

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do**  
**Ambiente Construído**

**Maísa de Moraes Corrêa Alves**

**Análise de Produtividade na Construção Civil -**  
**Estudo de Caso da Atividade de Alçamento de**  
**Barragem por meio do Método “Measured Miles”**

**Belo Horizonte,**  
**2019**

**MAÍSA DE MORAES CORRÊA ALVES**

**Análise de Produtividade na Construção Civil -  
Estudo de Caso da Atividade de Alçamento de  
Barragem por meio do Método “Measured Miles”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador(a): Marys Lene Braga Almeida**

**Belo Horizonte,  
2019**

A474a

Alves, Maísa de Moraes Corrêa.

Análise de produtividade na construção civil - estudo de caso da atividade de alteamento de barragem por meio do método "Measured Miles" [recurso eletrônico] / Maísa de Moraes Corrêa Alves. – 2019. 1 recurso online (32 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Marys Lene Braga Almeida.

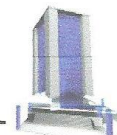
“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 31-32

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader..

1. Construção civil. 2. Barragem. 3. Produtividade. I. Almeida, Marys Lene Braga. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: MAISA DE MORAES CORREA ALVES

MATRÍCULA: 2017717821

### RESULTADO

Aos 14 dias do mês de agosto de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL – ESTUDO DE CASO DA ATIVIDADE DE ALTEAMENTO DE BARRAGEM POR MEIO DO MÉTODO *MEASURED MILES*”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 9,5

CONCEITO: A

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr.ª Marys Lene Braga Almeida

Assinatura

Nome

Prof. Dr.ª Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRuíDO"

Belo Horizonte, 14 de agosto de 2019

Coordenador do Curso  
Prof. Antonio Neves  
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

## RESUMO

O atraso na execução de obras civis de engenharia e construção tem ocorrido com frequência no Brasil. Esse atraso pode ser de responsabilidade tanto da contratada, quanto da contratante, sendo causado por vários fatores, os quais, em sua maioria, refletem na produtividade da obra. A qualificação e a quantificação da produtividade na construção civil podem ser realizadas por meio de vários métodos, dentre eles, o mais usual é conhecido como "Measured Miles" (produtividade natural). Esse método consiste na comparação entre um período claramente impactado e outro sem impacto, ambos com realização de trabalhos semelhantes. O objetivo do trabalho foi analisar a produtividade na atividade de alteamento de barragem, por meio do método "Measured Miles". Após os últimos acontecimentos envolvendo barreiras artificiais, nota-se que a construção civil está pouco habituada às medições, se tornando deficiente de dados que possam fornecer aos gerentes as informações relacionadas ao desempenho atual das barragens. Dessa maneira, o controle da produtividade se insere nessa vertente da construção civil não apenas como um medidor de desempenho de mão de obra, mas também como um fator benéfico ao aperfeiçoamento dos processos de execução de barreiras artificiais. Com o intuito de alcançar o objetivo, fez-se necessário identificar os métodos construtivos de uma barragem, estudar os períodos de possíveis perdas de produtividade da obra por meio de levantamento de registros e, por fim, comparar os registros encontrados e a produtividade calculada para cada período. Ao fim da análise observou-se que houve um impacto no alteamento da barragem devido à redução da praça de trabalho, uma vez que ocorreu atraso na atividade de injeção. Além disso, após o nivelamento das cotas, identificou-se um aumento de 61% na produtividade dos recursos utilizados na execução do aterro compactado da estrutura construída pelo método à jusante.

**Palavras-chave:** Construção civil. Perda de produtividade. Measured Miles. Barragem.

## LISTAS

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Método da linha de montante .....	9
<b>Figura 2</b> – Método de alteamento à jusante .....	9
<b>Figura 3</b> – Método linha de centro .....	12
<b>Figura 4</b> – Abrangência da produtividade na construção civil .....	14
<b>Figura 5</b> – Tratamento da fundação .....	21
<b>Figura 6</b> – Planta dos furos de injeção .....	22
<b>Figura 7</b> – Núcleo laterítico .....	25
<b>Figura 8</b> – Média de produtividade dos períodos.....	30

### LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Execução dos furos de injeção .....	21
<b>Tabela 2</b> – Quantidade de laterita aplicada diariamente .....	26
<b>Tabela 3</b> – Dados utilização rolo compactador .....	27
<b>Tabela 4</b> – Quantidade semanal de laterita .....	28
<b>Tabela 5</b> – Produtividade do rolo compactador.....	29

## SUMÁRIO

<b>Introdução .....</b>	<b>08</b>
<b>Capítulo 1: Conceito e metodologia executiva de barragens .....</b>	<b>10</b>
1.1 Conceito de barragem de resíduos	10
1.2 Métodos de alteamento de barragem	11
<b>Capítulo 2: Produtividade de recursos na construção civil .....</b>	<b>13</b>
2.1 Conceito de produtividade	13
2.2 Métodos de estimativa de perda de produtividade	15
2.3 <i>Measured Miles</i>	15
<b>Capítulo 3: Etapas construtivas e aplicação do <i>Measured Miles</i> .....</b>	<b>19</b>
3.1. Relato da pesquisa	19
3.2 Metodologia de obtenção dos dados	23
3.3 Resultados e discussão	24
<b>Considerações finais .....</b>	<b>30</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>31</b>

## INTRODUÇÃO

O atraso na execução de obras civis de engenharia e construção tem ocorrido com frequência no Brasil. Esse atraso pode ser de responsabilidade tanto da contratada, quanto da contratante, sendo causado por vários fatores, os quais, em sua maioria, refletem na produtividade da obra.

Segundo Humphreys (1991), citado por Mc. Donald & Zack (2014), “produtividade refere-se às quantidades produzidas por hora de esforço do trabalhado”. O controle da produtividade de um projeto auxilia na gestão eficiente do contrato, na correção em tempo hábil do problema identificado e na recuperação das perdas decorrentes de causas externas. A ausência desse controle impossibilita ações de melhoria da produtividade na execução da obra e o fornecimento de informações necessárias ao processo de tomada de decisão dos gestores.

A qualificação e a quantificação da produtividade na construção civil podem ser realizadas por meio de vários métodos. De acordo com Schwartzkopf (2008), “o método mais amplamente aceito para o cálculo de perda de produtividade da mão de obra é conhecido em toda a indústria como cálculo “Measured Miles” (produtividade natural)”. Esse método consiste na comparação entre um período claramente impactado e outro sem impacto, ambos com realização de trabalhos semelhantes.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar a produtividade na atividade de alteamento da barragem, por meio do método “Measured Miles”. Após os últimos acontecimentos envolvendo barreiras artificiais, nota-se que a construção civil está pouco habituada às medições, se tornando carente de dados que possam fornecer aos gerentes as informações relacionadas ao desempenho atual das barragens. Dessa maneira, o controle da produtividade se insere nessa vertente da construção civil não apenas como um medidor de desempenho de mão de obra, mas também como um fator benéfico ao aperfeiçoamento dos processos de execução de barreiras artificiais.

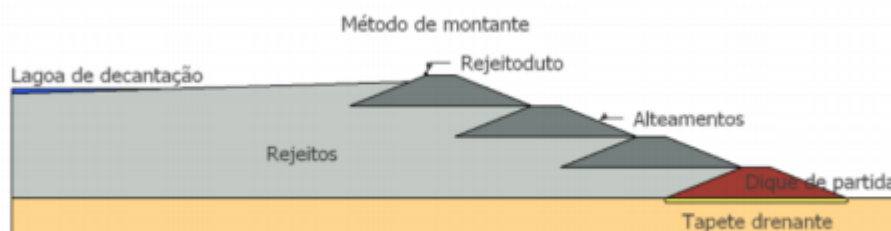
Com o intuito de alcançar o objetivo, fez-se necessário identificar os métodos construtivos de uma barragem, estudar os períodos de possíveis perdas de produtividade da obra por meio de levantamento de registros e, por fim, comparar os registros encontrados e a produtividade calculada para cada período. Espera-se



encontrar uma perda de produtividade nos intervalos nos quais foram verificados eventos geradores de degradação de produtividade. Entretanto, sabe-se que em alguns empreendimentos de construção civil os registros não são realizados de forma adequada, faltando o apontamento de fatores importantes que ocorrem diariamente nas obras, o que dificulta a obtenção de dados e, conseqüentemente, a análise de produtividade pelo método “Measured Miles”.

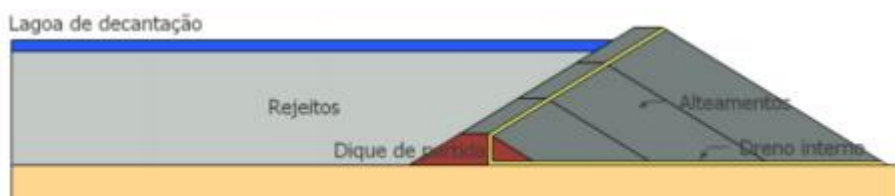
Para um melhor entendimento do trabalho em questão, esse foi dividido em fundamentos teóricos, no qual serão apresentadas referências relacionadas ao processo construtivo de barragens e identificação e verificação de perda de produtividade na construção civil. Posteriormente, haverá apresentação do empreendimento em estudo, seguido da análise dos documentos de obra, o cálculo de perda de produtividade pelo método “measured miles” e, por fim, as considerações finais acerca do que foi constatado.

**Figura 1** - Método da linha de montante



**Fonte:** Valerius (2014).

**Figura 2** - Método de alteamento à jusante



**Fonte:** Valerius (2014).

# CAPÍTULO 1

## CONCEITO E METODOLOGIA EXECUTIVA DE BARRAGENS

Com o intuito de facilitar o entendimento do objeto de estudo deste trabalho, que caracteriza-se pelo alteamento de barragens, no capítulo 1 serão apresentados o conceito de barragem, além das três metodologias construtivos de barreamentos artificiais de refeito.

### ***1.1 Conceito de barragem de resíduos***

Inicialmente, faz-se importante conceituar as barragens de mineração que caracteriza-se por:

barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração ou descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas (NBR13028, 2017).

Mais especificamente, barragem de rejeito pode ser definida como:

uma estrutura de terra construída para armazenar resíduos de mineração, os quais são definidos como a fração estéril produzida pelo beneficiamento de minérios, em processo mecânico e/ou químico que divide o mineral bruto em concentrado e rejeito. O rejeito é um material que não possui maior valor econômico, mas para salvaguardas ambientais deve ser devidamente armazenado (RAFAEL, 2012).

Dessa forma, Duarte (2008) aponta que essas estruturas são executadas em estágios, na medida em que os rejeitos são gerados.

Existem no Brasil diversos tipos de barreamentos, os quais se diferem pelo material utilizado para construção e por sua finalidade. As barragens de rejeito se diferem das barragens convencionais pelo fato de que estas são construídas em concreto, terra e/ou enrocamento, cujas finalidades do reservatório podem ser quaisquer, exceto contenção de rejeitos (Duarte, 2008).

No próximo item 1.2, serão relatados os métodos de alteamento de barragens de contenção para melhor entendimento do objeto em estudo.

## **1.2 Métodos de alteamento de barragens**

De acordo com Cardozo, Pimenta e Zingano (2016), existem três metodologias construtivas para barragens de rejeito: (i) método da jusante, (ii) método da montante e (iii) método da linha de centro.

O método da montante é, conforme Araújo (2006), a técnica mais antiga, simples e econômica na construção de barragens. Inicialmente, é construído um dique de partida e, após concluída essa etapa, o rejeito é lançado em direção a montante da linha de simetria do dique, formando assim a praia de deposição. Na Figura 1 ilustra-se esquema simplificado de uma barragem à montante.

Ainda segundo Araújo (2006), esse método apresenta um baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. Além disso, ainda há dificuldade na implantação de um eficiente sistema interno de drenagem para controlar o nível d'água dentro da barragem, comprometendo a estabilidade da estrutura (Duarte, 2008).

Duarte (2008) aponta que o método da jusante também se inicia com a construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado, em que os alteamentos subsequentes são realizados para jusante do dique supracitado. Esse dique de partida deve ser composto por drenagem interna, compreendendo filtro vertical e tapete drenante (Soares, 2010).

A principal vantagem do método de alteamento para jusante refere-se à falta de restrições, relacionadas às análises de estabilidade, da execução dos alteamentos até a altura final do barramento, uma vez que cada alteamento é estruturalmente independente da disposição dos rejeitos a montante. Portanto, esse método possui maior segurança, menor probabilidade de entubamento e de rupturas horizontais (Vick, 1990).

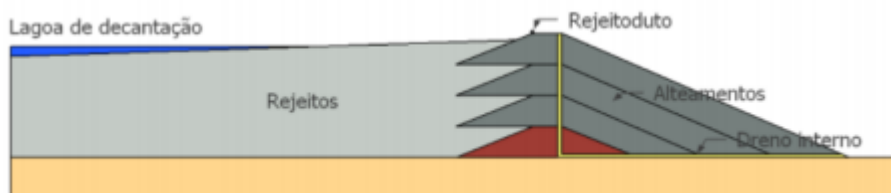
Entretanto, barragens alteadas pelo método de jusante demandam maiores volumes de material para construção, apresentando maiores custos associados ao processo de empréstimo desse material. Ressalta-se também que a área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos é muito maior, quando comparado ao alteamento pelo método de montante.

Na Figura 2 ilustra-se o esquema de barreamento pelo método de jusante.

Por fim, o método de alteamento por linha de centro é uma alternativa intermediária entre os métodos supracitados. A estrutura é iniciada pela construção de um dique de partida, o qual possui seu eixo coincidente com o eixo vertical dos alteamentos, uma vez que o alteamento da crista é feito de forma vertical (Assis; Espósito, 1995).

Segundo Thomé e Passini (2018), esse método abrange a segurança do método para jusante com o custo e velocidade do alteamento para montante. Na Figura 3 ilustra-se o barreamento pelo método de linha de centro.

**Figura 3** - Método Linha de centro



**Fonte:** Valerius (2014).

De acordo com Araújo (2006), os pontos que devem ser considerados para a escolha do método de alteamento a ser empregado são os seguintes:

- Tipo de processo industrial;
- Características geotécnicas;
- Nível de produção de rejeitos;
- Necessidade de reservar água;
- Necessidade de controlar água percolada;
- Topografia, hidrologia;
- Custos envolvidos.

Após a apresentação dos conceitos relacionados ao alteamento de barragem de rejeitos, será abordado no capítulo 2 os métodos para análise de perda de produtividade.

## CAPÍTULO 2

### PRODUTIVIDADE DE RECURSOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

No capítulo 2 serão abordados temas relacionados à produtividade, como sua definição, motivos pelos quais uma atividade pode ter sua produtividade prejudicada e os métodos de estimativa de perda de produtividade, dentre os quais se apresenta o *Measured Miles*.

#### **2.1 Conceito de produtividade**

Conforme exposto por Singh *et al.* (2000), apud King (2007):

o conceito produtividade foi introduzido e desenvolvido nas organizações com o intuito de avaliar e melhorar o desempenho delas. Inicialmente, a produtividade era calculada pela razão entre o resultado da produção e o número de empregados. Por um longo período, esta fórmula representou a produtividade da organização. Com ela almejava-se o aumento da produção por empregado utilizado. Outras formas de medir a produtividade surgiram ao longo do tempo, relacionando o resultado da produção com a utilização de outros recursos como, por exemplo, energia, matéria-prima, insumos, entre outros.

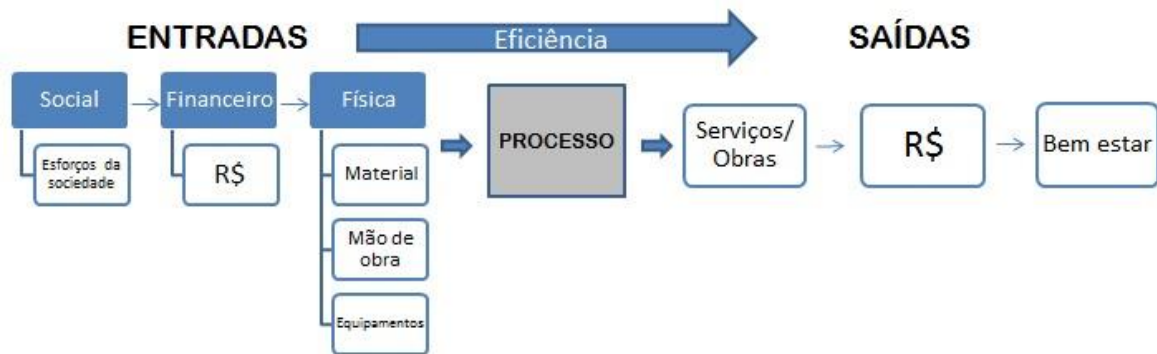
Souza (1998) defende produtividade como a eficiência em se transformar entradas em saídas num processo produtivo. Considerando esta definição, aponta-se que:

no campo da construção civil as entradas podem ser compreendidas como elemento físico, representado por mão de obra, materiais e equipamentos, elemento financeiro, recaindo sobre a quantidade de dinheiro demandada, e elemento social, compreendido pelo esforço da sociedade como recurso inicial (Souza, 2000).

Na Figura 4 ilustram-se as abrangências do estudo de produtividade na construção civil:

AACE (2004) sintetiza produtividade “como a medida do índice de saídas por unidade de tempo ou esforço normalmente medido em horas trabalhadas. Por exemplo Jarbas cúbicas/ metros cúbicos colocados de concreto, pés/ metros lineares instalados de conduítes ou tubulação.”

**Figura 4** - Abrangência da produtividade na construção civil



**Fonte:** SOUZA, 2000 (adaptada).

Em complemento ao estudo, Martins (2014) afirma que várias são as razões pelas quais a produtividade pode ser deteriorada, dentre essas citam-se as comumente observadas:

- projetos básicos falhos, exigindo revisões concomitantes ao desenvolvimento das obras;
- ordens de Mudanças, demandando necessidade de repetir o ciclo de aprendizagem e, dependendo do momento do ordenamento, implicando em retrabalhos;
- fornecimento de Projetos sem compatibilização;
- interfaces e interferências imprevistas;
- trabalhos fora da sequência executiva lógica prevista;
- efeito “*stop-and-go*” das operações, ou seja, interrupções e retomadas do trabalho, motivadas pelos fatos retro citados e outros, produzindo a necessidade de reorganizar e reordenar os recursos diretos;
- número de trabalhadores acima do ótimo em uma frente de serviço, o que ocorre, por exemplo, devido à liberação parcial de frentes;
- deslocamento de atividades previstas para período seco, para o chuvoso;
- falhas de gestão de pessoal;
- supervisão com grande equipe e/ou sem comando; e
- falta de previsibilidade em relação às obrigações da Contratante.

Para Schmitt *et al.* (1992) citado por Colombo e Bazzo (2002), a indústria da construção civil é frequentemente criticada pela sua baixa eficiência produtiva, pela imprevisibilidade de suas operações e pela qualidade de seus produtos aquém das expectativas.

Nesse contexto, faz-se importante a identificação quantitativa e qualitativa da perda de produtividade, visando mitigar a baixa eficiência produtiva durante o desenvolvimento da obra.

## **2.2 Métodos de estimativa de perda de produtividade**

De acordo com AACE (2004), existem vários métodos para estimativa de perda de produtividade, dentre os quais, quando há estudos específicos de projeto, destacam-se:

- *Measured miles*: Comparativo da produtividade entre partes do projeto que sofreram e as que não sofreram impactos;
- análise de valor agregado: Comparativo entre horas agregadas - unidades físicas de trabalho concluídas multiplicadas pelos índices de orçamento unitário – e horas efetivamente gastas no período de impacto.
- amostragem de trabalho: Análise de grande número de observações diretas dos operários para determinar a atividade deles em diversos momentos.
- amostragem usando questionários aplicados a operários: Utilizado quando o analista não está em campo e a perda de produtividade é reconhecida pelo pessoal do gerenciamento da obra.

No item 2.3 será exposto o método *Measured Miles*, uma vez que esse é objeto de análise deste estudo.

## **2.3 "Measured Miles"**

A Prática Recomendada nº 25R-03 – Como Estimar Perda de Produtividade de Mão de Obra em Pleitos de Construção (2004), da AACE® International,

estabelece-se como principal armazenamento de arquivo técnico quando a temática é a apuração de perda de produtividade.

Os métodos para análise de produtividade estão previstos na RP 25R-03 de forma agrupada, conforme ordem de relevância da literatura publicada. Nesse sentido, a técnica *measured Mile* se enquadra no grupo Estudos Específicos de projeto, o qual possui preferência frente aos demais.

De acordo com Schwartzkopf (2008) citado por AACE (2004, p.16):

o método mais amplamente aceito para o cálculo de perda de produtividade da mão de obra é conhecido em toda a indústria como o cálculo “Measured Mile” (produtividade natural). Esse tipo de cálculo compara atividades idênticas em partes do projeto que sofreram e que não sofreram impactos para averiguar a perda de produtividade resultante do impacto de um conjunto conhecido de eventos. O cálculo Measured Mile é preferido porque considera apenas o efeito real do impacto alegado, eliminando disputas a respeito da validade de estimativas de custos ou de fatores que possam ter afetado a produtividade sem culpa da Contratante.

Martins (2014) também contribui, apontando:

Outro método muito usual é conhecido como “measured mile analysis”. Este método pode ser utilizado quando um projeto tem uma porção não impactada claramente definida, em oposição a uma porção afetada, de um trabalho semelhante. Os custos normais de produtividade e da unidade da parte não afetada do projeto servem como linha de base para comparação. Se a contratada pode estabelecer que o proprietário foi o responsável pelas causas da redução da produtividade, as diferenças de custo entre a porção com produtividade normal e a porção com produtividade afetada podem servir como uma medida útil dos danos incorridos. Uma vantagem dessa abordagem é que ela não confia unicamente na estimativa de produtividade de proposta da contratada, uma vez que utilizam-se de dados reais tanto para o período utilizado como linha de base, como para o período impactado.

Em outras palavras, o método Measured Miles de estimativa de perda de produtividade é aplicado quando é possível comparar atividades semelhantes, sendo uma parte impactada e outra não impactada por eventos que interferem na produtividade em questão.

Com relação à metodologia de aplicação do método em questão, Thomas e Gemmel (2016) afirmam que não há procedimentos para definir como conduzir uma análise com o Measured Miles. Entretanto, os mesmos autores propõem etapas para orientar a análise supracitada, tais quais:



- definir medida de desempenho;
- realizar convergência de dados;
- decidir o escopo de análise;
- realizar divisão em períodos;
- elaborar curva de desempenho (produtividade);
- determinar os períodos não impactados e impactados;
- calcular a baseline dos danos que foram medidos;
- validar porcentagem de produção;
- calcular ineficiência das horas trabalhadas
- causa – efeito das análises;
- validar a análise.

Resumidamente, cada uma dessas etapas é definida por esses mesmos autores como:

**Medida de desempenho:** comumente conceituada como quantidade de horas despendidas para se executar determinada quantidade de trabalho.

$$\text{Produtividade (taxa unitária)} = \text{horas de trabalho} / \text{quantidades}$$

De acordo com a fórmula supracitada, um valor menor de taxa unitária significará maior produtividade do que uma taxa unitária mais alta, visto que são necessários menos recursos por unidade de trabalho.

**Realizar convergência de dados:** é a etapa na qual faz-se necessário verificar se os dados utilizados estão corretos e são confiáveis.

**Decidir o escopo de análise:** será apontada qual ou quais tarefas serão analisadas, dependendo de qual atividade foi impactada.

**Realizar divisão em períodos:** o projeto deve ser dividido em várias partes, de acordo com as atividades que são realizadas.

**Elaborar curva de desempenho (produtividade):** etapa na qual é traçada a curva de produtividade.

**Determinar os períodos não impactados e impactados:** com o auxílio do gráfico elaborado na etapa 5, é possível identificar os períodos impactados e não impactados.

**Calcular a baseline dos danos que foram medidos:** é a utilização dos dados de produtividade no período não impactado para calcular a baseline.

**Validar porcentagem de produção:** nesta etapa será calculada porcentagem de produção no período não impactado, o qual deve possuir uma quantidade razoável.

**Calcular ineficiência das horas trabalhadas:** comparação entre quantidade de horas necessárias para um determinado trabalho no período não impactado e a quantidade de horas despendidas para realizar o trabalho no período impactado.

**Identificação causa – efeito das análises:** essa identificação começa pela revisão da curva de produtividade, verificando o período de ineficiência. Os períodos afetados precisam ser consistentes com as causas da ineficiência. Essa análise envolve uma busca pelas razões pelas quais a produtividade foi degradada durante o período impactado e é realizado por meio de revisões de documentos de obra.

**Validar a análise:** ocorreu por meio da correlação entre horas de trabalho ineficientes e as causas da ineficiência. Deve haver uma análise do prazo total dos períodos impactados e não impactados.

Diante das referências expostas, no capítulo 3 será apresentado o estudo em questão, abordando inicialmente pontos relacionados à pesquisa e posteriormente a aplicação do método de estimativa de perda de produtividade escolhido.

## **CAPÍTULO 3**

### **ETAPAS CONSTRUTIVAS E APLICAÇÃO DO *MEASURED MILES***

No Capítulo 3 apresenta-se relato da pesquisa, metodologia utilizada para aplicação do método de estimativa de perda de produtividade e obtenção de dados, além dos resultados obtidos juntamente com a análise dos dados.

#### **3.1 Relato da pesquisa**

Os dados utilizados para esse estudo são referentes à barragem em estudo, na qual foi empregado método à jusante de alteamento. De acordo com proposta técnica da empresa investigada, contratada para execução da barragem, o escopo de contratação era compreendido principalmente pelas seguintes atividades, que estão apresentadas conforme sequência executiva:

- abertura de acessos e caminhos de serviço;
- serviços Topográficos;
- terraplanagem / Drenagem Interna;
- tratamento de Fundação;
- aterro compactado;
- dispositivos de Drenagem;
- revestimento Vegetal;
- instrumentação;

A abertura de acessos foi executada durante o desenvolvimento das obras, principalmente aqueles na região da fundação e implantação do vertedouro. A maioria dos acessos às áreas de serviço foram feitos por meio de vias construídas existentes, que foram melhoradas e conservadas. Os acessos construtivos interligavam as áreas de estoque e aterro e quando não mais utilizados foram removidos ao final dos trabalhos.

Para construção e manutenção dos acessos foram utilizados tratores, motoniveladoras, caminhões pipas com barra aspersora e rolos vibratórios.

Os serviços topográficos necessários ao desenvolvimento das atividades, tanto das obras de infraestrutura quanto para obras civis, foram executados por meio da utilização de estações totais computadorizadas, softwares específicos como AutoCAD, Topograf, dentre outros. Além disso, o levantamento topográfico foi realizado nas seguintes fases de apoio topográfico, levantamento de detalhes, locações e marcações, marcações no campo e controle de qualidade.

Com o intuito de conformar o terreno natural às medidas geométricas do projeto de implantação da obra, foi iniciada a remoção vegetal e da camada superficial, posteriormente, foram executadas as escavações em obediência aos elementos técnicos fornecidos pela fiscalização.

Os materiais escavados da fundação, ombreiras e do canal extravasor foram lançados na ADME – Área de deposição de material escavado. Para a execução da escavação foram mobilizadas patrulhas formadas por escavadeiras hidráulicas, tratores de esteira e caminhões basculantes.

Após a escavação da fundação e ombreiras, correspondente ao serviço de terraplanagem foi executado tratamento da fundação, o qual faz parte do objeto de estudo desta pesquisa.

O tratamento da fundação foi previsto de acordo com o tipo de terreno encontrado, sendo solo ou rocha. Na região de solo ocorreu remoção de todo o material solto, umedecimento e compactação da superfície com rolo compactador pesado. Na região de rocha ocorreu remoção do material grosso solto, seguido de remoção do material mais fino e tratamento de cavidades menores que 10m<sup>2</sup> com concreto de regularização. Na Figura 5, extraída da proposta técnica da empresa em estudo, ilustra-se limpeza da fundação com remoção de solo mole e orgânico.

Após a conclusão da limpeza da fundação, ocorreu execução das injeções para a fundação da barragem, as quais, de acordo com proposta técnica, possuem as seguintes finalidades:

- reduzir a perda d'água por percolação;
- controlar a pressão d'água dentro do maciço da fundação e no contato estrutura – fundação da barragem;
- melhorar a resistência mecânica e as propriedades elásticas das rochas furadas;
- melhorar a capacidade de suporte dos solos.

**Figura 5 - Tratamento da Fundação**



**Fonte:** Dados da obra de estudo (2018).

Além disso, estimavam-se furos primários e secundários, conforme exposto em proposta técnica, com espaçamento entre furos, quantidade e profundidade definidos. Na Tabela 1 apresenta-se as previsões para o furo de injeção.

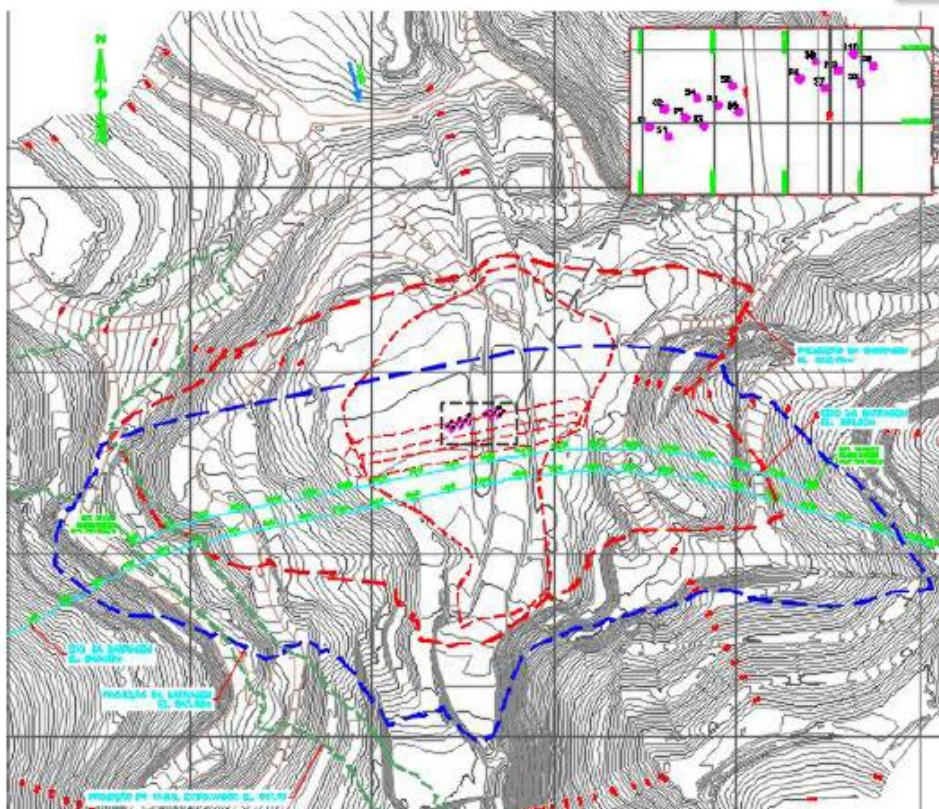
**Tabela 1 - Execução dos furos de injeção**

<b>Ordem de Execução</b>	<b>Espaçamento entre Furos (m)</b>	<b>Descrição dos Furos</b>	<b>Profundidade dos Furos (m)</b>	<b>Quantidade estimada de furos</b>
Primeira	5,0	Primários/ Exploratórios	25,0	6
Segunda	5,0	Secundários	15,0	10

**Fonte:** Dados da obra de estudo, 2018 (adaptada).

Os furos primários seriam obrigatórios, já os secundários só seriam perfurados e injetados quando a absorção em algum trecho nos furos primários adjacentes fosse superior a 50 kg de cimento por metro. Na Figura 6 apresentam-se os furos de impermeabilização previstos.

**Figura 6** – Planta dos furos de injeção



**Fonte:** Dados da obra de estudo (2018).

Com a conclusão do tratamento da fundação iniciou-se a construção do maciço em núcleo laterítico, por meio da compactação do material. Essa fase também faz parte do objeto de estudo deste trabalho. Inicialmente foi executado um aterro experimental com o intuito de definir espessura de camada, número de passadas, amplitude de vibração e velocidade para o tipo de equipamento proposto. Dessa forma, os maciços compactos de material terroso (C1) foram construídos seguindo os parâmetros adquiridos no aterro experimental.

O lançamento do material foi executado em ponta de aterro, para que não houvesse tráfego de equipamentos sobre camadas já compactadas. Além disso, a operação de espalhamento foi realizada de modo que fosse obtido aterro homogêneo, tanto em relação à umidade quanto à textura e características do solo.

Até a presente data de elaboração deste estudo, o alteamento ainda estava em execução, ou seja, a barragem ainda não havia atingido a sua elevação prevista, sendo realizadas atividades diárias para a conclusão da obra.

Em paralelo à execução do aterro compactado, foram executados os dispositivos de drenagem. A drenagem superficial é caracterizada por escadas de descida d'água em concreto, além de valetas, sarjetas e canaletas retangulares.

Também foram instalados os dispositivos de instrumentação para a segurança e monitoramento do maciço, os quais consideravam medidor de vazão, piezômetro elétrico, marcos superficiais, placas de recalque e inclinômetros. Todos esses instalados conforme desenhos e projetos detalhados.

Após a conclusão do alteamento da barragem será executado o revestimento vegetal, o qual protegerá as faces dos taludes contra o impacto da chuva, contribuindo para a estruturação do solo e, evitando ainda, a formação de sulcos e arraste de material.

Com a apresentação sucinta das etapas da obra objeto deste estudo, faz-se necessária identificação da modalidade desta pesquisa considerando-a qualitativa e quantitativa, uma vez que será realizado estudo de caso com levantamento para identificação de fatos que trazem impactos e, posteriormente, serão avaliados em valores a produtividade das atividades realizadas durante os fatos apontados.

### **3.2 Metodologia de obtenção dos dados**

Inicialmente, ressalta-se que por questões de sigilo, o nome das empresas envolvidas na construção da barragem, bem como a sua localização e a identificação da estrutura não foram apresentados nesse estudo.

Os dados coletados para esta pesquisa foram obtidos por meio de documentos elaborados pelas empresas envolvidas na obra de execução da barragem, como relatórios diários de obra, tabelas de controle de produtividade, vídeos do empreendimento, informações repassadas pela área de topografia e fotos. Além disso, a observação *in loco* foi de suma importância para a identificação de possível desvio de produtividade em determinados momentos de execução da barragem e, conseqüentemente, para iniciar a pesquisa.

Observou-se que houve um atraso na execução das cortinas de injeção, uma vez que se previa um prazo total de 30 dias para se concluir a atividade, conforme apontado em proposta técnica, e foram necessários 106 dias. Dessa forma, a atividade sucessora, que era o alteamento da barragem, ficou prejudicada.

Para diminuir o atraso da obra, iniciou-se o lançamento e a compactação de laterita nas ombreiras direita e esquerda, mesmo sem a conclusão das injeções no núcleo. Dessa forma, com a sucessão de aplicação de camadas de material argiloso nas laterais da barragem, formou-se um buraco no centro dessa, diminuindo a praça de trabalho, uma vez que a área onde o rolo compressor atuaria será menor. Tal fato caracterizaria possível diminuição de produtividade dos equipamentos alocados na atividade de alteamento, delongando a conclusão da obra.

Com o intuito de verificar a produtividade dos trabalhos durante o desvio supracitado foram coletados relatórios diários de obra (RDO's) para identificação do período no qual houve redução da praça de trabalho. Além disso, foi realizada consulta com a área de topografia para confirmação das datas coletadas nos RDOs, por meio de fotos retiradas pelos aparelhos aéreos da obra e elevações obtidas em softwares específicos.

Posteriormente, foi questionada ao setor de planejamento a quantidade de metros cúbicos compactados em uma hora máquina, ou seja, qual a produtividade dos recursos alocados em determinados intervalos pré-estabelecidos de acordo com análise de documentos de obra. Por meio da disponibilização dos documentos de controle de aterro e controle de horas x máquinas foi possível identificar os dados solicitados.

Por fim, foram confrontados os períodos identificados em RDOs e as produtividades calculadas para cada período, verificando qual a perda de produtividade dos recursos alocados na atividade de compactação devido à diminuição da praça de trabalho.

### **3.3 Resultados obtidos e análise dos dados**

Com o atraso observado para conclusão da atividade de injeção, viu-se a necessidade de iniciar o lançamento e a compactação de laterita para o alteamento da barragem pelas ombreiras direita e esquerda do cut-off, resultando em um buraco no núcleo laterítico, conforme Figura 7:



**Figura 7** - Núcleo laterítico



**Fonte:** Arquivo Pessoal.

Diante da observação *in loco* relatada, apontou-se a possibilidade de perda de produtividade dos equipamentos de compactação, uma vez que houve redução da praça de trabalho. Para verificação dessa perda, inicialmente foi realizada análise dos documentos de obra, nos quais observou-se registros em RDOs evidenciando atividades no núcleo laterítico entre o período de 24 de julho de 2018 e 30 de setembro de 2018.

Como observado *in loco* e relatado anteriormente, essa aplicação estava ocorrendo apenas nas ombreiras, até que em 24 de agosto de 2018 as atividades de injeções foram concluídas, conforme verificado em planilha de acompanhamento disponibilizada pela obra que apontava a execução da última injeção de calda na data em questão.

Com a finalização das injeções, o alteamento de C1 nas ombreiras foi interrompido e iniciou-se a aplicação de laterita no núcleo da barragem, buscando nivelamento das cotas e, dessa forma, garantir a possibilidade de execução das atividades em toda a praça de trabalho.

Na Tabela 2, disponibilizada pela equipe de obra, apresenta-se a quantidade em m<sup>3</sup> de laterita que foi aplicada diariamente no período de 23 de julho de 2018 até 30 de setembro de 2018 no cut-off da barragem.

**Tabela 2** - Quantidade de laterita aplicada diariamente

Data	Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	Data	Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	Data	Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	Data	Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )
23/07/2018	354,8	13/08/2018	546,3	03/09/2018	2345,8	24/09/2018	584,1
24/07/2018	423,3	14/08/2018	345,6	04/09/2018	2543,9	25/09/2018	1029,3
25/07/2018	347,7	15/08/2018	546,7	05/09/2018	2134,5	26/09/2018	1726,3
26/07/2018	454,9	16/08/2018	234,5	06/09/2018	2543,9	27/09/2018	1834,2
27/07/2018	539,5	17/08/2018	657,3	07/09/2018	2456,8	28/09/2018	1934,2
28/07/2018	486,6	18/08/2018	745,3	08/09/2018	1987,1	29/09/2018	1653,1
29/07/2018	498,8	19/08/2018	638,1	09/09/2018	2274,8	30/09/2018	337,9
30/07/2018	298,7	20/08/2018	345,5	10/09/2018	1234,6		
31/07/2018	276,1	21/08/2018	364,7	11/09/2018	1623,5		
01/08/2018	234,8	22/08/2018	435,8	12/09/2018	1456,9		
02/08/2018	223,1	23/08/2018	345,3	13/09/2018	1234,5		
03/08/2018	212,4	24/08/2018	453,8	14/09/2018	1423,5		
04/08/2018	256,9	25/08/2018	346,7	15/09/2018	1345,2		
05/08/2018	232,0	26/08/2018	438,5	16/09/2018	1277,1		
06/08/2018	567,8	27/08/2018	987,7	17/09/2018	283,1		
07/08/2018	687,9	28/08/2018	1123,8	18/09/2018	112,1		
08/08/2018	675,9	29/08/2018	1657,4	19/09/2018	172,8		
09/08/2018	543,6	30/08/2018	1235,8	20/09/2018	243,1		
10/08/2018	657,9	31/08/2018	1456,8	21/09/2018	217,1		
11/08/2018	556,8	01/09/2018	1324,6	22/09/2018	234,6		
12/08/2018	541,5	02/09/2018	1456,3	23/09/2018	310,2		

**Fonte:** Dados da Obra de estudo, 2018 (adaptada).

Conforme exposto anteriormente, o método *Measured Miles* de análise de perda de produtividade é utilizado quando se é possível comparar as produtividades em um período impactado por uma condição negativa e um período com condições normais.

Dessa forma, foi extraído do relatório semanal de progresso a quantidade média de rolos compactadores utilizados na atividade de alteamento, uma vez que esse dita o ritmo da obra. Além disso, no mesmo documento foi identificada a quantidade de horas semanais que o equipamento em questão esteve em utilização, essa foi obtida por meio da multiplicação entre o número de equipamentos, a jornada diária de trabalho (12h) e a quantidade de dias em que houve atividades durante a semana (7 dias). Na Tabela 3 resume-se o supracitado.

**Tabela 3** - Dados utilização rolo compactador

Data (semana)	23/07/2018	30/07/2018	06/08/2018	13/08/2018	20/08/2018	27/08/2018
Qtde média de equipamento	2	2	2	2	2	2
Horas em utilização	168	168	168	168	168	168
Data (semana)	03/09/2018	10/09/2018	17/09/2018	24/09/2018	01/10/2018	08/10/2018
Qtde média de equipamento	2	2	4	4	4	4
Horas em utilização	168	168	336	336	336	336

Fonte: Dados da obra de estudo, 2018 (adaptada).

Posteriormente, calculou-se, com base na Tabela 2, as quantidades de laterita aplicadas semanalmente. Na Tabela 4 apresentam-se os valores calculados:

Em consonância ao supracitado, calculou-se a produtividade semanal ( $m^3/hm$ ) do rolo compactador, com base nas quantidades de laterita aplicadas e nas horas em utilização do equipamento, conforme apresenta-se na Tabela 5.

Por fim, identificou-se a média de produtividade em cada um dos dois períodos, o impactado negativamente e aquele em condições normais. Observou-se, então, que o primeiro apresentava uma produtividade de  $18m^3/hm$  e o segundo  $48m^3/hm$ , ou seja, uma variação de 62% devido à redução de praça de trabalho ocasionada pelo atraso na conclusão das injeções, conforme Figura 8.

**Tabela 4 - Quantidade semanal de laterita**

Data	Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	Laterita aplicada semanalmente (m <sup>3</sup> )	Data	Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	Laterita aplicada semanalmente (m <sup>3</sup> )
23/07/2018	354,8	3105,6	27/08/2018	987,7	9242,35
24/07/2018	423,3		28/08/2018	1123,8	
25/07/2018	347,7		29/08/2018	1657,4	
26/07/2018	454,9		30/08/2018	1235,8	
27/07/2018	539,5		31/08/2018	1456,8	
28/07/2018	486,6		01/09/2018	1324,6	
29/07/2018	498,8		02/09/2018	1456,3	
30/07/2018	298,7	1733,96	03/09/2018	2345,8	16286,81
31/07/2018	276,1		04/09/2018	2543,9	
01/08/2018	234,8		05/09/2018	2134,5	
02/08/2018	223,1		06/09/2018	2543,9	
03/08/2018	212,4		07/09/2018	2456,8	
04/08/2018	256,9		08/09/2018	1987,1	
05/08/2018	232,0		09/09/2018	2274,8	
06/08/2018	567,8	4231,38	10/09/2018	1234,6	9595,27
07/08/2018	687,9		11/09/2018	1623,5	
08/08/2018	675,9		12/09/2018	1456,9	
09/08/2018	543,6		13/09/2018	1234,5	
10/08/2018	657,9		14/09/2018	1423,5	
11/08/2018	556,8		15/09/2018	1345,2	
12/08/2018	541,5		16/09/2018	1277,1	
13/08/2018	546,3	3713,78	17/09/2018	283,1	1572,97
14/08/2018	345,6		18/09/2018	112,1	
15/08/2018	546,7		19/09/2018	172,8	
16/08/2018	234,5		20/09/2018	243,1	
17/08/2018	657,3		21/09/2018	217,1	
18/08/2018	745,3		22/09/2018	234,6	
19/08/2018	638,1		23/09/2018	310,2	
20/08/2018	345,5	2730,34	24/09/2018	584,1	9099,10
21/08/2018	364,7		25/09/2018	1029,3	
22/08/2018	435,8		26/09/2018	1726,3	
23/08/2018	345,3		27/09/2018	1834,2	
24/08/2018	453,8		28/09/2018	1934,2	
25/08/2018	346,7		29/09/2018	1653,1	
26/08/2018	438,5		30/09/2018	337,9	

**Fonte:** Dados da obra de estudo, 2018 (adaptada).

**Tabela 5 – Produtividade do rolo compactador**

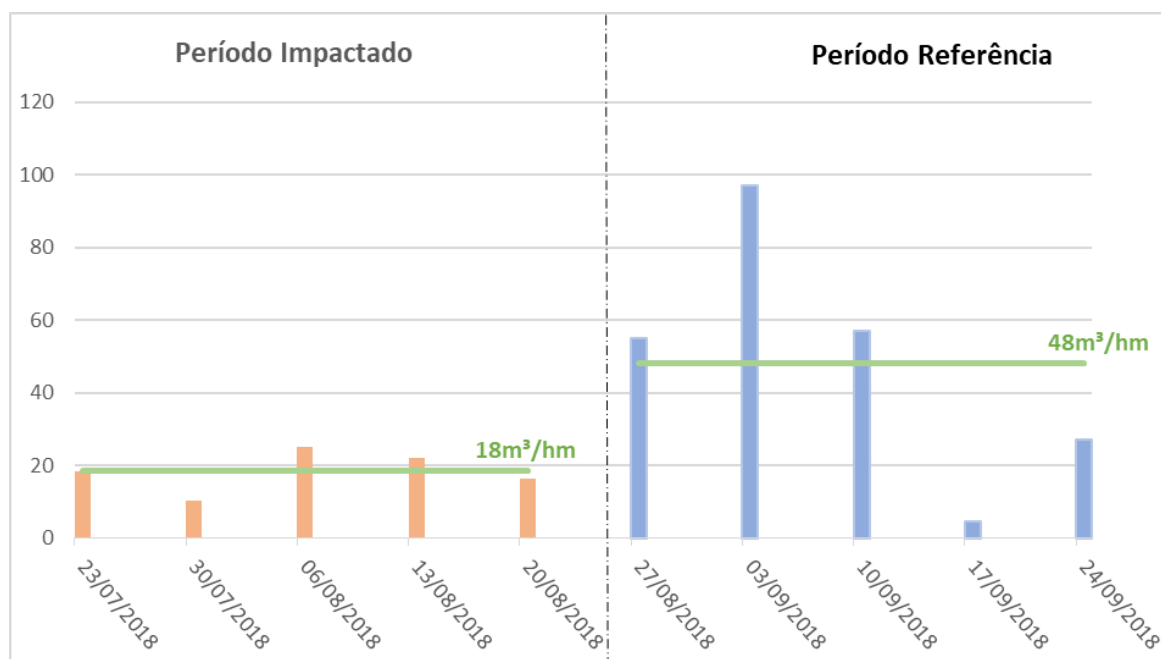
Data (semana)	23/07/2018	30/07/2018	06/08/2018	13/08/2018	20/08/2018
Horas em utilização	168	168	168	168	168
Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	3106	1734	4231	3714	2730
<b>PRODUTIVIDADE (m<sup>3</sup>/hm)</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>16</b>

Data (semana)	27/08/2018	03/09/2018	10/09/2018	17/09/2018	24/09/2018
Horas em utilização	168	168	168	336	336
Laterita aplicada (m <sup>3</sup> )	9242	16287	9595	1573	9099
<b>PRODUTIVIDADE (m<sup>3</sup>/hm)</b>	<b>55</b>	<b>97</b>	<b>57</b>	<b>5</b>	<b>27</b>

Fonte: Dados da obra de estudo, 2018 (adaptada).

**Figura 8 - Média de produtividade período impactado e não impactado**



Fonte: Arquivo Pessoal.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ausência de controle e medição durante a execução de uma obra impossibilita ações de melhoria da produtividade dos recursos durante as atividades. Além disso, a carência do setor de construção civil em medir os trabalhos realizados dificulta a análise do desempenho atual da estrutura, que, no caso deste estudo se inseriu na execução da barragem investigada.

Nesse contexto, a utilização do método *Measured Miles* teve como finalidade estimar a perda de produtividade dos recursos durante a execução do aterro compactado, atividade sucessora às injeções de calda, e identificar os principais fatores de degradação de produtividade.

Por meio de observação in loco, análise de documentação disponibilizada pela equipe de obra e leitura de documentos licitatórios, observou-se que houve atraso na conclusão da atividade de tratamento da fundação, mais especificamente na execução das injeções. Esse atraso gerou deslocamento no início da atividade de alteamento da barragem e, além disso, impactou na metodologia construtiva do aterro compactado, uma vez que houve redução da praça de trabalho.

O método *Measured Miles* foi utilizado para analisar qualitativamente e quantitativamente a perda de produtividade gerada pelo fato supracitado. Ao fim da análise observou-se que houve um impacto no alteamento da barragem devido à redução da praça de trabalho, uma vez que ocorreu atraso na atividade de injeção.

Após o nivelamento das cotas, identificou-se um aumento de 61% na produtividade dos recursos utilizados na execução do aterro compactado da estrutura da barragem que foi alteada pelo método da jusante. Dessa forma, o método de estimativa de perda de produtividade utilizado auxiliou na obtenção de dados que podem beneficiar na gestão eficiente da produtividade dos recursos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACE. **International Recommended Practice 25R-03** – Estimating Lost Labor Productivity in Construction Claims. West Virginia, EUA, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13028: **Mineração** – Elaboração e apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação. Rio de Janeiro, 2017.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ASSIS, A.P. & ESPÓSITO, T.J. **Construção de barragens de rejeitos sob uma visão geotécnica**. III Simpósio Sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração, REGEO'95, ABMS / ABGE / CBGB, Ouro Preto, MG, 1995.

CARDOZO, F.A.C; PIMENTA, M. M., ZINGANO, A. C. **Métodos Construtivos de Barragens de Rejeitos de Mineração – Uma revisão**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

COLOMBO, C. R.; BAZZO, W. A. **Desperdício na construção civil e a questão habitacional: um enfoque CTS**. 2002. Disponível em: <http://www.campusoei.org/salactsi/colombobazzo.htm>. Acesso em 23 jul.2019.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de minas gerais em relação ao potencial de risco** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação em saneamento, meio-ambiente e recursos hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil, 2008.

GEMMEL, R. J; THOMMAS, R. **The measured mile: How to conduct the analysis**. Thomson Reuters. Austrália 2016.

HUMPHREYS, K. K. (Ed.), **Jelen's Cost and Optimization Engineering**, Third Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.

- KING, N. C. O. **Produtividade Sistêmica: conceitos e aplicações**. PUC/PR, Curitiba, 2007.
- MARTINS, G. M., **(Im) Produtividade na Construção**. 2014. Disponível em: <http://www.hormigon.com.br/publicacao/improdutividade-na-construc%CC%A7a%CC%83o/>. Acesso em 25 abr.2019.
- RAFAEL, H. M. A. M. **Análise do potencial de liquefação de uma barragem de rejeito**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC – RIO, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- SCHWARTZKOPF, W. **Calculating Lost Labor Productivity in Construction**. New York, 1995.
- SOARES, Lindolfo. **Barragem de rejeito**. 896 f. In: Luz, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
- SOUZA, U.E.L. **Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical**. 237 f. Tecnologia e gestão na produção de edifícios: vedações verticais. PCC-EPUSP, São Paulo, 1998.
- SOUZA, U. E. L., **Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.
- THOMÉ, R; PASSINI. M. L. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. Ciências Sociais Aplicadas em revista. UNIOESTE, Paraná, 2018.
- VALERIUS, M. B. **Cadastro e Análise do Potencial de Risco das Barragens de Rejeitos de Mineração do Estado de Goiás**. 105 f. Distrito Federal, Dissertação de Mestrado - UnB, 2014.
- VICK, S.G. **Planning, design, and analysis of tailings dams**. Vancouver, BiTech.ISBN: 0921095120.2nd Edition.xi, 1990.