uso da mentalidade *Lean* em outros setores da construção têm mostrado que existem benefícios a serem obtidos pela aplicação de princípios do *Lean* em obras de rodovias. Para isso, a contextualização da teoria *Lean* originada das manufaturas é necessária caso o objetivo seja obter os benefícios dessa mentalidade no âmbito rodoviário.

### **2.3. Mapeamento do Fluxo de Valores**

Cantídio (2009) afirma que o maior objetivo da Filosofia *Lean* é a criação de um fluxo de valor enxuto que conduz a uma empresa enxuta. A ferramenta que auxilia nessa transição a partir da elaboração de um plano bem estruturado é o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV). Segundo Rother e Shook (1998), o propósito do MFV é identificar fontes de

desperdícios e eliminá-las através da elaboração de dois produtos, o Mapa do Estado Atual (MEA) e o Mapa do Estado Futuro (MEF). Na cadeia de valor estão contidas todas as ações (as que geram valor e as que não geram valor) existentes para fazer o produto passar por todos os principais fluxos. O MEA é aquele que representa como os processos estão ocorrendo atualmente, a partir de dados coletados no chão de fábrica. Esses dados são necessários para o desenvolvimento do estado futuro, que será um mapa que representará as melhorias propostas que visam diminuir desperdícios. Durante a confecção do MEA irão aparecer ideias para a criação do MEF, e no desenvolver deste, serão identificadas informações sobre o estado atual que antes não foram enxergadas. Sempre que houver um produto para um cliente, haverá uma cadeia de valor associada a ele, o desafio está em vê-la.

Cantídio (2009) afirma que o mapeamento do fluxo de cada processo é o ponto de partida para a empresa que deseja elaborar um plano bem estruturado para melhoria de produtividade, lucratividade, qualidade, redução de desperdícios e do *lead time* (tempo total de produção). Abordar a perspectiva da cadeia de valor significa trabalhar com a visão global e não somente processos individuais, melhorando o todo e não somente as partes. É importante ainda salientar que mapear toda a cadeia é um trabalho demasiado para o início de qualquer estudo.

Segundo Rother e Shook (1998), o MFV é uma ferramenta de uso através de papel e lápis que ajuda a entender o fluxo dos materiais e das informações durante a trajetória de um produto ao longo da linha de produção. O significado do MFV é simples, trata-se de seguir o caminho do produto desde os clientes até fornecedores, e de desenhar, cuidadosamente, uma representação visual de cada processo perguntando-se sempre questões chave o que resultará no MEF que é como o valor deveria fluir. O MFV é uma ferramenta essencial pelos seguintes motivos:

- a) ajuda a visualizar mais do que apenas processos isolados, é possível ver o fluxo;
- b) ajuda a ver mais do que o desperdício, é possível ver suas fontes na cadeia de valor;
- c) proporciona uma linguagem em comum para abordar os processos da produção;
- d) faz com que decisões sobre o fluxo fiquem aparentes, de maneira que possam ser discutidas;
- e) combina conceitos e técnicas *Lean*;

- f) forma as bases para um plano de aplicação. Ajudando a desenhar como o fluxo deveria acontecer, o mapa do estado futuro se torna a planta baixa para a utilização do *Lean*.

Identificar a cadeia de valor associada a determinado produto é uma das etapas mais importantes para se atingir a mentalidade *Lean*, um passo que a maioria das empresas ignora (WOMACK e JONES, 2003). Para identificar as dependências dos processos que serão mapeados, é importante proporcionar um fórum onde indivíduos com diferentes competências e conhecimento podem se juntar e discutir em condições iguais (KIVISTÖ e OHLSSON, 2013). O MFV pode ser uma mudança quando as partes começam a trabalhar juntas, sem serem obrigadas por um contrato tradicional, para melhorar um determinado fluxo de valor (WODALSKI *et al.*, 2011).

A *Association of Business Process Management – ABPM* - (2013) afirma que o desenho da cadeia de valor permite demonstrar um fluxo contínuo da esquerda para direita dos processos que irão produzir valor para os clientes. As notações da cadeia de valor são feitas por um conjunto de símbolos padronizados utilizados para visualizar a agregação de valor ou etapas para se atingir um objetivo. A análise do mapa ajuda a descobrir gargalos, filas, lotes desnecessários e interações que não agregam valor. À medida que as informações são revisadas, surgem oportunidades de melhoria. Essa é a base para mudanças que serão recomendadas na etapa de desenho do estado futuro. A observação direta é uma boa maneira de documentar detalhes do processo atual, revelando atividades e tarefas que, de outra forma, poderiam não ser identificadas.

Pessoas nem sempre fazem a mesma tarefa da mesma forma e, muitas vezes, compensam eventuais deficiências executando individualmente ações que não estão documentadas ou facilmente visíveis (WODALSKI *et al.*, 2011). Segundo Cantídio (2009), na análise do mapa do estado atual deve-se questionar:

- a) qual é a taxa de demanda do cliente (*takt time*)?
- b) qual é o tempo de estocagem dos materiais?
- c) qual é o tempo de ciclo do processo?

O *takt time* é o quão frequente o cliente está comprando aquele produto. O fluxo contínuo é criado pelo estabelecimento do *takt time* (o ritmo da demanda do cliente) e ajudará a estabelecer quanto de informação e trabalho devem ser executados (Cantídio, 2009).

Segundo ABPM (2013), a análise do tempo de ciclo observa a duração de cada atividade dentro do processo. É útil para descobrir potenciais gargalos dentro do processo que

dificultem sua correta execução e atividades que não agregam valor e que não contribuem para o resultado final. Durante a fase de análise, sugestões de mudanças para processos, funções e atividades em partes da organização que estão no escopo de trabalho são listadas, ponderadas e priorizadas. Isso revela um retrato dos pontos fracos dos processos atuais e ajuda a decidir o que será redesenhado e em que ordem. O desenho de processos será baseado na ideia de que o estado atual deve ser desafiado e que o processo precisa ser melhorado. Nessa abordagem, nenhuma parte da operação deve ficar fora de questionamento. Tudo deve ser analisado e revisto como oportunidade para reduzir esforço, melhorar qualidade, eliminar problemas, aumentar produtividade, eliminar desperdícios e defeitos e inovar. Problemas identificados durante a análise precisam ser eliminados ou mitigados.

Em muitos casos, o desenho de processos envolve a criação e compreensão dos processos atuais e um exame de como a operação pode ser melhorada ou modificada para atingir o objetivo desejado. Esse resultado pode ser variado, desde o aumento de produtividade até uma mudança na capacidade de operação. Poucos processos têm sido formalmente desenhados na maioria das organizações. A maioria simplesmente evoluiu com o tempo para entregar produtos ou serviços específicos. Essa evolução tem sido normalmente baseada na necessidade de “concluir o trabalho” e devido à dinamicidade do mercado, a necessidade de “concluir o trabalho” tem exigido mudanças constantes dos processos e no modo como eles são executado. Assim, apesar de ser operacionalmente bem-sucedida, a maioria dos processos ocorre de forma menos eficiente e eficaz do que poderia ser. Mudanças devem ser iniciadas com o entendimento do estado atual. Isso não deve ser omitido. Não se pode simplesmente começar do zero como se a organização e sua operação não tivessem algum passado (ABPM, 2013).

#### **2.4. Obras de Terraplenagem**

Segundo Catalani e Ricardo (2007), obras de terraplenagem são aquelas onde há movimentação de terra com o objetivo de tornar um terreno plano e hábil para variados tipos de construções. No âmbito de obras de rodovias, a terraplenagem acontece na construção de estradas. Para isso, é necessário obter um “*greide*” que será a base para a escolha dos locais de corte (retirada de solo) ou aterro (disposição de solo) e para seu posterior nivelamento de acordo com a estrada planejada. Obras de terraplenagem são necessárias em todos os tipos de construção, pois na maioria das vezes há a necessidade de nivelar o terreno ou realizar movimentações de terra.

Segundo Lima *et al.* (2013), a etapa de movimentação de terra representa a maior parcela do custo total da obra, sendo necessário uma atenção extra por parte dos construtores e dos órgãos contratantes na sua execução. Portanto, é preciso que as etapas componentes desse processo sejam realizadas de forma inteligente para que se consiga reduzir os custos da obra.

As obras de terraplenagem são compostas operações básicas tais como escavação, carga, transporte, descarga, espalhamento e compactação. Essas atividades seguem uma ordem natural, fazendo parte do chamado ciclo de operação de terraplenagem, onde o material é primeiramente retirado do seu lugar de origem (jazidas de empréstimo de solo) e transportado para o local de destino. Os últimos passos do processo, aqueles que constituem a execução do aterro propriamente dito, são o descarregamento, espalhamento, mistura e a compactação do solo, após os quais o ciclo será reiniciado seguindo a mesma ordem anterior (Catalani e Ricardo, 2007).

A etapa de compactação do solo diz respeito à operação de diminuir os vazios do solo através de sua compressão por máquinas. Quando atinge-se a massa específica aparente seca máxima do solo, por meio de energia mecânica, há o aumento da resistência do solo, pois se obtém a menor porcentagem de vazios, com um maior entrosamento entre as partículas (Senço, 2008).

Catalani e Ricardo (2007) afirmam que um fenômeno recorrente na etapa de terraplenagem é a expansão volumétrica do solo, também denominada de empolamento. Quando o terreno natural é escavado, o estado inicial de compactação do solo, aquele originado pelo seu processo de formação, passa por um aumento de volume que chega a ser expressivo e deve ser considerado no planejamento do volume que será transportado. Usualmente, considera-se que um aumento de volume na ordem de 1,25 vezes.

Segundo Pereira (1961), a utilização de máquinas na execução da terraplenagem é essencial graças ao seu auto rendimento. Os principais tipos de equipamentos utilizados na etapa de terraplenagem são:

- a) unidades de tração: a unidade de tração (trator) executa a tração ou empurra outras máquinas e que pode ser equipado com implementos que possibilitem a realização de diversas tarefas;
- b) unidades escavo empurradoras: o trator pode receber um implemento chamado lâmina que o transforma numa máquina capaz de escavar e de empurrar a terra, passando a chamar-se de trator de lâmina;

- c) unidades escavo transportadoras: as unidades escavo-transportadoras são as que escavam, carregam e transportam o solo a distâncias médias;
- d) unidades escavo carregadoras: são as unidades que escavam e transferem o solo a um outro equipamento que o transporta até o local de destino;
- e) unidades aplainadoras: essas unidades são especialmente indicadas a conformação final do terreno, seu acabamento. São denominadas de motoniveladoras;
- f) unidades de transporte: essas unidades são utilizadas quando as distâncias são grandes o bastante para que o emprego dos chamados caminhões basculantes que são equipamentos mais rápidos e de baixo custo que têm maior produtividade;
- g) unidades compactadoras: essas máquinas efetuam as operações de compactação com o objetivo de obter um volume de vazios menor;
- h) unidades escarificadoras: elas podem ser utilizadas em retrabalhos da camada de terraplenagem que não atingiu os requisitos pré-estabelecidos como grau de compactação.

Catalani e Ricardo (2007) afirmam que a estimativa da produtividade desses equipamentos não é um processo preciso, pois além de depender de diversos parâmetros de difícil determinação ainda existem outros fatores aleatórios que influenciam no seu desempenho. Assim, na estimativa de produção, recorre-se muitas vezes a julgamentos ou opiniões pessoais baseadas em experiências anteriores para a obtenção de resultados concretos, o que resulta na alta variabilidade dos processos e em um enorme risco que os planejadores assumem.

O rendimento das operações é influenciado diretamente pelos tempos de parada, portanto, a diminuição desse tempo resulta no aumento da produtividade. Segundo Catalani e Ricardo (2007), os principais parâmetros que influem na produção são:

- a) capacidade da caçamba: Para se obter maior produtividade, é necessário o enchimento total da caçamba, desde que a carga total não ultrapasse a carga máxima prevista pelo fabricante;
- b) tempo de ciclo mínimo: outro fator importante na produção dos equipamentos é o tempo de ciclo mínimo que é dependente das distâncias percorridas. Para que ele seja o menor possível é necessário que não haja paradas e que os movimentos elementares como carga, transporte ou descarga sejam executados no menor

tempo possível. Nesse caso, as paradas são o maior desperdício e influem na diminuição da produtividade;

- c) rendimento das operações: É a relação entre o número de horas efetivamente trabalhadas e o tempo em que o equipamento fica a disposição na obra para execução de uma tarefa. As paradas são o fator decisivo para um rendimento abaixo do ideal. Elas podem ocorrer por motivos variados, entre eles: defeitos mecânicos no equipamento, más condições meteorológicas, más condições do solo, falta de habilidade ou imperícia do operador, organização deficiente dos serviços, esperas devidas a outros equipamentos ou o tipo de equipamento. Portanto, o rendimento é de suma importância na produtividade e no custo dos serviços. A atitude do supervisor da obra influencia de maneira decisiva no rendimento global ao procurar eliminar ou reduzir os tempos de parada.

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT - (2009), os solos para escavação podem ser classificados em três categorias:

- a) material de 1ª Categoria: estão incluídos os solos residuais ou sedimentares, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo de 15 cm. No processo de escavação deve ser utilizado um “*Scraper*” rebocado ou motorizado;
- b) material de 2ª Categoria: estão incluídos os solos de resistência ao desmonte mecânico inferior a rochas. Sua escavação deverá ser efetuada pelo equipamento de escarificação mais potente especificado no contrato e ela poderá envolver explosivos ou outros processos manuais. Blocos de rocha de volume inferior a 2 m<sup>3</sup> e matacões de diâmetro entre 0,15 m e 1,00 m são representados por essa categoria;
- c) material de 3ª Categoria: estão incluídos os solos com resistência ao desmonte mecânico semelhantes ao de uma rocha não alterada. É necessário o emprego de explosivos para sua extração.

Segundo Lozano (2012), o controle tecnológico da camada de aterro é indispensável, pois um maior cuidado na sua execução reduzirá futuros defeitos e desperdícios nessa etapa e nas camadas seguintes de pavimentação como base e sub-base, evitando retrabalhos e prejuízo ao cliente. Durante a execução do corpo de aterro, o principal ensaio *in situ* realizado para a análise da sua qualidade é o de densidade *in situ* que determina a massa específica aparente seca do solo compactado e o grau de compactação da amostra com o

emprego do frasco de areia. Determina-se também o teor de umidade do solo pelo uso em mistura com carbureto de cálcio, colocado em um dispositivo medidor de pressão de gás chamado “*speedy*” (DNER, 1994).

No que diz respeito à alocação do canteiro de obras, como regra geral, deve-se escolher um lugar próximo de onde estão ocorrendo os serviços. Existe a possibilidade de alojamento em centros urbanos próximos, limitando as instalações do canteiro ao depósito dos equipamentos. Esta orientação, embora seja melhor economicamente, não é recomendada, pois além do deslocamento diário ao local da obra originando perda de tempo significativa, pode também afetar o comportamento dos colaboradores e o desempenho dos serviços, resultando em perda de produtividade (Catalani e Ricardo, 2007).

A construção dos aterros é a fase em que devem ser tomados os devidos cuidados no emprego correto das técnicas e procedimentos recomendados, pois a má execução desse trabalho resulta em consequências danosas à etapa de pavimentação e onerosas ao construtor e ao usuário das obras. O principal problema é devido à compactação inadequada dos aterros. As falhas podem aparecer depois de decorrido muito tempo da construção, como recalques excessivos, escorregamentos e erosão devida à ação das águas pluviais. Assim, a compactação é um trabalho de bastante responsabilidade, existindo alguns fatores que atrapalham a sua execução, como chuvas, excesso de umidade do solo e variação imprevisível nas suas características que contribuem para a má qualidade do aterro (CATALANI e RICARDO, 2007).

### 3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia adotada para se atingir os objetivos geral e específicos do estudo. Será discutido, entre outros assuntos, as adaptações feitas para a aplicação da ferramenta MFV na obra rodoviária, as escolhas da obra e da etapa a serem estudadas, assim como a coleta de dados e a análise dos resultados.

#### 3.1. Delineamento da Pesquisa

O presente trabalho será baseado num estudo de caso que auxiliará o cumprimento do objetivo geral de visualizar a cadeia de fluxos de valores da etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária e dos objetivos específicos. Segundo Ballard *et al.* (2007), um estudo de caso bem conduzido pode resultar em uma fonte de embasamento para uma nova teoria quando existem poucos exemplos, o que se aplica à Filosofia *Lean* no âmbito de obras rodoviárias.

Como se trata de uma ferramenta utilizada principalmente em manufaturas, sentiu-se a necessidade de se realizar uma aplicação mais prática do MFV, de maneira a auxiliar o processo de adaptação que deverá ser realizado às variáveis dessa ferramenta em um âmbito diferente daquele no qual ela teve origem. Considera-se o estudo de caso como a opção mais adequada de acordo com o exposto. A escolha de uma abordagem mais prática também foi feita pela necessidade de se obter dados reais para a elaboração dos mapas do estado atual e futuro e de maneira a introduzir a Filosofia *Lean* de forma mais concreta e palpável no âmbito das obras rodoviárias.

#### 3.2. Delineamento do Estudo de caso

O delineamento do Estudo de Caso foi dividido em quatro momentos, como indicado abaixo.

A primeira etapa consistiu na seleção da obra rodoviária. O fácil acesso ao canteiro de obra e o bom relacionamento com os responsáveis por seu controle foram fatores decisivos na escolha da construtora de maneira a não prejudicar a coleta de dados.

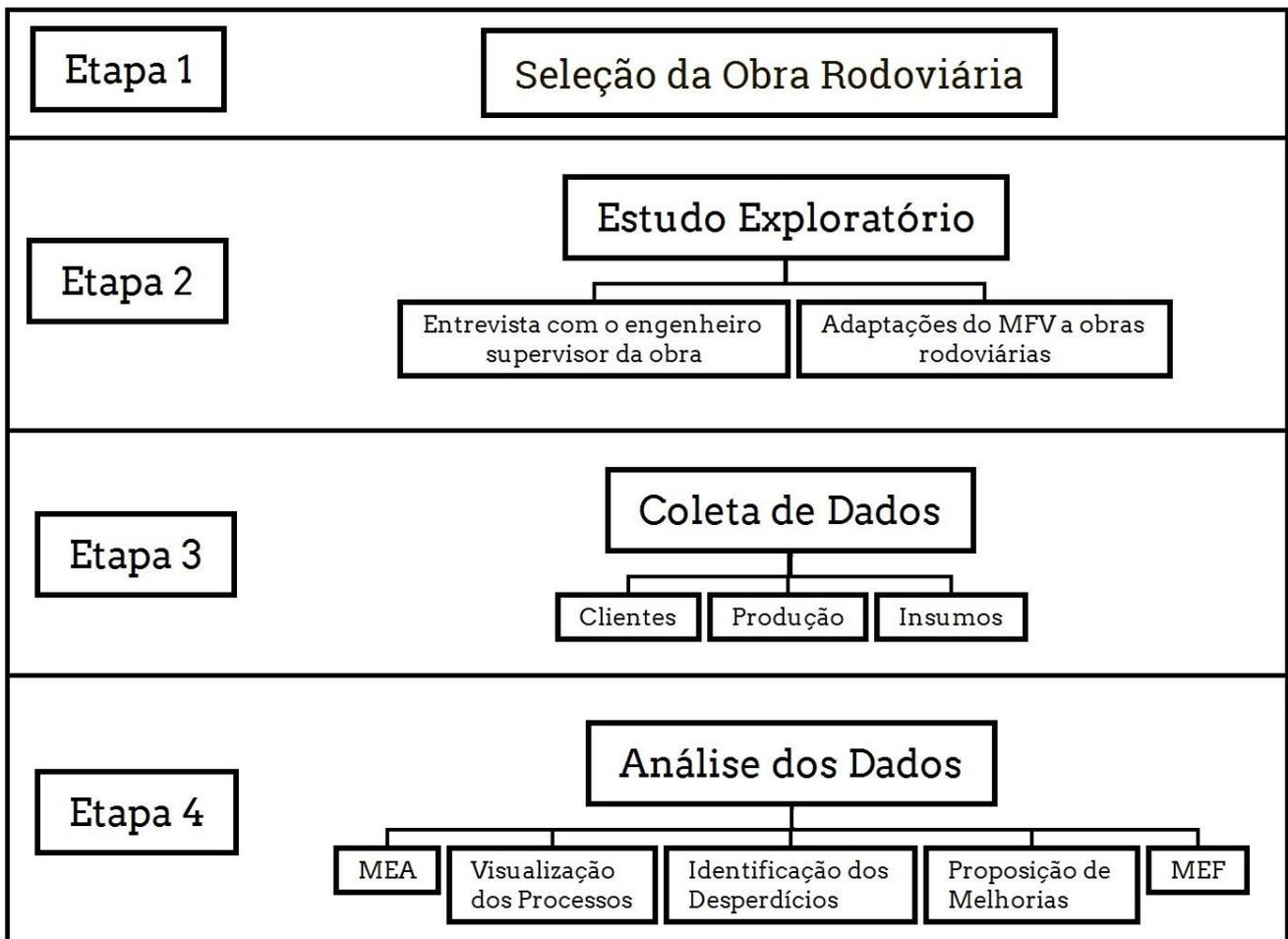
A segunda etapa, a de estudo explanatório, teve o objetivo de familiarização com a obra e com a ferramenta a ser utilizada, o MFV. Foi onde houve também o planejamento e a preparação para a etapa de coleta de dados.

A terceira etapa foi a de coleta dos dados. As ferramentas utilizadas nas coletas dos variados tipos de dados. Informações sobre os clientes foram obtidas principalmente através de entrevistas e documentações. Já dados da produção foram obtidos principalmente através da filmagem dos processos e de registros sobre o cotidiano da obra. Por fim, os dados sobre os insumos foram obtidos através de entrevistas e dos mesmos registros sobre a obra utilizados na busca sobre informações da produção.

A quarta etapa consistiu na análise dos dados coletados, representado pelo desenho do Mapa do Estado Atual, a identificação dos problemas e desperdícios, e proposição de soluções *Lean* resultando no desenho do estado ideal da produção, o estado futuro.

A Figura 1 ilustra as quatro etapas do Estudo de Caso e as próximas seções irão detalhá-las.

Figura 1 – Etapas do Estudo de Caso



### **3.2.1. Seleção da Obra Rodoviária**

Para a realização do estudo de caso, foi necessária a escolha de uma obra rodoviária em que o acesso aos dados pudesse ocorrer com facilidade, além de visitas e de entrevistas. Selecionou-se a obra supervisionada pela empresa na qual a autora estagia. Como os dados serão obtidos através de uma empresa terceirizada, os nomes e outras informações da construtora e da obra serão omitidos atendendo à solicitação da mesma.

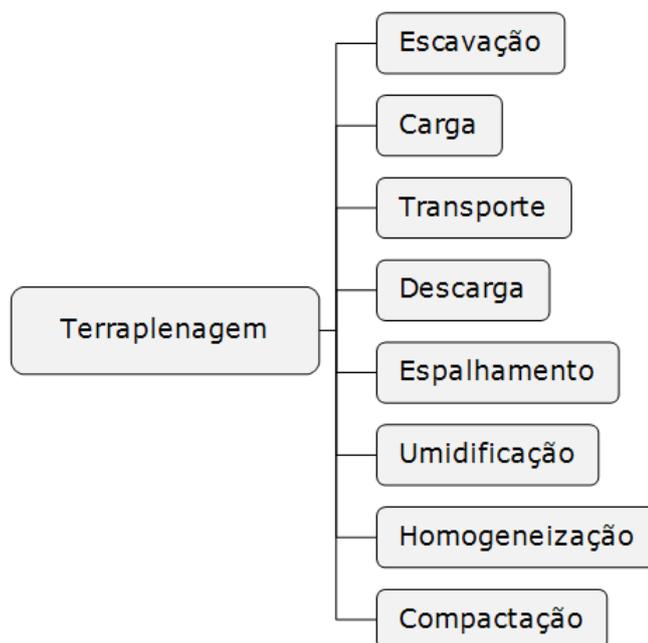
A obra rodoviária deverá ter a extensão total pavimentada de 29,52 km que se estenderá entre duas localidades do litoral oeste do estado do Ceará. Ela tem como cliente final o Governo do Estado do Ceará. A concorrência pública para a execução da obra foi do tipo menor preço e a construtora ganhadora já havia executado outra obra rodoviária para o mesmo cliente.

### **3.2.2. Estudo Exploratório**

Segundo Rother e Shook (1998), uma perspectiva da cadeia de valor proporciona uma visão global não apenas dos processos de maneira individual, mas do todo: assim, as melhorias implantadas através dela refletirão no conjunto e não somente nas partes. É importante salientar que por ter sido originado em manufaturas, algumas adaptações deverão ser feitas para que essa ferramenta possa ser aplicada em uma obra rodoviária.

Mapear toda a cadeia de valor de um processo produtivo é um trabalho demasiado para o início de qualquer estudo e a tentativa de fazê-lo pode gerar excesso de informações e pouco resultado, portanto, aconselha-se o mapeamento de apenas uma família de produtos, ou seja, conjuntos que passam por processos semelhantes com o uso das mesmas máquinas (Rother e Shook, 1998). No presente trabalho, como analisou-se uma obra rodoviária cujo produto final é único e definido como a própria via, a primeira adaptação do uso da ferramenta foi considerar uma família de produto como sendo uma das etapas de execução da obra. Optou-se por coletar os dados necessários durante seis visitas realizadas em um intervalo de quatro meses, os de julho, agosto, setembro e outubro. Essa escolha ocorreu devido ao tempo disponível de análise dos dados, pois essa etapa da obra teve início na mesma época do começo dessa pesquisa, havendo um tempo maior disponível à coleta de dados, e também pelo fator da repetição da execução da terraplenagem ser composta basicamente das etapas contidas na Figura 2.

Figura 2 – Etapas de execução da Terraplenagem



Fonte: Autora (2015).

Inicialmente, o tempo total para a execução da obra de acordo com o cronograma físico-financeiro seria de quinze meses, sendo que a etapa de terraplenagem teria duração de onze meses. A principal forma de comunicação com a obra foi através de visitas e entrevistas com o engenheiro civil responsável pela supervisão, além da consulta aos Relatórios Diários de Obra (RDO) enviados ao escritório.

Nesse sentido, uma notável diferença identificada entre uma obra rodoviária e uma manufatura foi a noção de tempo total de produção (*Lead Time*) entre uma e outra. Em manufaturas, muitas vezes, o processo de produção do produto final dura apenas um ou poucos dias, sendo possível mapear seus fluxos de valores durante um curto intervalo de tempo. Já em construções, o tempo de execução pode chegar a anos, e um processo depois de executado não retornará a acontecer daquela exata maneira novamente, ou seja, os produtos numa obra são únicos e seus processos de produção bastante variáveis. Tendo em vista o exposto, verificou-se que enquanto o mapeamento dos fluxos de uma manufatura pode ser realizado em apenas uma visita, pois os processos se repetem com exatidão várias vezes ao dia, numa construção é necessário observar os processos durante o maior tempo possível, de maneira a obter uma média geral de cada informação para que o MEA reproduza com a maior precisão possível o que está ocorrendo na obra. Para que a representação gráfica do fluxo de valor atual seja fiel à realidade,

é preciso coletar as informações diretamente da obra, observando o caminho de produção desde o cliente até o fornecedor.

Por ser uma construção horizontal, obras de rodovia tem como peculiaridade o fato dos colaboradores e máquinas serem deslocados continuamente de local, caminhando ao longo do terreno de acordo com a evolução da execução da obra que resultará em um produto estático e único. Em manufaturas, os insumos necessários à produção são as unidades que circulam pela fábrica, enquanto os colaboradores e máquinas ficam fixos e estáticos. Essa diferença resulta numa maior dificuldade em mapear os fluxos em uma obra rodoviária, já que muitas vezes, dois processos estão ocorrendo simultaneamente, mas a quilômetros de distância.

A relação entre o cliente e a construtora também tem algumas peculiaridades. Enquanto em manufaturas o cliente pode efetuar vários pedidos de produtos diferentes, em variadas quantidades e rapidamente obtê-los, numa obra de rodovia, o cliente final é único e responsável pelo pagamento desse serviço. Além disso, ele demanda à construtora apenas um produto que é a via pavimentada. A comunicação entre os dois se dá, na maioria das vezes, através de uma empresa supervisora que irá avaliar se os serviços estão sendo realizados na quantidade e na qualidade previamente estabelecidas em contrato. Outra maneira de interpretar o pedido do cliente é considerar que cada etapa da obra é um pedido diferente e que este deve ser executado de acordo com o desejado, ou seja, agregando valor ao produto final na visão dele.

Devido às diferenças expostas, algumas variáveis utilizadas na ferramenta MFV sofreram alterações de maneira a adequá-las às características de uma obra rodoviária. O *Takt Time*, que representa a frequência com a qual o cliente está comprando aquele produto, foi considerado como sendo a divisão entre o tempo estipulado no cronograma para a sua execução e a quantidade de movimentação de terra que terá de ser feita. Portanto, ele foi calculado, nessa nova conformação, dividindo-se o tempo total de execução da terraplenagem em minutos pelo volume total de material não compactado utilizado na etapa. Assim, o *takt* da construção indica o ritmo em que se deve produzir com base na demanda do cliente que foi estipulada em contrato através do cronograma físico-financeiro.

O uso dos equipamentos de terraplenagem se repete através do tempo, de forma cíclica, pois terminada uma sequência de operações, inicia-se a seguinte na mesma ordem anterior. Essas quatro operações básicas representam um ciclo de operações que se repetem num intervalo de tempo. No âmbito de obras rodoviárias, um ciclo é, portanto, o conjunto das operações que um equipamento executa com certa duração, voltando, em seguida, à posição

inicial para recomeçá-las. Porém, nesse trabalho, ele não foi calculado dessa maneira, pois esse tempo de ciclo (T/C) deve ser calculado de maneira a possibilitar a comparação dos seus valores com os valores de *Takt Time*. O tempo de ciclo (T/C) do trecho analisado foi calculado como o tempo total que durou a terraplenagem dividido pelo volume de movimentação de solo realizado no trecho estudado. Essa quantidade de movimentação de terra foi obtida através dos levantamentos topográficos realizados diariamente pela equipe topográfica de campo e o tempo de trabalho foi obtido através da filmagem de todo o serviço obtendo-se a contagem dos tempos a partir dos vídeos.

Como as máquinas ditam a duração da execução, por serem responsáveis pela realização da etapa de terraplenagem em si, houve a preocupação em marcar os tempos considerados improdutivos, tais como tempos de manobra, tempos de espera *etc.*

Os fornecedores de matéria-prima da terraplenagem são as jazidas de empréstimos de solo. Segundo a nota de serviço de movimentação de terra elaborada pelo projetista, sete jazidas fornecerão solos para a execução dessa etapa. Através desse documento, também é possível saber de qual jazida o solo foi retirado para cada intervalo de estaqueamento.

Após a análise da situação em que se encontrava o controle e planejamento da obra, assim como do andamento da sua execução, foram definidos os dados necessários ao desenho do MEA referentes às demandas dos clientes, ao processo produtivo, ao controle tecnológico e à matéria prima.

Nos Quadros 1, 2 e 3 abaixo são identificados os tipos de dados a serem coletado.

Quadro 1 – Dados dos clientes coletados

Informações - clientes
Cliente Final
Informações gerais sobre a rodovia
Forma de licitação
Forma de comunicação
Prazo de execução da obra
Prazo de execução da etapa de terraplenagem
Volume total de terraplenagem
Cliente interno (etapa subsequente)

Fonte: Autora (2015).

Quadro 2 – Dados da produção coletados

Informações - produção
Processos básicos da produção
Takt time
Trecho estudado
T/C
Número de colaboradores
Quantidade de máquinas
Número da camada de Terraplenagem
Programação e controle da produção

Fonte: Autora (2015).

Quadro 3 – Dados de insumos coletados

Informações - empréstimo de solos
Jazidas de empréstimo da coleta
Jazida de projeto?
Tipo de solo
Unidade transportadora
Quantidade transportada
Forma de armazenamento do solo
Tempo de estoque

Fonte: Autora (2015).

### 3.2.3. Coleta de Dados

Após a escolha da obra e o estudo exploratório, o próximo passo foi acompanhar a etapa de execução objeto do estudo para coletar os dados cujo processamento resultou no MEA. Para a sua elaboração, foi necessário estar em contato direto com a obra, de maneira a permitir a coleta de dados confiáveis e representativos.

Esse momento ainda contou com registros fotográficos das visitas feitas pela autora, de maneira a demonstrar como alguns processos foram realizados e para complementar outras evidências que foram utilizadas no estudo de caso.

No Quadro 4 estão listadas todas as fontes de informações sobre a obra enviadas pela equipe de campo ao escritório diariamente e utilizadas durante a pesquisa.

Quadro 4 – Fontes de Coleta de Dados

Planilhas de Levantamentos Topográficos
Relatórios Diários de Obra (RDO)
Entrevistas com colaboradores e responsáveis pela obra
Vídeos e Fotos da execução da etapa de terraplenagem

Fonte: Autora (2015).

### 3.2.4. Análise dos Dados

O Mapa do Estado Atual tem como objetivo principal a visualização do que está acontecendo atualmente no processo produtivo. A sua análise permite identificar os desperdícios e propor melhorias segundo a Filosofia *Lean* para a obtenção de um fluxo ideal, livre desses desperdícios, gerando alta qualidade e custo mais baixo. Segundo Rother e Shook (1998) para alcançar essa nova conformação de fluxo, os responsáveis pela produção devem seguir uma série de premissas. As que se aplicam a esse trabalho, após realizadas as devidas adaptações ao âmbito de obras rodoviárias, estão listadas a seguir:

- a) produzir de acordo com o *takt time*. O conceito de *takt time*, conforme exposto anteriormente, está ligado ao ritmo de produção. A sua unidade aqui será s/m<sup>3</sup>. Ele é o referencial da frequência com a qual a produção deve ser guiada. Se o Tempo de Ciclo da produção for inferior ao *takt time*, significa que está havendo uma superprodução e haverá geração de estoque, o que segundo a Filosofia *Lean* é um grave desperdício. Caso contrário, haverá uma sub-produção e o processo não estará atendendo às demandas dos clientes;
- b) desenvolver fluxo contínuo onde for possível. A ideia é que os processos tenham tempo de ciclo similar, não havendo variabilidade de tempo nem de quantidade, resultando na diminuição dos desperdícios;
- c) fazer com que os processos ocorram de maneira puxada e não empurrada, como tradicionalmente é feito, depois de estabelecido o fluxo contínuo, na medida em que o processo posterior controla o ritmo de produção do anterior.

Após a elaboração do Mapa do Estado Atual, sua análise através do cumprimento das três premissas acima expostas e da proposição de melhorias aos processos segundo a Filosofia *Lean*, elabora-se o Mapa do Estado Futuro, que é o desenho do processo produtivo que ocorre livre de problemas e desperdícios, ou seja, de maneira ideal.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta o mapeamento do fluxo de valores da etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária. Para se atingir o objetivo geral de mapear a cadeia de maneira sistêmica, é necessário apresentar os dados coletados relativos às demandas dos clientes, à execução da terraplenagem em si e ao fornecimento de matéria prima que foram utilizados para desenhar o Mapa do Estado Atual. Através da análise desse mapa, identificam-se os desperdícios e os problemas presentes nos processos e propõe-se melhorias *Lean* que possam diminuir ou eliminar os mesmos, traduzindo todas essas conclusões no desenho do Mapa do Estado Futuro.

### 4.1. Mapa do Estado Atual

Nessa seção, apresentam-se os dados coletados necessários ao desenho do MEA. Essas informações são relativas ao fluxo de valores de clientes, produção e insumos e tem como finalidade retratar a maneira com a qual a produção está fluindo.

#### 4.1.1. Clientes

A obra na qual o trabalho foi realizado é uma obra rodoviária de 29,52 km de extensão entre duas localidades do litoral oeste do Estado do Ceará pelo prazo de execução total de 450 dias corridos contados a partir da data de recebimento da ordem de serviço e no valor global de R\$ 63.386.288,72 (Sessenta e três milhões e trezentos e oitenta e seis mil e duzentos e oitenta e oito reais e setenta e dois centavos). A execução de uma obra rodoviária consiste de basicamente das etapas de terraplenagem e de pavimentação. A que servirá de base de estudo nesse trabalho é a de terraplenagem que consiste na movimentação de terra com a finalidade de se atingir uma conformação final do solo de acordo com o projeto.

Diferentemente de obras de construção civil, o cliente final dessa obra rodoviária é único, sendo representado pelo Governo do Estado. Tal fato deixa mais claro ao executor da obra os desejos do cliente, já que estão concentrados na figura de uma só entidade. Tanto a execução como o projeto ficaram sob a responsabilidade de empresas que já haviam realizado outros trabalhos para o mesmo cliente, havendo portanto, experiências prévias entre todos os envolvidos.

Como não há compra de unidades por clientes diferentes, como acontece nos produtos da construção civil, o pagamento à construtora é feito mensalmente através das chamadas medições que são documentos elaborados mensalmente pela construtora que informam ao cliente a quantidade de cada serviço que foi realizado por ela. Como intermediário nessa relação entre cliente e construtora, está a supervisora contratada pelo cliente que tem como função verificar a quantidade e qualidade com as quais cada etapa está sendo executada, inclusive a que é objeto desse estudo, a de terraplenagem.

A construção da rodovia iniciou-se em maio com a realização de serviços preliminares, como a locação do canteiro de obra, de construção da infraestrutura de uma das duas pontes que farão parte da rodovia e do movimento de terra, objeto desse estudo. Segundo o cronograma físico-financeiro elaborado pela construtora antes do início da execução da obra, a etapa de terraplenagem teria duração total de 11 meses com um orçamento de R\$ 8.651.390,84 e volume total de movimento de solo 775.530 m<sup>3</sup>. A quantidade de serviço realizado seria dividido de maneira constante durante todos os meses, 10% do volume total por mês, exceto no primeiro e último mês, em que apenas 5% seriam realizados. Porém, o que foi observado ao longo das cinco primeiras medições foi uma inconstância na quantidade inicialmente planejada em cada mês. Enquanto nos dois primeiros meses os valores ficaram próximos ao planejado, nos três meses seguintes houve uma brusca oscilação, com nada sendo medido na terceira e quarta medição e 32% sendo medido na quinta medição, ou seja, nesse último mês, a construtora mediu o equivalente aos meses em que nada foi medido. Esse fato demonstra uma dificuldade de executar de acordo com o que fora estipulado na fase de projeto, o que resulta em um desequilíbrio de custos e de volume de trabalho, sendo prejudicial ao fluxo dos serviços.

O Quadro 5 mostra, de maneira resumida, o andamento da execução da terraplenagem ao longo dos cinco primeiros meses. Os itens na cor verde representam o que fora executado em cada mês, enquanto os itens em vermelho representam o que deverá ser executado a cada medição de acordo com a quantidade de serviços que ainda restam. Observa-se que na quarta medição, relativa quarto mês, a construtora chegou a aumentar o prazo para execução da terraplenagem em dois meses, tendo duração total de treze meses.

Quadro 5 – Cronograma físico-financeiro dos cinco primeiros meses

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1a medição	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	5%		
2a medição	5%	9%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	6%		
3a medição	5%	9%	0%	20%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	6%		
4a medição	5%	9%	0%	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	6%	10%	10%
5a medição	5%	9%	0%	0%	32%	10%	10%	10%	10%	8%	6%		

Fonte: Autora (2015).

De maneira geral, o cliente interno à etapa de terraplenagem, ou seja, a etapa seguinte que irá dar continuidade à obra rodoviária, é a de pavimentação, que consiste na construção de camadas superiores às de terraplenagem de material mais resistente que o solo empregado na etapa em estudo. Diferentemente da ordem de execução dos serviços da maior parte das construções, que é bem demarcada e sequencial, obras rodoviárias tem a maioria das suas etapas acontecendo simultaneamente. Isso somente é possível devido ao fato dos serviços serem executados de trechos em trechos, então enquanto em um trecho os serviços de movimentação de terra podem estar sendo iniciados, outro trecho bem próximo pode já estar ocorrendo a execução das últimas camadas de pavimento. Tal flexibilidade é excelente quando problemas de ordem estratégica ocorrem, pois as máquinas podem ser realocadas a outro trecho, mas prejudicial quanto à disciplina do cumprimento do planejamento.

A etapa de terraplenagem é uma das mais importantes de uma obra rodoviária, pois representa a fundação da estrutura. É nesse momento em que o terreno é preparado para receber o empreendimento. Tais atividades são, portanto, indispensáveis a qualquer tipo de obra, independentemente do seu porte, principalmente em um país de dimensões continentais como o Brasil cuja infraestrutura ainda precisa ser ampliada. A qualidade de seus materiais e de sua execução são fatores determinantes na obtenção de uma rodovia que atenta a todas as especificações de projeto e determinações dos clientes e usuários. Por isso, é bastante importante o controle da execução dos serviços de movimentação de terra, a fim de garantir a segurança e a viabilidade técnico-econômica dos projetos.

No Quadro 6 são apresentados os dados coletados referentes à demanda dos clientes.

Quadro 6 – Dados coletados referentes à demanda dos clientes

Informações - clientes	Dados Coletados
Cliente Final	Governo do Estado do Ceará
Informações gerais sobre a rodovia	Extensão total de 29,52 km
Forma de licitação	Tipo menor preço
Forma de comunicação	Por intermédio de uma empresa supervisora
Prazo de execução da obra	15 (quinze) meses
Prazo de execução da etapa de terraplenagem	11 (onze) meses
Volume total de terraplenagem	775530,00 m <sup>3</sup>
Cliente interno (etapa subsequente)	Pavimentação

Fonte: Autora (2015).

#### 4.1.2. Produção

Embora a obra rodoviária tenha 29,52 km de extensão, a coleta de dados aconteceu em apenas alguns trechos da obra. Tal fato deveu-se às dificuldades de coletar informações homogêneas que poderiam ser comparadas e obtidas médias de seus valores.

Diversos fatores podem variar ao longo de uma obra rodoviária, tais como o tipo de solo o qual pode ser originado de jazidas de empréstimos diferentes, o comprimento de cada trecho a ser executado que é variável, do número de máquinas utilizadas na execução, da experiência dos operadores, da espessura que a camada deverá ter entre outros aspectos.

A coleta de dados dependeu de trechos cujos dados poderiam ser comparados, o que representou o maior desafio dessa fase e limitou o número de dados coletados. A falta de planejamento da produção e a desobediência ao cronograma prejudicaram o andamento da coleta de dados. Não existia um planejamento diário do que deveria ocorrer, o que dificultava a organização das visitas pelo não conhecimento de que trecho seria executado em determinado dia ou que tipo de solo seria utilizado. Todos esses fatores foram decisivos na definição de coletar amostras da execução de apenas um trecho da terraplenagem, porém com dados homogêneos, resultando em informações suficientes para se desenhar o MEA.

A análise da terraplenagem no presente trabalho ficará restrita aos serviços que acontecem no próprio trecho a ser executado da rodovia, não abrangendo as etapas iniciais de transporte do solo.

A etapa de espalhamento consiste no tombamento do material estocado na forma de leiras e na mistura do solo no trecho e é feito com a máquina Motoniveladora e seu operador. A etapa de umidificação, realizada com o auxílio do caminhão pipa e seu operador, visa dar ao solo a quantidade necessária de água para que no final seja obtida o teor de compactação adequado para a camada, pois a umidade ótima que o solo deve obter no final do processo está diretamente ligada à umidificação. A etapa de homogeneização, realizada por um trator acoplado a uma grade de disco e seu operador, visa deixar a mistura de solo única, de maneira que todos os seus pontos tenham características semelhantes. Todas as etapas acima descritas podem ocorrer simultaneamente, com as máquinas passando diversas vezes ao longo do trecho de maneira a obter a qualidade desejada.

A única etapa que ocorre isoladamente é a de compactação do trecho, realizada pelo rolo compactador e seu operador. Essa última etapa é extremamente importante, pois a resistência da camada assim como a aprovação de sua execução pelo ensaio de densidade *in situ* que será executado no fim, depende do teor de vazios existente no solo. A qualidade da compactação também pode evitar o surgimento de defeitos futuros nas camadas do pavimento.

Todas as etapas da terraplenagem foram primariamente executadas por máquinas e seus operadores, sendo bastante dependente do funcionamento das mesmas e da experiência dos colaboradores. Portanto, tanto a qualidade, quanto a produtividade da execução dependem também de um fator difícil de mensurar e um parâmetro variável na coleta de dados que é a competência do operador. Decisões importantes durante a execução do serviço, tais como o número de passadas das máquinas pelo trecho, a quantidade de água adicionada e a qualidade dos solos de jazidas de empréstimos não ensaiadas, são tomadas pelos operadores baseadas apenas nas suas experiências, o que torna todo o processo dependente da presença desses profissionais.

Existem ainda profissionais contratados pela construtora responsáveis por supervisionar a execução que são o encarregado e o engenheiro civil. O encarregado muitas vezes detinha as principais informações de como estava fluindo a obra, já que o engenheiro ficava encarregado de tarefas mais burocráticas do que técnicas. Monitorar uma obra de quase 30 km de extensão mostrou-se ser um desafio aos responsáveis, pois não havia um total controle por parte deles do que fora executado ou do que seria realizado, assim como a inexistência de um planejamento de curto e médio prazo dos serviços, comprometendo o fluxo da obra.

Outro desafio inerente de uma obra de grande extensão é a fiscalização da segurança e da saúde dos colaboradores e pessoas que circulam nas redondezas da obra. Os equipamentos

de proteção individual (EPI) e coletivo (EPC) devem ser fornecidos e sua utilização fiscalizada pela construtora, porém, durante as visitas, foram observadas várias situações de não uso dos equipamentos por parte dos funcionários.

O ensaio de densidade *in situ* é indispensável para a aprovação da qualidade do serviço executado e para a liberação do prosseguimento dos serviços das camadas seguintes. O ensaio consiste na determinação da massa específica aparente *in situ* com o emprego do frasco de areia, onde o material coletado na obra é comparado com o material ensaiado em laboratório anteriormente, afim de determinar se a camada executada atingiu o grau de compactação desejado. O controle tecnológico por parte tanto da construtora quanto da supervisora mostrou-se, de maneira geral, eficiente e responsável pelo controle da qualidade dos serviços.

Apesar do controle tecnológico ser adequado, o controle da produtividade não seguia o mesmo ritmo. Não há programação ou controle da produção diário por parte da construtora, o cronograma físico financeiro apresentado na proposta comercial é a única fonte de planejamento da quantidade mensal de serviços a serem executados fornecido pela construtora e, apesar disso, não é obedecido, já que ele muda constantemente, a cada medição, com grande oscilação dos valores das porcentagens de execução a cada mês se comparado com aquilo que fora estabelecido inicialmente. Tal fato já resultou na oscilação da previsão de conclusão da etapa de terraplenagem, conforme comentado no tópico sobre o relacionamento com os clientes, portanto, a falta de um planejamento a curto prazo e a desobediência ao cronograma existente já trouxe consequências prejudiciais ao fluxo da obra.

A carga horária de trabalho dos colaboradores é de oito horas diária com os turnos de trabalho indo de 8 às 18 horas, com pausa para almoço de duas horas entre o meio dia e as 14 horas. Não há intervalos adicionais para descanso ou lanche. Observou-se, porém, que o engenheiro civil e o supervisor da construtora não cumpriam tais horários com exatidão. Diversas vezes, o encarregado era o representante da construtora com maior autoridade e conhecimento presente na obra. Outros profissionais que estão bastante presentes na obra são o engenheiro, a equipe topográfica e de ensaios de campo da empresa supervisora contratada pelo cliente. Eles acompanhavam quase a totalidade dos serviços, com exceção apenas daqueles realizados aos sábados, dia que não deveria ser útil, mas que usualmente é usado pela construtora para adiantar serviços ou executar aqueles que estão atrasados.

Os dados foram coletados ao longo de seis visitas que aconteceram ao longo dos meses de agosto, setembro, outubro e novembro. Em função do prazo da pesquisa, o número de visitas foi limitado. Nesse período, foram executados 533.565,07 m<sup>3</sup> de terraplenagem,

faltando 241.964,93 m<sup>3</sup> de movimentação de terra para a conclusão dessa etapa. Os principais dados de produção coletados foram os de tempo de execução de cada etapa da terraplenagem. Esses tempos totais foram divididos em tempo de trabalho útil, tempo de manobra e tempo de parada. Essa divisão foi importante, pois separou o tempo de trabalho que realmente agregou valor ao produto final, o tempo de execução, o tempo que não agrega valor, e apesar de imprescindível, pode ser reduzido, tal como o tempo de manobra e o tempo que representou um desperdício, o tempo de parada.

Somente um trecho foi estudado em relação à produtividade. Parâmetros como origem e tipo do solo, extensão do trecho, número de máquinas, experiência dos operadores e ação climática mostraram-se bastante variáveis, não sendo confiável, ao fim da coleta, a realização da média dos valores de tempo coletados. Desse modo, no 20 de novembro de 2015, foram coletados os dados referentes ao intervalo entre as estacas 440+10,00 e 449+10,00 da nona camada de terraplenagem desse trecho.

Os apêndices A, B e C apresentam os dados coletados dos tempos de execução da Motoniveladora, do Trator com Grade de Disco e do Rolo Compactador. O tempo do caminhão Pipa não se mostrou relevante para a análise do T/C em razão do seu tempo de trabalho estar englobado sempre pelos tempos da Motoniveladora e do Trator com Grade de Disco, não adicionando tempo, portanto, ao *lead time* da produção. No entanto, é importante demarcar os tempos da Motoniveladora e do Trator com Grade de Disco, pois apesar de trabalharem concomitantemente, é necessário saber qual trabalha durante mais tempo, de maneira a obter o tempo total da produção.

No Quadro 7 estão especificados o número de máquinas e operadores que trabalharam no trecho estudado.

Quadro 7 – Quantidade de máquinas e operadores que trabalharam no trecho

Máquinas	Quantidade	Operadores
Motoniveladora	2	2
Trator com Grade de Disco	2	2
Rolo Compactador	3	3
Caminhão Pipa	1	1

Fonte: Autora (2015).

O Quadro 8 ilustra, de forma resumida, os tempos de execução de cada máquina separados em três categorias de acordo com o que fora observado nas visitas exploratórias.

Todas as máquinas, durante a realização de suas funções, tinham um tempo útil de trabalho, quando aconteciam as passadas de ida e volta pelo trecho, e um tempo de manobra. Há ainda o tempo que as máquinas ficaram paradas. Esse tempo era de espera, pois com exceção dos Rolos Compactadores, todas as máquinas tiveram de aguardar uma outra máquina terminar sua manobra mesmo já estando na posição correta para dar continuidade ao serviço.

Quadro 8 – Tempos totais coletados, em minutos, por máquina

	Unidades	Útil	Manobra	Parado	Total
Motoniveladora	minutos	77,617	28,115	24,783	130,51
Trator com Grade de Disco	minutos	66,433	27,583	28,417	122,43
Rolo Compactador	minutos	54,133	0,783	0,000	54,92

Fonte: Autora (2015).

De acordo com o volume total de movimentação de solo de projeto (775530 m<sup>3</sup>) e o tempo total para a execução da etapa (212 dias ou 6.105.600,00 segundos), o *takt time*, ou ritmo de projeto, é de 7,873 s/m<sup>3</sup>, conforme demonstrado a seguir:

$$\frac{6.105.600 \text{ s}}{775530 \text{ m}^3} = 7,873 \text{ s/m}^3$$

O *lead time* da terraplenagem no trecho estudado é calculado somando-se o tempo total de trabalho da Motoniveladora (útil, manobra e parado) ao tempo total de trabalho dos Rolos Compactadores. Isso acontece devido ao fato dos Tratores acoplado com Grade de Disco terem trabalhado alguns minutos a menos que as Motoniveladoras. Houve um intervalo de 32 minutos antes do início da execução da compactação que deve ser incluído no cálculo do *lead time*, porém não no cálculo T/C, pois os serviços estavam parados. Os três rolos compactadores trabalharam durante o mesmo tempo, já que executaram a compactação em sincronia.

Dessa maneira, de acordo com os tempos do Quadro 8, o *lead time* do processo foi de 217,43 minutos, com o tempo total de produção usado no cálculo T/C sendo de 185,43 minutos, ou 11.125,89 segundos.

De posse desse tempo total e do volume de terraplenagem do trecho em questão, é possível calcular o T/C da execução da terraplenagem da seguinte maneira:

$$\frac{11.125,89 \text{ s}}{1083,45 \text{ m}^3} = 10,269 \text{ s/m}^3$$

Nos Quadros 9 e 10 abaixo é possível ver de maneira resumida as informações sobre o volume, tempo de execução e o ritmo de projeto e as mesmas informações relativas à execução.

Quadro 9 – Dados para o cálculo do ritmo de produção de projeto

Volume total	775530,00 m <sup>3</sup>
Tempo total	6.105.600,00 segundos
Takt time	7,873 s/m <sup>3</sup>

Fonte: Autora (2015).

Quadro 10 – Dados para o cálculo do ritmo de produção de execução

Volume total	1083,45 m <sup>3</sup>
Tempo total	11.125,89 segundos
Takt time	10,269 s/m <sup>3</sup>

Fonte: Autora (2015).

O Quadro 11 resume os dados coletados referentes à produção da terraplenagem no intervalo de estacas supracitado.

Quadro 11 – Dados coletados referentes à produção

Informações - produção	Dados Coletados
Processos básicos da produção	Espalhamento, umidificação, homogeneização e compactação
Takt time (ritmo de projeto)	7,873 segundos/m <sup>3</sup>
Trecho estudado	Entre as estacas 440+10,00 e 449+10,00
T/C (ritmo de produção)	10,269 segundos/m <sup>3</sup>
Número de colaboradores	8 colaboradores
Quantidade de máquinas	8 máquinas
Número da camada	8ª camada (última camada)
Programação da produção	Cronograma físico-financeiro de projeto

Fonte: Autora (2015).

### **4.1.3. Fornecimento de Matéria Prima**

Uma das maiores peculiaridades da etapa de terraplenagem é a reduzida quantidade de tipos de insumos necessários à sua execução, que limita-se, basicamente, ao solo e à água.

O controle da qualidade da etapa está diretamente ligado ao controle do tipo de solo. Na etapa de projeto, as jazidas de empréstimo de solo, terrenos cujos donos aceitam a exploração do solo por parte da construtora mediante pagamento, são estudadas previamente tanto na questão econômica, visando uma menor distância média de transporte (DMT) entre a jazida e o local de execução, quanto na questão qualitativa com a realização do ensaio de frasco de areia. Idealmente, ao longo de toda a duração da obra, somente essas jazidas cujo tipo e qualidade do solo são conhecidos deveriam fornecer tal insumo, porém, não é o que ocorre.

Outras jazidas que não foram analisadas na etapa de projeto são utilizadas e as características do solo antes da execução de uma camada são indicadas somente pela experiências dos profissionais envolvidos, que informam se o solo é homogêneo, quando há somente um tipo de solo, sendo necessário menos passadas das máquinas, ou heterogêneo, quando há a mistura de solos diferentes, necessitando de mais passadas. Após a execução, a qualidade é finalmente inspecionada pela realização do ensaio de densidade *in situ* que, como já comentado, é o fator decisivo na aprovação do serviço feito.

Tudo isso é prejudicial ao fluxo dos trabalhos e controle da produção, pois todo o processo fica dependente da experiência dos profissionais, algo subjetivo e passível de erro. Além disso, dependendo da qualidade do material, o tempo de trabalho das máquinas será maior ou menor, influenciando no tempo da execução e causando uma incerteza no planejamento da duração da etapa. O correto seria utilizar apenas as jazidas estudadas em projeto. No caso do trecho estudado, entre as estacas 440+10,00 e 449+10,00, o solo foi proveniente de uma dessas jazidas de empréstimo não estudadas na etapa de projeto, identificada como jazida da estaca 518 cujo solo apresentava características de uma areia argilosa.

O transporte do solo da jazida até o local da execução da terraplenagem é realizada com o uso de caminhões basculantes. Não há planejamento ou cálculo do número de viagens que os caminhões fazem, nem quando eles devem fazer as viagens. Usualmente, no dia anterior à execução de determinada camada, os caminhões transportam o solo até o trecho em questão e o descarregam em várias pilhas, chamadas de leiras, em um procedimento denominado enleiramento.

O solo enleirado pode ficar exposto as intempéries durante dias, o que é prejudicial, já que se ele for encharcado com água da chuva, por exemplo, o tempo de mistura terá de ser maior, de maneira a secá-lo. No trecho analisado, o solo foi enleirado na manhã do dia de execução da camada e não houve ação climática que prejudicasse o seu estado.

A importância do tipo de solo está na influência que ele exerce no tempo de execução e na qualidade da camada. Um solo homogêneo e com uma umidade adequada resulta em um serviço mais rápido, já que diminui o tempo de mistura e umidificação. O Quadro 12 mostra, de forma resumida, as informações relativas ao insumo, solo, do trecho estudado.

Quadro 12 – Dados coletados referentes ao insumo

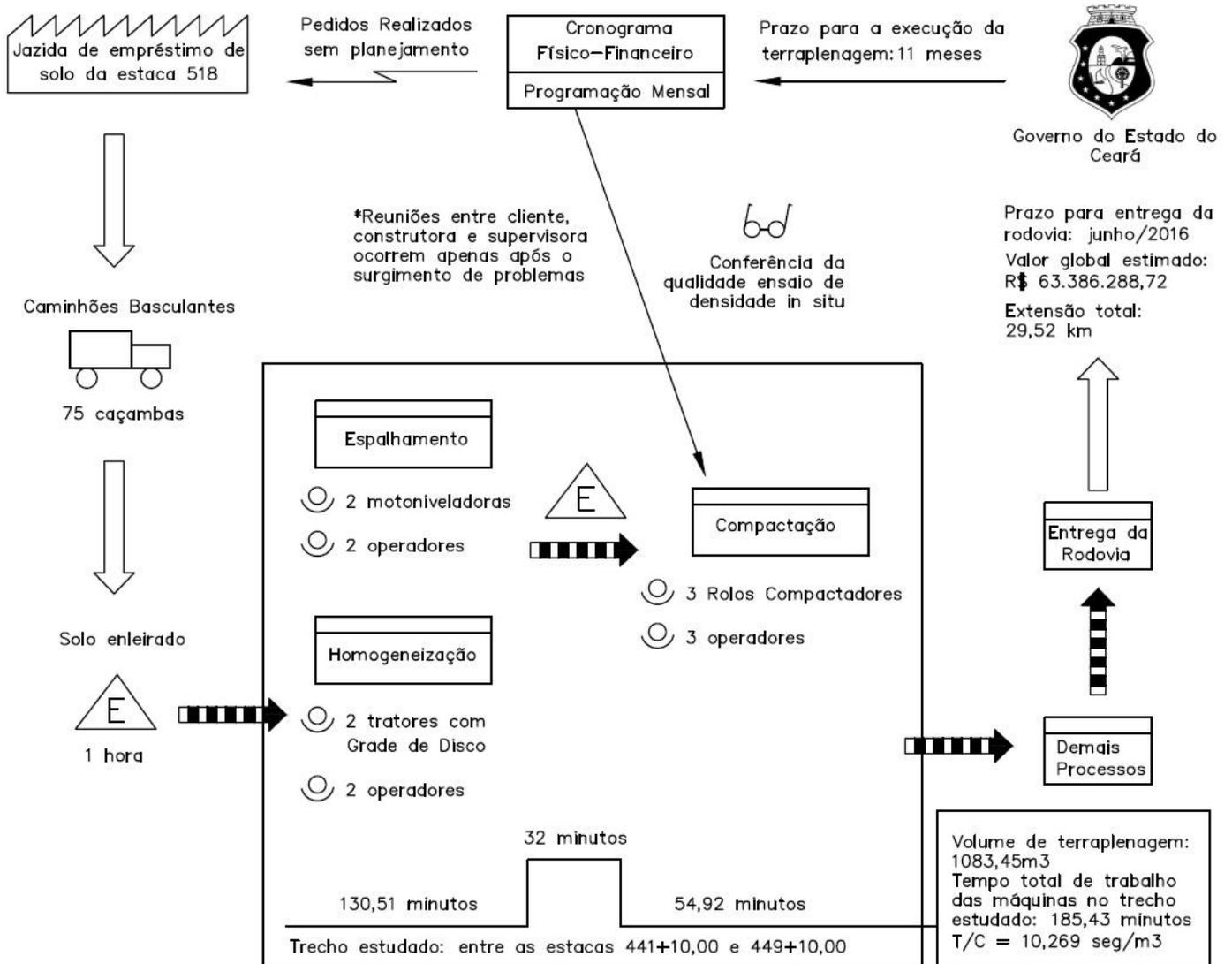
Informações - empréstimo de solos	Dados Coletados
Jazidas de empréstimo da coleta	Jazida da estaca 518
Jazida de projeto?	Não
Tipo de solo	Areia argilosa
Unidade transportadora	Caminhão Basculante
Quantidade transportada	75 caçambas de 18m <sup>3</sup> de capacidade/cada
Forma de armazenamento do solo	Leiras sem proteção a agentes externos
Tempo de estoque	1 hora

Fonte: Autora (2015).

## 4.2. Mapa do Estado Atual

A partir das informações expostas anteriormente, foi elaborado o seguinte Mapa do Estado Atual:

Figura 3 – Desenho do Mapa do Estado Atual



Fonte: Autora (2015).

Esse desenho possibilita a visualização sistêmica da cadeia de valor da produção da terraplenagem do trecho estudado (entre as estacas 440+10,00 e 449+10,00), pois relaciona o processo produtivo com os clientes e com os fornecedores, seguindo o seu fluxo de valor, conforme descrito a seguir.

A sua análise começa pelo cliente representado na parte superior à direita e segue em sentido anti-horário. Para a compreensão do MEA, é importante o conhecimento do significado dos símbolos utilizados no seu desenho, especificados no Apêndice E.

O cliente contratou a construtora para construir a rodovia em um período de tempo pré-definido em contrato. Como o período da obra é muito longo, o cliente sentiu a necessidade de contratar uma empresa supervisora que serviria como fonte de comunicação entre contratante e contratada e de controle dos serviços da obra.

A partir do prazo de execução da rodovia, estipulado em contrato, a construtora elaborou um cronograma físico-financeiro explicitando o tempo de execução de cada etapa global da obra, sendo que para a terraplenagem o programado seria de 11 meses (cerca de 212 dias úteis). Esse cronograma, no entanto, serviu apenas para dar as linhas gerais do andamento da obra, pois não era obedecido, sendo refeito mensalmente a cada medição da construtora.

Inicialmente, planejou-se a realização de reuniões mensais entre cliente, construtora e supervisora que serviriam para alinhar as decisões relativas ao andamento da obra de maneira a evitar o surgimento de problemas. Porém, essas reuniões aconteceram apenas nos primeiros dois meses e, após esse período, elas eram realizadas apenas quando os problemas já haviam acontecido, caracterizando reuniões de reparo e não preventivas.

A terraplenagem iniciou em maio de 2015 e suas atividades não eram programas a curto nem a longo prazo, a não ser pelos ajustes mensais no cronograma físico-financeiro conforme já explanado. A decisão de que trecho executar era feita diariamente, o que prejudicou até mesmo a coleta de dados da presente pesquisa, pois não existia fonte de pesquisa para saber com antecedência que trecho poderia ser analisado no dia de determinada visita. Os processos básicos da terraplenagem são o espalhamento, homogeneização, umidificação e compactação, sendo que os três primeiros processos ocorrem na maioria das vezes concomitantemente.

No trecho de estudo, o espalhamento foi executado por duas Motoniveladoras e dois operadores. Seu tempo de produção foi de 130,51 minutos. A homogeneização foi executada por dois Tratores equipados com grades de disco e dois operadores. Seu tempo de produção foi de 122,43 minutos. A umidificação, realizada pelo caminhão pipa e seu operador, tem duração irrelevante se comparada a dos outros processos. Entre esses processos e o da compactação, houve uma pausa de 32 minutos. Por fim, a compactação foi executada por três rolos compactadores e três operadores. Seu tempo de produção foi de 54,92 minutos. Portanto, o tempo total de trabalho das máquinas foi de 185,43 minutos. Porém, esse tempo não pode ser

considerado de real agregação de valor ao processo pois tempos de espera, paradas, entre outros desperdícios estão inseridos nesse tempo total.

A partir do tempo de produção total, pode-se calcular o ritmo da execução da terraplenagem do trecho. O volume total executado, segundo a topografia, foi de 1083,45 m<sup>3</sup>. Conclui-se que o ritmo foi de 7,873 seg/ m<sup>3</sup>.

### **4.3. Análise do Mapa do Estado Atual**

A análise do Mapa do Estado Atual teve como objetivo a identificação dos desperdícios e suas origens e a proposição de melhorias dos fluxos pela implantação de técnicas e conceitos da filosofia *Lean*. Todo esse estudo será aplicado aos três campos expostos no item anterior, a relação com os clientes, a produção em si e ao fornecimento de matéria prima. Por último, será apresentado o Mapa do Estado Futuro como representação das conclusões obtidas pela análise da cadeia de ações e pelas melhorias propostas.

#### **4.3.1. Clientes**

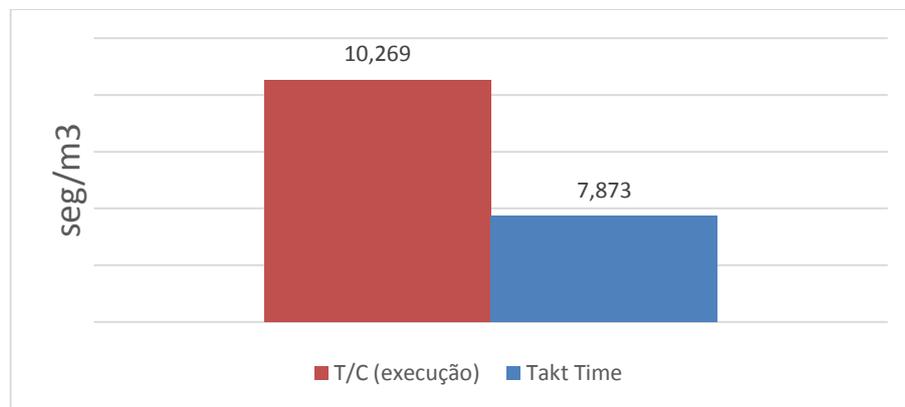
Conforme exposto no tópico de materiais e métodos e baseado nos estudos da literatura, o ritmo de demanda de produção deve ser guiado pelo desejo dos clientes. Portanto, o ritmo da produção, ou tempo de ciclo, deve buscar sempre ser semelhante ao ritmo estipulado pelo cronograma físico-financeiro, o *takt time*. O valor do T/C será calculado para a etapa da terraplenagem como um todo e não para cada fase desse processo, pois não foi especificado na fase de projeto qual deveria ser a produção de cada fase e sim da etapa completa. Porém, os tempos marcados em cada fase serão importantes para o estudo dos desperdícios e proposição de melhorias.

Conforme discutido na seção de metodologia, o *takt time*, nesse trabalho, é calculado pela divisão da metragem cúbica de terraplenagem pelo tempo em minutos disponíveis para sua execução. Considerando que havia um volume de 775.530 m<sup>3</sup> de movimentação de terra a ser realizado em um prazo de 11 meses, cerca de 212 dias úteis, segundo o cronograma físico-financeiro, ou seja, o ritmo o qual a execução da terraplenagem deve ser de 7,873 seg/m<sup>3</sup>. Esse valor representa a produtividade que cada frente de serviço deveria seguir, ou seja, a cada 7,873 segundos, deve-se realizar 1 m<sup>3</sup> de terraplenagem.

No trecho estudado, de aproximadamente 180 metros de extensão, o tempo medido para a execução foi de 185,43 minutos para um volume de movimentação de solo de 1083,45 m<sup>3</sup> resultando em um tempo de ciclo (T/C) de 10,269 seg/m<sup>3</sup>. Seguindo a lógica adotada, a cada 10,269 segundos foi movimentado 1 m<sup>3</sup> de solo.

Na Figura 4, apresenta-se o gráfico que mostra a relação da diferença entre o *takt time* e o T/C.

Figura 4 – Relação entre o T/C e o *takt time* da terraplenagem



Fonte: Autora (2015).

Segundo os dados coletados para esse pequeno trecho, a execução da terraplenagem não está seguindo o ritmo pré-estabelecido, representado pelo *takt time*, estando com uma produtividade abaixo da de projeto. Foram identificadas uma série de problemas e de ineficiências originadas tanto dentro quanto fora da obra e que influenciaram nos T/C observados no processo completo. Externamente à obra, identificou-se problemas relacionados aos clientes e ao planejamento da obra rodoviária como um todo.

No que condiz aos clientes, o principal problema identificado foi o não cumprimento por parte da construtora de alguns dos desejos do cliente. A empresa supervisora, responsável por reportar ao cliente o que acontece na obra, diversas vezes informou atos da construtora que iam contra aquilo que fora estipulado na fase de projeto, tal como a não realização do ensaio de densidade in situ para constatar a qualidade da execução de camada de aterro anterior.

Situações como essa foram evitadas em sua maioria pela presença da empresa supervisora, porém, é perigoso confiar apenas na sua presença para evitar problemas. A obra tem extensão muito grande e muitas vezes serviços distintos são executados a quilômetros de

distância, tornando inviável a presença de componentes da supervisora em todos os pontos da obra. A construtora deve seguir os desejos do cliente traduzidos pelo projeto e pelo cronograma apresentados antes do início da obra. O descumprimento das premissas de projeto torna desgastante o relacionamento entre construtora e cliente.

Para tentar melhorar essa interação entre cliente e construtora, propõe-se a realização das reuniões periódicas, que haviam sido propostas inicialmente, com representantes de todas as esferas de maneira a alinhar os desejos dos clientes e controlar melhor o que está acontecendo na obra.

Segundo o código civil, nos contratos de construções consideráveis, o empreiteiro de materiais e execução responderá, durante o prazo irredutível de cinco anos, pela solidez e segurança do trabalho, assim em razão dos materiais, como do solo. Portanto, deveria ser de interesse da mesma uma maior atenção quanto ao controle de qualidade dos serviços executados e a obediência do que fora estipulado em projeto, de maneira a não haver retrabalho no futuro, prejudicando o cliente, os usuários e a própria construtora.

#### 4.3.2. *Produção*

A análise detalhada dos dados de tempo que resultaram na relação entre o T/C do trecho estudado e do *takt time* da terraplenagem ( $10,269 \text{ seg/m}^3 \times 7,873 \text{ seg/m}^3$ ) indica que o não cumprimento do ritmo de produção estipulado para a terraplenagem ocorreu em função dos elevados tempos de manobra e parada das Motoniveladoras e dos Tratores com Grade de Disco. Nesse sentido, uma primeira melhoria a ser implementada para que o ritmo possa ser seguido, é eliminar o tempo em que as máquinas ficam paradas, tempo que é um desperdício a ser evitados. O Quadro 13 abaixo representa o que fora explanado acima.

Quadro 13 – Tempos coletados das máquinas após a eliminação do tempo de parada

	Unidades	Útil	Manobra	Total
Motoniveladora	minutos	77,617	28,115	105,732
Trator com Grade de Disco	minutos	66,433	27,583	94,017
Rolo Compactador	minutos	54,133	0,783	54,917

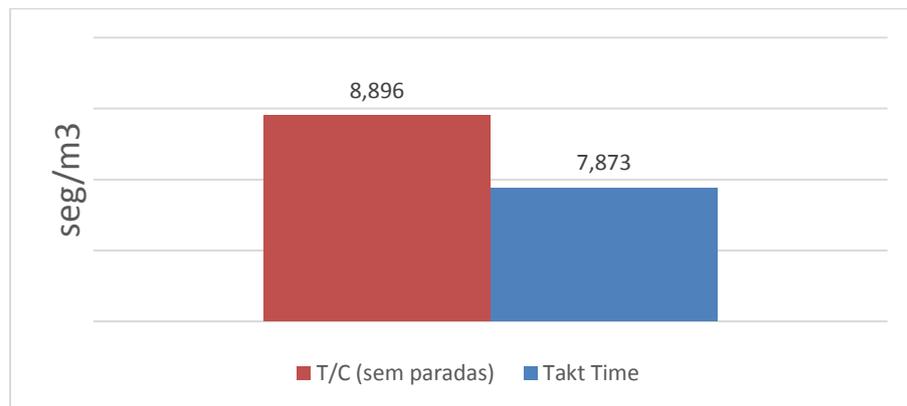
Fonte: Autora (2015).

As paradas ocorrem devido ao elevado número de máquinas em um espaço não planejado para manobras, resultando em cada máquina tendo que aguardar uma outra manobrar

para poder reiniciar a execução de seu serviço. Esse problema pode ser solucionado pela organização da ordem de manobra das máquinas após cada passada pelo trecho. Com um desenho do *layout* do espaço para manobra e uma comunicação mais eficiente entre os operadores das máquinas, esses tempos de parada podem ser eliminados.

Com esse rearranjo de tempos, o processo continuaria a ser executado com o mesmo número de máquina e operadores, movimentando o mesmo volume de solo, porém com um tempo total de produção consideravelmente menor. Verifica-se que a eliminação do tempo em que as máquinas ficam paradas reduziu o T/C de 10,269 seg/m<sup>3</sup> para 8,896 seg/m<sup>3</sup>. Aproximadamente 25 minutos de parada foram eliminados, o que representa uma redução de 11,4% no tempo total de 185,43 minutos. O Quadro 14 indica os novos dados de produção após a melhoria proposta. A Figura 12 mostra como se daria o andamento da terraplenagem no trecho estudado, caso implementadas a melhoria proposta.

Figura 5 – Relação entre o T/C após a eliminação da parada das máquinas e o *takt time*



Fonte: Autora (2015).

Quadro 14 –T/C da terraplenagem após a eliminação do tempo de parada

Volume executado	1083,45 m <sup>3</sup>
Tempo execução	9.638,89 segundos
T/C	8,896 s/m <sup>3</sup>

Fonte: Autora (2015).

Apesar desse estado futuro já representar um maior ritmo de produtividade, ele ainda está acima do *takt time* (7,873 seg/m<sup>3</sup>), portanto ainda é necessário se fazer outras melhorias. Segundo o quadro 14, o novo *lead time* da produção seria de 9.638,89 segundos ou

160,648 minutos. Inclusos nesse tempo estão os tempos de manobra do Rolo Compactador (segundo o quadro 13, menos de 1 minuto, sendo desprezível) e das Motoniveladoras, que segundo o mesmo quadro totaliza 28,115 minutos, ainda representando 17,5% do *lead time* da produção. É importante salientar que, apesar de representar um desperdício, o tempo de manobra para as Motoniveladoras e Tratores é necessário, pois essas máquinas não têm a mesma facilidade de manobra que os Rolos Compactadores, cujos operadores conseguem operar a máquina tanto na posição normal quanto de ré, praticamente eliminando o tempo de manobra.

Conforme já explicitado, o T/C deve seguir o desejo dos clientes de ritmo de produção estipulado pelo cronograma físico-financeiro, ou *takt time*, que para o trecho estudado é de 7,873 seg/m<sup>3</sup>. Não se deve deixar levar pela ideia de da produção empurrada, em que quanto mais se produzir melhor, sem se importar com estoque de produtos, máquinas e operadores ociosos dentre outros fatores considerados inevitáveis no tipo tradicional de produção. Portanto, segundo os princípios *Lean*, o T/C deve ser igual ao *takt time* e não menor como poderia se pensar.

Partindo dessa conclusão, de que o T/C deverá ser de 7,873 seg/m<sup>3</sup> e de que o volume produzido deverá continuar de 1083,45 m<sup>3</sup>, decorre que o tempo total de execução teria de ser 8529,80 segundos ou 142,163 minutos, como explicitado no quadro 15 abaixo.

Quadro 15 –T/C do processo com fluxo contínuo

Volume executado	1083,45 m <sup>3</sup>
Tempo execução	142,163 segundos
T/C (Lean)	7,873 s/m <sup>3</sup>

Fonte: Autora (2015).

Com esse novo tempo total de produção, pode-se calcular o tempo disponível para a manobra das máquinas, principalmente da Motoniveladora que é o veículo que comanda as operações. Subtraindo-se os tempos úteis de trabalho correspondentes à Motoniveladora e ao Rolo Compactador, apresentados no quadro 13, tem-se que o tempo total de manobra poderá ser de 10,41 minutos ou 624,79 segundos. Segundo o Apêndice A, as Motoniveladoras passam 46 vezes pelo trecho, portanto, dividindo-se a duração disponível para manobra pelo número de passadas, obtém-se o tempo de 13,58 segundos de manobra a cada finalização de passada

que a máquina dá. Esse número é plausível, já que segundo o mesmo Apêndice, na ida 8, a máquina conseguiu executar a manobra em 13 segundos.

O Quadro 16 apresenta os novos tempos de manobra da Motoniveladora (passa 46 vezes pelo trecho) e do Trator com Grade de Disco (passa 56 vezes pelo trecho).

Quadro 16 – Tempos, em minutos, após todas as mudanças propostas

	Unidades	Útil	Manobra	Total
Motoniveladora	minutos	77,61	10,41	88,03
Trator com Grade de Disco	minutos	66,43	12,68	79,11
Rolo Compactador	minutos	54,13	0,78	54,35

Fonte: Autora (2015).

Evidentemente, a realização de todas as manobras nesse tempo reduzido caracteriza um grande desafio aos operadores e à organização dos serviços do trecho, já que a média de manobra para as Motoniveladoras era de quase 36 segundos. Nesse sentido, é imprescindível a seleção de operadores experientes e uma melhor organização da posição e ordem de manobra das máquinas para viabilizar essa melhoria.

Os tempos de parada e os longos tempos de manobra impedem que a produção tenha fluxo ideal. Outro fator observado nessa análise, foi o fato de muitas vezes o serviço da terraplenagem ser interrompido pouco antes de seu início graças a não realização do ensaio de densidade *in situ* para constatar a qualidade da execução da camada anterior. Também percebeu-se que, muitas vezes, a falta de fluxo acontecia devido à natureza flexível de construções, no sentido de que quando haviam problemas ou imprevistos, como a falta de algum operador, a quebra de alguma máquina ou a influência de fatores climáticos, era possível alterar o que se estava fazendo, seja no serviço de terraplenagem ou qualquer outro, fato que interrompia o fluxo contínuo além de estimular a falta de planejamento, já que na mentalidade corrente, qualquer problema que aparecesse poderia ser resolvido rapidamente.

De maneira geral, há uma falta de estímulo ao planejamento das atividades e seu cumprimento por parte dos responsáveis da construtora, tornando o trabalho de controle por parte da supervisora e do cliente mais desafiador ainda. Com isso exposto, considera-se importante a construtora planejar as atividades com o objetivo de se ter fluxo ao longo das atividades sem, no entanto, perder a flexibilidade característica das construções.

Buscando eliminar ou reduzir os problemas e desperdícios identificados, é possível conseguir uma melhoria substancial na produção em tempo e qualidade, resultando em menos

custo e na redução do prazo de entrega, ambos elementos-chave para a competitividade da construtora.

#### **4.3.3. Fornecimento de Matéria Prima**

No que diz respeito aos insumos, a etapa de Terraplenagem tem vantagens que outros tipos de construção e até mesmo outras etapas da própria obra rodoviária não têm. A primeira vantagem é o reduzido número de insumos, que pode-se resumir a apenas o solo, com a água sendo considerada um insumo secundário. Outra vantagem é que a transformação do insumo já é a própria execução da camada de terraplenagem, em nenhum momento anterior ao serviço, o solo sofre qualquer alteração, ele é apenas transportado do seu local de origem, as jazidas de empréstimo de solo, até o trecho em execução, sendo armazenado em forma de leiras, como já exposto.

Portanto, não há dificuldades de relacionamentos com fornecedores, no que diz respeito ao cumprimento de prazos ou à qualidade do insumo, pois simplesmente não existe fornecedor, cabe aos caminhões basculantes da própria construtora e seus operadores fazerem esse serviço, fato que deveria otimizar os trabalhos da construtora caso a mesma tivesse um planejamento das viagens dos caminhões por exemplo.

O planejamento do transporte do solo deveria acontecer principalmente pela maneira com a qual o solo fica exposto a fatores externos quando está armazenado. No trecho estudado, ele ficou enleirado durante apenas uma hora antes da execução, não sofrendo qualquer alteração devido ao clima. Porém, foi relatado pelo engenheiro supervisor que já havia acontecido do solo ser enleirado e permanecer dessa maneira durante mais de um dia sem que o trecho fosse executado, demonstrando não só a falta de planejamento, quanto a de controle da produção.

Uma solução para essa situação seria a adoção do *Kanban* de produção, em que os cartões poderiam ser posicionados em cada trecho a ser executado, com informações do horário em que o trecho seria executado, de maneira que o solo não fique armazenado durante mais tempo que o necessário. Nos *kanbans* também poderia constar informações sobre a extensão do trecho a ser executado, número de máquinas, tipo de solo e se o ensaio de densidade in situ já fora realizado na cama anterior por exemplo. Um modelo desse tipo de *kanban* de produção está apresentado no Apêndice D.

Os principais problemas e desperdícios identificados a partir da análise do Mapa do Estado Atual, bem como as melhorias propostas com vistas a encontrar soluções para cada um desses problemas, são apresentados, de maneira resumida, no Quadro 17.

Quadro 17 – Principais problemas e desperdícios e as melhorias propostas

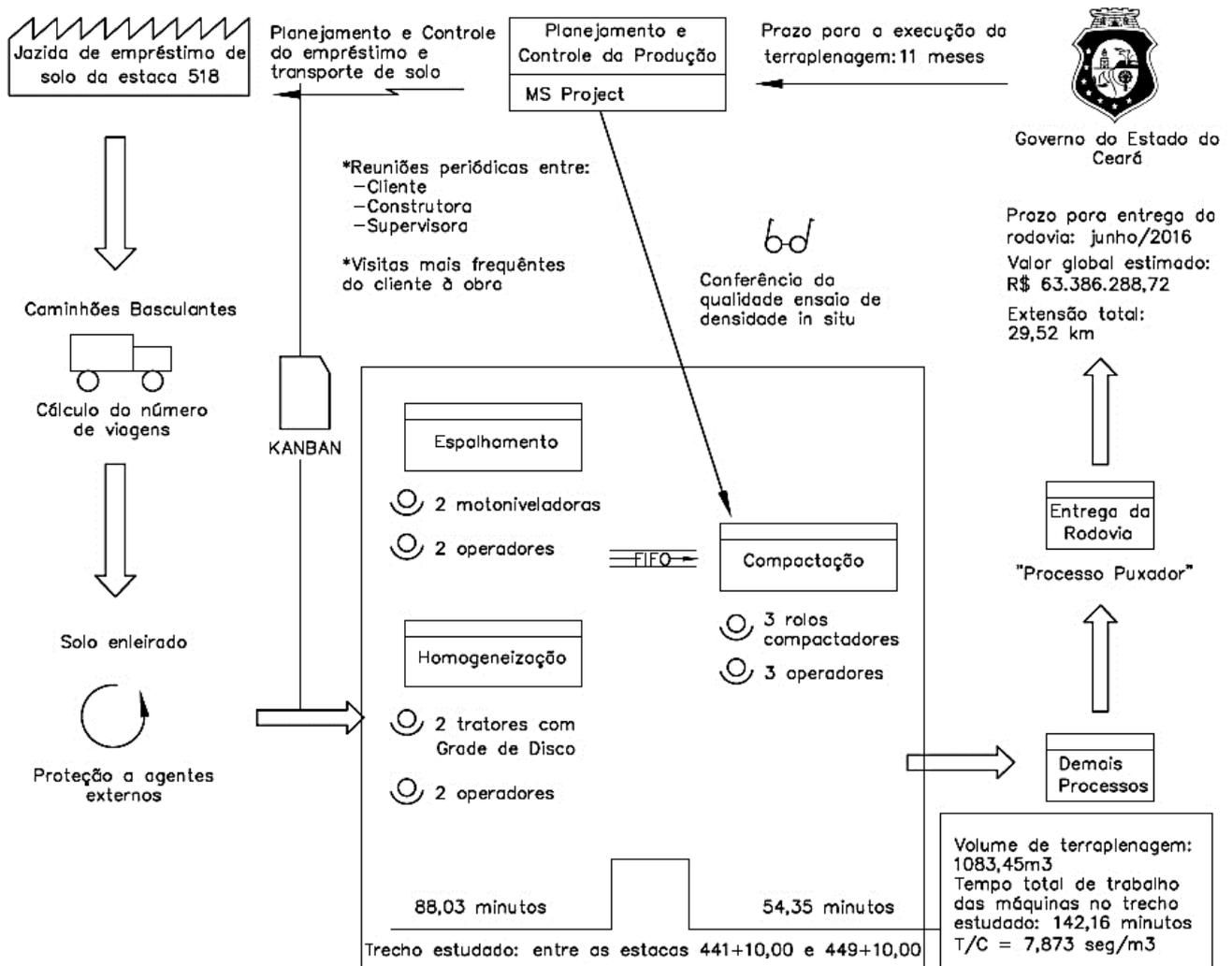
	PROBLEMAS E DESPERDÍCIOS	MELHORIAS PROPOSTAS
CLIENTES	Deficiência na relação/comunicação construtora e clientes, principalmente no cumprimento dos prazos, resultando na mudança do cronograma físico-financeiro.	Realização de reuniões mais frequentes entre Construtora, Cliente e Supervisora de maneira a evitar o surgimento de possíveis problemas e não somente reparar os já existentes
	Não cumprimento, por parte da construtora, de alguns desejos dos clientes no que diz respeito à realização do ensaio de densidade <i>in situ</i> em alguns trechos e o uso de jazidas de empréstimo de solo que não foram estudadas na fase de projeto.	A construtora deve seguir os desejos dos clientes, principalmente os estipulados em contrato. Acredita-se que visitas mais recorrentes por parte do cliente à obra possa motivar a construtora a obedecer o que fora acordado.
PRODUÇÃO	Ritmo da execução da terraplenagem (T/C) abaixo do ritmo de projeto ( <i>takt time</i> ).	Dar mais fluxo ao processo (eliminar os tempos de parada e reduzir os tempos de manobra) para tornar o T/C igual ao <i>takt time</i> .
	Pouco cumprimento do que fora planejado.	Elaborar e controlar o planejamento da produção a curto e médio prazo.
INSUMOS	Falta de planejamento do transporte do solo.	Elaborar e controlar o planejamento do transporte do insumo, de maneira a otimizar o trabalho dos caminhões basculantes e de seus operários.
	Armazenamento do solo durante longos períodos em contato com agentes externos.	Adoção de <i>kanbans</i> , que ficariam em cada trecho a ser executado, identificando as principais informações necessárias ao serviço e organizando a produção.

Fonte: Autora (2015).

#### 4.4. Mapa do Estado Futuro

A partir da análise do MEA baseada nas ideias da Filosofia *Lean*, foi identificada uma série de problemas e desperdícios, assim como foram propostas ações de melhorias, resultando no seguinte Mapa do Estado Futuro.

Figura 6 – Desenho do Mapa do Estado Futuro



Fonte: Autora (2015).

A sua análise começa pelo cliente representado na parte superior à direita e segue em sentido anti-horário. Para a compreensão do MEF, é importante o conhecimento do significado dos símbolos utilizados no seu desenho, especificados no Apêndice F.

No Estado Futuro, da mesma forma como é feito atualmente, o cliente contrata uma construtora para executar a obra rodoviária e uma empresa supervisora para controlar os serviços realizados. O que se propõe mudar é a relação entre o cliente e a construtora, buscando estreitar a comunicação entre ambos, realizando as reuniões periódicas acordadas de acontecer antes do começo da execução da rodovia, principalmente durante as etapas mais complicadas. O objetivo a partir dessa medida é minimizar o descumprimento de prazos preestabelecidos para a finalização de cada etapa da obra, além de prezar pela qualidade do produto a ser obtido.

Tanto a elaboração e atualização mensal do cronograma geral da obra, denominado cronograma físico-financeiro, quanto a presença da empresa supervisora permanecem no Estado Futuro. O que se propõe é a criação de um planejamento da produção a curto e a médio prazo mais detalhado, que não se baseie apenas nos valores globais de cada etapa para traçar os prazos, mas sim em informações mais complexas como número de máquinas e colaboradores necessários, ação climática, relacionamento com *stakeholders*, entre outros fatores. O acompanhamento com uso de ferramentas como MS Project e Excel também são indicados, por serem bastante difundidas para esse tipo de utilização.

Ainda no âmbito da necessidade de planejamento, no Estado Futuro, estará presente o planejamento do transporte do principal insumo dessa etapa, que é o solo. É necessário o cálculo do número de viagens dos caminhões basculantes devem fazer, de maneira a diminuir o número de veículos utilizados, além de implementar *kanbans* de transporte para auxiliarem os colaboradores a tomarem conhecimento das principais informações do trecho a ser executado, tal como extensão, quando a execução, número de caçambas de solo a serem transportadas da jazida de empréstimo até o local, entre outras informações. Esse tipo de *kanban* tem a função também de deixar o solo armazenado em contato com o ambiente externo somente durante o tempo necessário.

O problema do ritmo de produção da Terraplenagem abaixo do de projeto também poderá ser solucionado por esse estudo e acompanhamento mais aprofundado das etapas produtivas. Porém, é necessário ainda dar um fluxo maior (se possível contínuo) à produção, pela eliminação dos tempos de parada e redução dos tempos de manobra, considerados desperdícios. O objetivo é tornar o tempo de ciclo da produção semelhante ao takt time de projeto e não menor, de modo que a produção seja igual a planejada e não mais rápida. Essa conclusão é fundamentada pelos conceitos da filosofia *Lean*.

Essa mudança no fluxo resulta em um aumento de produtividade de todas as etapas da terraplenagem, pois tanto o T/C quanto o *takt time* ficaram iguais a 7,873 seg/m<sup>3</sup>, de maneira

que, para o trecho em execução, a maior produtividade resulta em um processo mais rápido diminuindo o *lead time* da produção de 217,43 minutos para 142,16 minutos, representando uma redução de quase 35% do tempo total de produção.

Essa redução no *lead time* da produção da terraplenagem permite até mesmo reduzir o prazo final da entrega da rodovia. Dependendo da situação, esta redução já pode ser, inclusive, estabelecida em contrato, fazendo com que a empresa se torne mais competitiva em termos de custo e prazo.

Finalmente, conforme já exposto, o MEF é a representação visual de um “estado ideal” da produção a partir de seu Estado Atual. Cabe à empresa analisar como e se esse “ideal” pode ser atingido e em que proporção. O que, entretanto, não pode ser esquecido é a noção de que sempre haverá um estado futuro, ou seja, um “ideal” melhor do que se está fazendo atualmente. Essa é a busca pela perfeição, a melhoria contínua difundida pela filosofia *Lean*.

O Quadro 18 demonstra as principais mudanças do MEF em relação ao MEA.

Quadro 18 – Principais mudanças entre MEF e MEA

No MEA	No MEF
Poucas visitas do cliente à obra	Visitas mais frequentes dos mesmos à obra
Planejamento: cronograma físico-financeiro mudado de maneira mensal	Planejamento e controle da produção (PCP), a curto e médio prazo
Reuniões entre cliente, construtora e supervisora após o surgimento de problemas	Reuniões periódicas entre as três empresas de maneira a evitar o surgimento de problemas
Ausência de planejamento do transporte de solo	Planejamento e controle do transporte de solo
Solo armazenado durante longos períodos sem proteção a agentes externos	Adoção de <i>kanbans</i> que organizem melhor a produção, de maneira ao solo ficar exposto a agentes externos durante menos tempo
Não realização dos ensaios de qualidade em alguns trechos	Controle da execução dos ensaios <i>in situ</i>
Existência de longos tempos de parada e manobra das máquinas, assim como uma pausa entre os processos.	Eliminação dos tempos de parada e redução dos tempos de manobra resultando em um T/C igual ao <i>takt time</i>
Lead-time da terraplenagem: 217,43 minutos; T/C da terraplenagem: 10,269 seg/m <sup>3</sup>	Lead-time da terraplenagem: 142,16 minutos; T/C da terraplenagem: 7,873 seg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autora (2015).

## 5 CONCLUSÕES

Diante da complexidade de obras rodoviárias, é cada vez mais necessário tentar otimizar os processos de maneira a diminuir os custos e aumentar a produtividade. Nas últimas décadas, um novo paradigma da produção denominado Produção Enxuta vem ganhando espaço nos processos produtivos de diversos tipos de construção, se opondo aos tradicionais fundamentos da produção em massa.

Esse paradigma da produção apresenta-se como capaz de reduzir os problemas desse tipo de construção, algo pouco explorado nesse âmbito. Originária na manufatura, ela considera todo o fluxo de valor, com as atividades que agregam ou não valor ao produto final, passando pela transformação da matéria-prima até o relacionamento com os clientes. A adequação dessa filosofia à realidade das construções muitas vezes se restringe à aplicação de ferramentas isoladas e pontuais, do que para uma implementação mais sistêmica, resultando em melhorias que não duram por muito tempo e desmotivando a empresa e seus colaboradores a aplicarem definitivamente essa filosofia de produção.

Diante disso, o objetivo geral deste estudo foi visualizar a cadeia de valor da etapa de terraplenagem de uma obra rodoviária de modo sistêmico. Para atingir esse objetivo, foi utilizado a ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), e por esta ferramenta ter origem em manufaturas, um dos objetivos específicos foi adaptar alguns de seus parâmetros às características da construção de rodovias.

As adequações do MFV à construção de rodovias foram necessárias em praticamente todas as suas etapas tais como na seleção de uma família de produtos, no desenho do MEA, na análise do MEA e no desenho do MEF. Considerou-se o canteiro de obras como sendo o chão de fábrica das manufaturas e, ao invés de selecionar uma família de produtos para ser mapeada, escolheu-se uma etapa da obra. Dessa forma, a pesquisa foi realizada na etapa de terraplenagem de uma construtora especializada em obras de infraestrutura do Estado do Ceará.

Para o desenho do MEA, as principais adaptações foram relativas ao período de coleta de dados e à dificuldade em obter uma média do processo produtivo. Em função do caráter definitivo de construções, no sentido de que é impossível voltar atrás de algo que já fora feito e da alta variabilidade de parâmetros dentro dos processos, optou-se pela coleta acontecer em apenas um trecho onde fosse executado uma camada de terraplenagem de maneira a possibilitar o desenho do MEA. Já a análise do MEA foi baseada nas premissas da Filosofia *Lean* e busca identificar os principais problemas e desperdícios do processo produtivo para,

depois, propor melhorias. As adequações feitas consistiram na interpretação dessas premissas de acordo com a realidade desse tipo de construção. Finalmente, o desenho do MEF mostrou como as melhorias que foram propostas poderiam otimizar a terraplenagem, reduzindo ou eliminando os desperdícios e, conseqüentemente, os custos, aumentando a fluidez dos processos e agregando mais valor ao produto final.

Pelo caráter de acompanhamento de vários aspectos da obra, pode-se inferir que a aplicação da ferramenta MFV tem uma função de planejamento para obras futuras. Porém, isso não impede que os problemas não sejam atacados na medida em que sejam identificados e as melhorias propostas implementadas já na obra em estudo.

O MFV da etapa de terraplenagem possibilitou identificar uma série de problemas e desperdícios do processo, da seguinte maneira:

- a) deficiência na relação/comunicação entre construtora e cliente, principalmente no cumprimento de prazos;
- b) deficiência na execução dos ensaios de controle da qualidade da execução da etapa, principalmente no ensaio de densidade *in situ*;
- c) ritmo de produção da terraplenagem inferior àquele estabelecido em contrato;
- d) baixo nível de planejamento da produção a curto e médio prazo;
- e) inexistência de planejamento e controle do transporte do solo até o local da execução;
- f) armazenamento inadequado do insumo solo durante longos períodos.

Mais do que identificar os problemas e desperdícios do processo, o MFV também buscou achar suas origens, possibilitando a proposição de melhorias. Essas melhorias foram as seguintes:

- a) fazer reuniões periódicas entre o cliente, a construtora e a empresa supervisora, de maneira a antecipar os problemas;
- b) estreitar a relação entre o cliente e a construtora, através de visitas mais frequentes de representantes do cliente, Governo do Estado do Ceará, ao canteiro de obras;
- c) buscar o fluxo contínuo nos processos e aproximar o ritmo de produção ao ritmo imposto pelos clientes na fase de projeto. A elaboração do planejamento da produção, além da eliminação dos tempos de parada e redução dos tempos de manobra contribuem para esse fluxo contínuo;

- d) elaborar um planejamento dos transportes do solo, além de calcular o número de viagens dos caminhões basculantes;
- e) adotar um *kanban* de transporte que contém todas as informações mais relevantes do trecho a ser executado, contribuindo para o solo ficar enleirado durante menos tempo e para um maior conhecimento, por parte dos colaboradores, do processo produtivo do qual eles fazem parte;

Conclui-se que, a partir da aplicação do MFV, foi possível visualizar de forma sistêmica uma etapa do processo produtivo da construção de rodovias. Esse mapeamento leva em consideração as atividades produtivas, os clientes e os insumos, seguindo o fluxo de valor. Nesse sentido, mais do que apenas visualizar o que acontece na obra, existe a possibilidade de identificar o motivo dos problemas e desperdícios. Desse modo, as melhorias propostas visam solucionar o problema definitivamente e não apenas de maneira provisória.

Entre os resultados que são de aplicação possível estão a adoção do fluxo contínuo, a redução do tempo de estoque do solo, eliminação dos tempos de parada, redução dos tempos de manobra, maior planejamento da produção, etc., possibilitando a redução do *lead time* da produção da terraplenagem no trecho estudado, de maneira a até mesmo executá-la em um prazo ainda menor do que o programado. Como o tempo da construção da rodovia depende de cada etapa de execução, percebe-se ser possível reduzir o tempo de construção estipulado em contrato, reduzindo os custos globais, aumentando a qualidade e velocidade, e ganhando competitividade no mercado consumidor.

A visualização sistêmica da construção pode ser o ponto de partida para a implementação da Filosofia Lean em construções rodoviárias, ao longo de seu fluxo de valor. Nesse estudo, ela foi utilizada para introduzir esse paradigma nesse novo âmbito, porém, a real aplicação de suas ferramentas que não seja o MFV ainda consiste em um desafio a ser explorado futuramente.

Entre as dificuldades presentes da realização desse trabalho estão principalmente a adaptação das variáveis da ferramenta MFV no âmbito pouco explorado nesse sentido que são as obras rodoviárias e também a fase de coleta de dados. Mesmo a autora desse trabalho estagiando na empresa que supervisiona a obra em estudo, houve dificuldade em visitar a obra nos dias em que haveria a execução da terraplenagem, justamente pela falta de planejamento da produção. Houve também bastante dificuldade em determinar quais dados deveriam ser coletados e em que quantidade, principalmente em função da variabilidade da execução da

terraplenagem de trecho para trecho (tipo de solo, extensão, número de máquinas, etc) e da falta de estudos semelhantes nesse âmbito de obras rodoviárias.

É importante salientar que as conclusões desse estudo têm limitações notáveis, pois trata-se é fruto de um estudo de caso, com a aplicação do MFV em somente uma etapa da construção em apenas um pequeno trecho da construção de uma construtora específica.

A efetiva implementação da Filosofia *Lean* depende diretamente da mudança na mentalidade de todos os envolvidos na construção, indo dos operadores das máquinas, passando pelo engenheiro da obra e chegando no dono da construtora. Depende também da organização das atividades da produção com o objetivo de obter o fluxo contínuo baseado em um planejamento e controle mais efetivos dos processos.

Nesse sentido, tem-se como proposta de estudos futuros:

- a) a aplicação do MFV em outras etapas da construção, em outras obras rodoviárias e em outras construtoras a fim de comparar as adaptações aos parâmetros da ferramenta feitas nesse estudo;
- b) a implementação das melhorias aqui propostas de maneira a dar continuidade à introdução da Filosofia *Lean* em obras rodoviárias realizada nesse estudo;
- c) a introdução da filosofia *Lean* em outros tipos de processos produtivos diferentes de manufaturas, construção civil e obras rodoviárias de maneira a expandir ainda mais o uso desse paradigma da produção.

## REFERÊNCIAS

ALARCON, L; SEGUEL, L. **Developing Incentive Strategies for Implementation of Lean Construction.** In: X CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, Gramado, 2002. Disponível em: < [www.iglc.net/Papers/Details/167/pdf](http://www.iglc.net/Papers/Details/167/pdf) >. Acessado em: 25 de abril de 2015.

ANSELL, M; HOLMES, M; EVANS, R; PASQUIRE, C; PRICE, A. **Lean Construction Trial on a Highways Maintenance Project.** In: X CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, Gramado, 2002. Disponível em: < [iglc.net/Papers/Details/463/pdf](http://www.iglc.net/Papers/Details/463/pdf) >. Acessado em: 25 de abril de 2015.

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS (ABPM). **Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio.** 1ª edição, 2013.

BALLARD, G; YONG-WOO, K; JIN-WOO, J; LIU, M. **Roadmap for Lean Implementation at the Project Level.** Research Report n. 234-11, Construction Industry Institute, Dept. of Civil Engineering, University of Texas at Austin, TX, 2007.

CANTÍDIO, S. **Mapeamento do Fluxo de Valor: Um estudo de caso em uma empresa de embalagens.** Trabalho Técnico. São Paulo, 2009. Disponível em: < <http://www.leansixsigma.com.br/acervo/13121613.PDF>>. Acessado em: 25 de abril de 2015.

DENNIS, P. **Produção lean simplificada.** Tradução Rosália Neumann Garcia. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DNER. **Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ” com emprego do frasco de areia.** DNER – ME 092/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994.

DNER. **Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”.** DNER – ME 052/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994.

DNIT. **Terraplenagem – Cortes: Especificações de Serviço.** Revisão da Norma DNER – ES 280/97. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2009.

KIVISTÖ, G.; OHLSSON, H. **Expanding Lean into Transportation Infrastructure.** Master of Science Thesis, Dept. of Technology Management and Economics, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to the Construction Industry.** Technical Report n. 72, Center for Integrated Facilities Engineering, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, CA, 1992.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** Dissertation for the Doctor of Technology, Dept. of Civil Engineering, Helsinki University of Technology, Finland, 2000.

LIMA, R. X.; NOBRE, E. F.; PRATA, B. A.; WEISSMANN, J. **Distribution of Materials in Road Earthmoving and Paving: Mathematical Programming Approach**. Journal of Construction Engineering and Management (ASCE), 2013.

LOZANO, M. **Aterro de Alta Performance – AP2 – Obras de Pavimentação**. Artigo apresentado no XII GEOTEC, Jundiaí, 2014.

MITOSO, F. D. S. **Construção enxuta Aplicada em Obras de Terraplenagem**. (Graduação). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PEREIRA, A. **Equipamentos de Terraplenagem: características e emprego**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico LTDA, 1961.

RICARDO, H. D. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: terraplenagem e escavação de rocha**. São Paulo: Pini, 2007.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. Lean Institute Brasil, 1998.

SARMENTO, L. **Uso de Ferramentas de Simulação para Verificação dos Benefícios da Filosofia Lean Construction em Obras de Terraplenagem e Pavimentação**. (Graduação). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 2008.

WODALSKI, M. J.; THOMPSON, B. P.; WHITED, G.; HANNA, A. S. **Applying Lean Techniques in the Delivery of Transportation Infrastructure Construction Projects**. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin – Madison, Madison, 2011.

WOLBERS, M; EVANS, R; HOLMES, M; PASQUIRE, C; PRICE, A. **Construction Management and Lean Thinking in Highways Maintenance**. In: Khosrowshahi, F (Ed), 21<sup>st</sup> Annual ARCOM Conference, 7-9 September 2005, SOAS, University of London. Association of Researchers in Construction Management, Vol. 2, 1123-32.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation**. New York: Free Press, 2003.

## APÊNDICE A – TEMPOS COLETADOS DA MOTONIVELADORA

Motoniveladora			
Tempos coletados em segundos			
Passadas	Execução	Manobra	Parado
Ida 1	79	24	24
Volta 1	90	35	34
Ida 2	89	36	26
Volta 2	110	49	31
Ida 3	121	35	22
Volta 3	107	35	40
Ida 4	98	35	47
Volta 4	111	44	36
Ida 5	109	34	39
Volta 5	114	29	25
Ida 6	103	52	21
Volta 6	104	35	41
Ida 7	104	28	22
Volta 7	83	27	38
Ida 8	72	13	43
Volta 8	76	34	35
Ida 9	81	23	43
Volta 9	115	36	36
Ida 10	118	35	16
Volta 10	115	23	20
Ida 11	102	38	44
Volta 11	120	41	31
Ida 12	111	51	22
Volta 12	93	29	38
Ida 13	88	44	46
Volta 13	94	37	39
Ida 14	113	46	24
Volta 14	107	27	34
Ida 15	115	44	26
Volta 15	103	36	21
Ida 16	96	29	41
Volta 16	94	46	22
Ida 17	111	29	47
Volta 17	107	38	36
Ida 18	110	47	39
Volta 18	103	41	25
Ida 19	125	39	33

Volta 19	108	34	25
Ida 20	97	21	27
Volta 20	94	28	30
Ida 21	76	34	36
Volta 21	87	39	41
Ida 22	104	47	37
Volta 22	96	44	24
Ida 23	111	51	22
Volta 23	93	29	38

**APÊNDICE B – TEMPOS COLETADOS DO TRATOR COM GRADE DE DISCO**

Trator com Grade de Disco			
Tempos coletados em segundos			
Passadas	Execução	Manobra	Parado
Ida 1	74	33	29
Volta 1	71	52	19
Ida 2	74	55	23
Volta 2	80	12	55
Ida 3	52	33	66
Volta 3	76	11	45
Ida 4	105	46	26
Volta 4	92	37	16
Ida 5	84	24	15
Volta 5	73	27	19
Ida 6	60	51	13
Volta 6	73	25	39
Ida 7	74	18	24
Volta 7	69	18	34
Ida 8	62	25	26
Volta 8	95	26	37
Ida 9	83	18	28
Volta 9	65	21	34
Ida 10	80	12	48
Volta 10	59	14	19
Ida 11	61	18	25
Volta 11	58	18	30
Ida 12	55	36	21
Volta 12	63	29	36
Ida 13	78	39	40
Volta 13	49	45	24
Ida 14	92	28	28
Volta 14	89	29	34
Ida 15	66	30	18
Volta 15	94	28	30
Ida 16	76	34	26
Volta 16	87	39	41
Ida 17	64	28	24
Volta 17	79	36	27
Ida 18	52	29	45
Volta 18	77	35	24
Ida 19	84	28	34

Volta 19	69	34	26
Ida 20	60	51	32
Volta 20	59	25	39
Ida 21	76	28	24
Volta 21	81	33	43
Ida 22	63	26	39
Volta 22	72	37	27
Ida 23	69	25	36
Volta 23	78	36	34
Ida 24	87	39	41
Volta 24	64	28	24
Ida 25	63	29	36
Volta 25	78	39	40
Ida 26	59	45	24
Volta 26	59	14	19
Ida 27	61	18	25
Volta 27	58	18	30
Ida 28	55	23	27
Volta 28	50	20	17

### APÊNDICE C – TEMPOS COLETADOS DO ROLO COMPACTADOR

Rolo Compactador			
Tempos coletados em segundos			
Passadas	Execução	Manobra	Parado
Ida 1	114	21	
Volta 1	129	26	
Ida 2	123		
Volta 2	134		
Ida 3	142		
Volta 3	140		
Ida 4	151		
Volta 4	148		
Ida 5	141		
Volta 5	139		
Ida 6	137		
Volta 6	144		
Ida 7	140		
Volta 7	154		
Ida 8	135		
Volta 8	137		
Ida 9	142		
Volta 9	138		
Ida 10	132		
Volta 10	130		
Ida 11	143		
Volta 11	129		
Ida 12	116		
Volta 12	110		

## APÊNDICE D – KANBAN DE PRODUÇÃO

KANBAN		
TRECHO		
CAMADA		
NÚMERO DA CAMADA		
ESPESSURA DA CAMADA		
VOLUME ESTIMADO DE SOLO		
HORÁRIO DO INÍCIO DO TRANSPORTE DE SOLO		
NÚMERO DE VIAGENS (CAMINHÕES BASCULANTES)		
JAZIDA DE EMPRÉSTIMO		
TIPO DE SOLO		
HORÁRIO DO FIM DO TRANSPORTE DE SOLO		
HORÁRIO DO INÍCIO DA EXECUÇÃO		
<b>NÚMERO DE MÁQUINAS TRABALHANDO NO TRECHO:</b>		
Motoniveladoras	Tratores com Grade de Disco	Rolos Compactadores
Caminhão Basculantes	Recicladoras	Outras
<b>OPERADORES TRABALHANDO NO TRECHO:</b>		
Motoniveladoras	Tratores com Grade de Disco	Rolos Compactadores
Caminhão Basculantes	Recicladoras	Outras
HORÁRIO DO FIM DA EXECUÇÃO		
RESULTADO DOS ENSAIOS DE QUALIDADE		

Fonte: Autora (2015).

**APÊNDICE E – ÍCONES PADRONIZADOS PARA MFV – ESTADO ATUAL**

	<b>Fluxo físico de Informações</b>
	<b>Fluxo eletrônico de Informações</b>
	<b>Fornecedores de matéria-prima</b>
	<b>Fluxo "empurrado" de Produção</b>
	<b>Atividade produtiva</b>
	<b>Informações-chave</b>
	<b>Existência de estoque ou tempo de espera</b>

---

**APÊNDICE F – ÍCONES PADRONIZADOS PARA MFV – ESTADO FUTURO****Retirada****Kanban de Produção****Fluxo "Puxado" sequencial**