



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências – CTC

Faculdade de Engenharia – FEN

Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PGECIV

Vanessa da Silva de Azevedo

**Planejamento de Atividades da Construção Predial Visando a Redução de
Perdas de Processo na Ótica da Construção Enxuta**

Orientador: Prof. Cyro Alves Borges Junior

Co- orientador: Prof. Ricardo Myashita

Rio de Janeiro

2010

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CCS/C

F475 AZEVEDO, VANESSA DA SILVA DE

Planejamento de Atividades da Construção Predial Visando a Redução de Perdas de Processo na Ótica da Construção [Rio de Janeiro] 2010.

xix, 192p. 29,7 cm (FEN/UERJ, Mestrado, PGECIV - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Área de Concentração: Estruturas, 2010).

Dissertação - Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

1. Introdução. 2. Revisão Bibliográfica. 3. Metodologia. 4. Desenvolvimento. 5. Análise de Resultados. 6. Conclusão. 7. Referências Bibliográficas

I. FEN/UERJ

II. Título (série)

CDU 625.712.34

Autorizo apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

Assinatura

Data

Vanessa da Silva de Azevedo

Planejamento de Atividades da Construção Predial Visando a Redução de Perdas de Processo na Ótica da Construção Enxuta

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, da Faculdade de Engenharia, FEN, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Ênfase: Estruturas.

Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada

Prof. Cyro Alves Borges Junior, DSc – Presidente
Departamento de Engenharia Industrial – UERJ

Prof. Ricardo Myashita, DSc
Departamento de Engenharia Industrial – UERJ

Prof. Pedro C.G.da S. Vellasco, PhD
Departamento de Estruturas e Fundações – UERJ

Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães, PhD
Departamento de Engenharia Civil– PUC-RJ

Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, DSc
Departamento de Engenharia de Produção – UFRJ

Rio de Janeiro

2010

DEDICATÓRIA

As pessoas dizem que três coisas completam o homem: ter um filho, plantar uma árvore e escrever um livro. É verdade, me sinto completa agora.

Dedico este “livro” à família que formei, agradecendo sua compreensão, atenção e amor. Agradeço pela paciência em me perder durante algumas noites e finais de semana, agradeço também pelo esforço que fizeram em entender um universo particular que lhes parece até hoje muito engraçado e cheio de números.

Aos meus filhos Jorge Miguel e Maria Isabel por serem o meu porto seguro e minha principal fonte de idéias, vocês são a minha maior obra.

A meu esposo Jorge William por ter me presenteado com essas pessoas extraordinárias e por ter cuidado deles todo o tempo com muito carinho.

Aos meus pais pela primeira caixa de lápis de cor, iluminadora de idéias e estímulo para toda a vida.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores membros do PGECIV, pela oportunidade e incentivo durante todo o programa. Aos meus colegas mestrandos, por compartilharem das dúvidas e certezas de nosso futuro, juntos alcançamos um patamar mais alto.

Ao meu orientador Prof. Cyro Borges, pela confiança, generosidade, pelo encorajamento e principalmente pela paciência. Obrigada por acreditar neste trabalho e fazer dele uma grande realização para mim.

A Deus, que permitiu que tudo isso fosse possível.

EPIGRAFE

As pessoas grandes têm a mania de querer, a qualquer preço, explicar o inexplicável. Ficam irritadas com tudo que as surpreende. E, logo que acontece no mundo algo de novo, obstinam-se em querer provar que essa coisa nova se parece com outra que já conheciam há muito tempo.

O menino do dedo verde – Maurice Druon

RESUMO

Azevedo, Vanessa da Silva de; Borges Junior, Cyro Alves (Orientador). Planejamento de Atividades da Construção Predial Visando a Redução de Perdas de Processo na Ótica da Construção Enxuta. Rio de Janeiro, 2010. 192 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Adaptada dos conceitos da produção enxuta, a construção enxuta é uma filosofia de gestão da produção voltada à construção civil. Dos cinco princípios enxutos em que se baseia, o que mais tem se estudado desde a publicação do Relatório Técnico nº72 – Aplicação da Nova Filosofia de Produção à Construção (publicado pelo CIFE – Center for Integrated Facility Engineering, ligado à Universidade de Stanford, EUA) é o Fluxo Contínuo. A idéia de manter o fluxo contínuo está diretamente ligada à continuidade da produtividade, ou seja, manter a produtividade em uma taxa constante. Aplicar o conceito enxuto de fluxo contínuo através da manutenção das taxas de produtividade significa gerenciar o empreendimento de modo que a execução das atividades se mantenha de acordo com os parâmetros estabelecidos durante a fase de planejamento. Por meio de ferramentas enxutas de gerenciamento é feita a simulação em Excel de três atividades pertencentes ao processo de execução de lajes prediais de edifícios construídos em estruturas metálicas: *steel deck*, armação e concretagem. A elaboração da planilha possibilita a avaliação das perdas ocorridas durante a execução das atividades sob a ótica do conceito de atrasos e esperas. A soma destas perdas resulta ainda em dois efeitos distintos considerados como perdas acumuladas e perdas compensadas, proporcionando ao gerente do empreendimento dados consistentes para traçar estratégias para eliminação do desperdício ou uma antevisão dos desperdícios que podem estar associados à execução das atividades se estas forem mal planejadas.

Palavras-chave: *Construção civil, construção enxuta, fluxo contínuo, planejamento e gerenciamento, produtividade.*

ABSTRACT

Azevedo, Vanessa da Silva de; Borges Júnior, Cyro Alves (Orientador). Planning Activities Building Construction In order to Loss Reduction Process from the Perspective of Lean Construction. Rio de Janeiro, 2010. 192 p. MsC Dissertation – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Adapted from the concepts of lean production, lean construction is a management philosophy of the production directed to construction. Of the five lean principles what else has been studied since the publication of Technical Report No. 72 - Application of New Production Philosophy to Construction (published by CIFE - Center for Integrated Facility Engineering, connected to Stanford University, USA) is the continuous flow. The idea of maintaining the continuous flow is directly linked to continued productivity, ie keep productivity at a constant rate. Apply the concept of lean stream by maintaining productivity rates means managing the project so that the execution of activities is maintained in accordance with the guidelines established during the planning phase. Through lean management tools is done in Excel simulation of three activities from the implementation process of building slabs of buildings constructed in steel structures, steel deck, frame and concrete. The elaboration of the sheet allows the evaluation of the losses occurred during the execution of activities from the perspective of the concept of delays and waits. The total of these losses still result in two distinct effects considered to accumulated losses and offset losses, providing the manager of the project consistent data to plot strategy for disposal of waste or a preview of wastes that may be associated with the implementation of the activities if they are badly planned .

Keywords: Civil construction, lean construction, continuous flow, planning and management, productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1:	Redução de <i>inputs</i> através do fluxo.....	22
Figura 2.2:	Cinco princípios do pensamento enxuto.....	23
Figura 2.3:	Integração do sistema: análise de perdas.....	24
Figura 2.4:	Ciclo de redução de desperdício (<i>muda</i>).....	26
Figura 2.5:	Características: Indústria da Construção x Indústria Automobilística.....	28
Figura 2.6:	Eliminação de desperdício: dependente direto da relação entre confiabilidade x variabilidade.....	41
Figura 3.1:	Origem do referencial teórico.....	47
Figura 3.2:	Diretrizes estabelecidas por Koskela (1998).....	48
Figura 3.3:	Diretrizes estabelecidas por Ballard e Howell (1998).....	49
Figura 3.4:	Corte transversal da estrutura utilizada na montagem do <i>steel deck</i>	50
Figura 3.5:	Corte transversal da estrutura utilizada na montagem do <i>steel deck</i>	51
Figura 3.6:	Seqüência do Tempo de Ciclo (T/C) para SD, A e C.....	52
Figura 3.7:	Estrutura proposta por Azevedo (2007).....	53
Figura 3.8:	Seqüência das atividades.....	55
Figura 3.9:	Desdobramento de atrasos nas atividades.....	57
Figura 3.10:	Desdobramento de esperas nas atividades.....	59
Figura 3.11:	Compensação de perdas – atrasos.....	60
Figura 3.12:	Compensação de perdas – esperas.....	61
Figura 3.13:	Perdas acumuladas = atrasos + esperas.....	62
Figura 3.14:	Turno diário de trabalho: 8 (oito) horas – Modelo de construção convencional.....	63
Figura 3.15:	Interligação entre o tempo de ciclo e equipes para realização da atividade em 1 (um) pavimento.....	64
Figura 3.16:	Tempo de conclusão das atividades. Produtividade ideal.....	66
Figura 3.17:	Curva normal típica.....	69
Figura 3.18:	Curva normal típica. Distribuição de probabilidade.....	71

Figura 3.19:	Curva qui-quadrado típica.....	72
Figura 3.20	Curva qui-quadrado. Graus de liberdade.....	73
Figura 5.1:	Tempo de ciclo ideal <i>Steel Deck</i>	116
Figura 5.2:	Tempo de ciclo ideal Armação.....	117
Figura 5.3:	Tempo de ciclo ideal Concretagem.....	119
Figura 5.4:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: <i>Steel Deck</i>	120
Figura 5.5:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Armação.....	123
Figura 5.6:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Concretagem.....	127
Figura 5.7:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: <i>Steel Deck</i> – Caso 01.	133
Figura 5.8:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Armação – Caso 01....	136
Figura 5.9:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Concretagem – Caso 01.....	137
Figura 5.10:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: <i>Steel Deck</i> – Caso 02.	140
Figura 5.11:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Armação – Caso 02....	141
Figura 5.12:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Concretagem – Caso 02.....	143
Figura 5.13:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: <i>Steel Deck</i> – Caso 03.	145
Figura 5.14:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Armação – Caso 03....	146
Figura 5.15:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Concretagem – Caso 03.....	147
Figura 5.16:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: <i>Steel Deck</i> – Caso 04.	149
Figura 5.17:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Armação – Caso 04....	150
Figura 5.18:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Concretagem – Caso 04.....	151
Figura 5.19:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: <i>Steel Deck</i> – Caso 05.	153
Figura 5.20	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Armação – Caso 05....	154
Figura 5.21:	Tempo de ciclo ideal x Hora de Término: Concretagem – Caso 05.....	155
Figura 5.22:	Perdas diárias (atrasos) – Caso 01.....	163
Figura 5.23:	Perdas diárias (esperas) – Caso 01.....	164
Figura 5.24:	Perdas diárias (atrasos) – Caso 02.....	165
Figura 5.25:	Perdas diárias (esperas) – Caso 02.....	165

Figura 5.26: Perdas diárias (atrasos) – Caso 03.....	166
Figura 5.27: Perdas diárias (esperas) – Caso 03.....	166
Figura 5.28: Perdas diárias (atrasos) – Caso 04.....	167
Figura 5.29: Perdas diárias (esperas) – Caso 04.....	167
Figura 5.30: Perdas diárias (atrasos) – Caso 05.....	168
Figura 5.31: Perdas diárias (esperas) – Caso 05.....	168

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1:	Cronologia dos principais argumentos utilizados para a concepção das idéias enxutas expostas no estudo.....	43
Quadro 4.1:	Tempo de Ciclo das Atividades: <i>steel deck</i> , armação e concretagem.....	74
Quadro 4.2:	Parâmetros de Distribuição.....	75
Quadro 4.3:	Identificação das células na tabela de Tempo de Ciclo das Atividades.....	76
Quadro 4.4:	Identificação das células na tabela de Parâmetros de Distribuição.....	76
Quadro 4.5:	Identificação das colunas A, B, C, D e E.....	77
Quadro 4.6:	Condição de execução do <i>steel deck</i> . Identificação das células na tabela.....	79
Quadro 4.7:	Condição de execução do <i>steel deck</i> . Identificação de Espera....	80
Quadro 4.8:	Identificação das células na tabela. Colunas H, I, J e K.....	83
Quadro 4.9:	Identificação das células na tabela. Colunas L, M, N e O.....	86
Quadro 4.10:	Dados gerados para a Atividade 1 – <i>Steel Deck</i>	90
Quadro 4.11:	Condição de execução da armação. Identificação das células na tabela.....	91
Quadro 4.12:	Condição de execução da armação. Identificação de Atraso.....	92
Quadro 4.13:	Identificação das células na tabela. Colunas R, S, T e U.....	95
Quadro 4.14:	Identificação das células na tabela. Colunas V, W, X e Y.....	98
Quadro 4.15:	Dados gerados para a Atividade 2 – Armação.....	101
Quadro 4.16:	Saldo: Atraso Acumulado total e Espera Acumulada total.....	102
Quadro 4.17:	Condição de execução da concretagem. Identificação das células na tabela.....	103
Quadro 4.18:	Condição de execução da concretagem. Identificação de Atraso.	104
Quadro 4.19:	Identificação das células na tabela. Colunas AE, AF, AG e AH....	107
Quadro 4.20:	Identificação das células na tabela. Colunas AI, AJ, AK e AL.....	110
Quadro 4.21:	Saldo: Atraso Acumulado total e Espera Acumulada total.....	114

Quadro 5.1:	Dados de referência do gráfico da Figura 5.4 – Tempo de ciclo ideal x Hora de término: <i>Steel Deck</i>	122
Quadro 5.2:	Dados de referência do gráfico da Figura 5.5 – Tempo de ciclo ideal x Hora de término: Armação.....	125
Quadro 5.3	Dados de referência do gráfico da Figura 5.6 – Tempo de ciclo ideal x Hora de término: Concretagem.....	129
Quadro 5.4:	Dados de referência do gráfico da Figura 5.7 – Caso 1.....	133
Quadro 5.5:	Dados de referência do gráfico da Figura 5.8 – Caso 1.....	135
Quadro 5.6:	Dados de referência do gráfico da Figura 5.9 – Caso 1.....	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR – Armação

CC – Concretagem

CIFE – Center for Integrated Facility Engineering

CPM – Critical Path Method

CVC – Cadeia de Valor da Construção

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NFPC – Nova Filosofia de Produção para a Construção

NVA – Non Value Added

PIB – Produto Interno Bruto

PVA – Process Value Analysis

SD – Steel Deck

VA – Value Added

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	18
1.1.	Objetivo específico.....	19
1.2.	Estrutura do trabalho.....	20
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1.	Fluxo.....	22
2.2.	O fluxo e a nova filosofia de produção para a construção.....	23
2.3.	A transição do processo construtivo.....	26
2.3.1.	<u>Redução de desperdício.....</u>	26
2.3.2.	<u>Que tipo de produção é a construção?.....</u>	27
2.3.3.	<u>Mapeamento do fluxo de valor na construção civil.....</u>	29
2.3.4.	<u>Análise do valor do processo (PVA – Process Value Analysis).....</u>	30
2.4.	Otimização.....	32
2.4.1.	<u>Identificação das atividades na construção enxuta.....</u>	33
2.5.	Variabilidade na construção.....	36
2.5.1.	<u>Simulação das atividades na construção enxuta.....</u>	37
2.5.2.	<u>Modelos de simulação.....</u>	38
2.6.	Variabilidade x confiabilidade na construção.....	40
2.7.	Fluxo de variabilidade em construção.....	41
2.8.	Desperdício e ações mitigadoras.....	42
3.	METODOLOGIA.....	46
3.1	Referencial teórico.....	46
3.1.1.	<u>Crterios de estruturação do estudo.....</u>	48
3.2	Objeto de estudo.....	54
3.2.1.	<u>Redução de desperdício.....</u>	55

3.2.2.	<u>Atrasos</u>	57
3.2.3.	<u>Esperas</u>	58
3.3.	Fluxo x tipos de perdas	59
3.3.1.	<u>Perdas Compensadas</u>	60
3.3.2.	<u>Perdas Acumuladas</u>	61
3.4.	Tempo de ciclo das atividades (<i>lead time</i>)	62
3.4.1.	<u>Limites Estabelecidos</u>	62
3.4.2.	<u>Tempo de Ciclo Ideal</u>	64
3.5.	Produtividade ideal x produtividade real	68
3.5.1.	<u>Função normal</u>	69
3.5.2.	<u>Função qui-quadrado</u>	71
4.	DESENVOLVIMENTO	74
4.1.	Critérios estabelecidos	74
4.2.	Identificação das células de <i>in put</i>	76
4.3.	Identificação das células de <i>out put</i>	78
4.3.1.	<u>Colunas G a O – linha 27 a linha 62: atividade 1 <i>steel deck</i></u>	78
4.3.1.1.	Coluna G – tempo de execução do <i>steel deck</i>	80
4.3.1.2.	Colunas H, I, J e K – hora de início, dia de início, hora de término e dia de término.....	82
4.3.1.3.	Colunas L e M – total de dias trabalhados (sem o resto), resto de 8 h.....	85
4.3.1.4.	Colunas N e O – atraso acumulado <i>steel deck</i> e espera acumulada <i>steel deck</i>	87
4.3.2.	<u>Colunas Q a Y – linha 27 a linha 62: atividade 2 armação</u>	90
4.3.2.1.	Coluna Q – tempo de execução da armação.....	92
4.3.2.2.	Colunas R, S, T e U – hora de início, dia de início, hora de término e dia de término.....	94
4.3.2.3.	Colunas V e W – total de dias trabalhados (sem o resto), resto de 8 h.....	97
4.3.2.4.	Colunas X e Y – atraso acumulado armação e espera acumulada armação.....	99
4.3.3.	<u>Colunas AA e AB – linha 27 a linha 62: atraso acumulado total e espera acumulada total</u>	102

4.3.4.	<u>Colunas AD a AL – linha 27 a linha 62: atividade 3 concretagem</u>	103
4.3.4.1.	Coluna AD – tempo de execução da concretagem.....	105
4.3.4.2.	Colunas AE, AF, AG e AH – hora de início, dia de início, hora de término e dia de término.....	107
4.3.4.3.	Colunas AI e AJ – total de dias trabalhados (sem o resto), resto de 8 h.....	109
4.3.4.4.	Colunas AK e AL – atraso acumulado concretagem e espera acumulada concretagem.....	111
4.3.5.	<u>Colunas AN e AO – linha 27 a linha 62: atraso acumulado total e espera acumulada total</u>	114
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	115
5.1.	Tempo de ciclo ideal.....	115
5.2.	Tempo de ciclo ideal x hora de término.....	119
5.2.1.	<u>Outras análises: tempo de ciclo ideal x hora de término</u>	132
5.2.2.	<u>Análises de desperdício</u>	157
5.3.	Superposição de efeitos.....	162
6.	CONCLUSÃO.....	169
6.1.	Consistência.....	170
6.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	171
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
	ANEXO A.....	177
	ANEXO B.....	178
	ANEXO C.....	181

INTRODUÇÃO

Focado na redução de desperdício, o pensamento enxuto aplicado à construção civil abrange uma série de desperdícios gerados pela execução do empreendimento. O desperdício mais comum é o desperdício de insumos, ocasionado muitas vezes pelo baixo padrão de qualidade dos materiais utilizados, assim como pela mão-de-obra não especializada, quando há registro de retrabalho.

A ocorrência deste tipo de desperdício gera ainda grande quantidade de entulho na obra, o que envolve o custo para a retirada do material descartado, ou a necessidade de se gerar espaço para armazenamento deste entulho, caso a alternativa de descarte não seja possível.

O custo gerado por este desperdício envolve ainda a variável tempo, que muitas vezes é descartada do estudo de desperdício relacionado à construção enxuta que, no entanto é valorizada quando se trata de produção enxuta.

Na produção enxuta observa-se com freqüência o Mapeamento do Fluxo de Valor, Fluxo de Informação, Fluxo de Material, por exemplo. A variável tempo dentro do conceito de fluxo é importante, pois mede quanto tempo é necessário para que uma atividade seja desenvolvida. Neste contexto percebe-se que, a exemplo do desperdício gerado com a utilização de insumos de baixa qualidade ou ocorrência de retrabalho, existe uma variável de tempo diretamente ligada ao desperdício.

Quando se produz entulho devido à baixa qualidade dos insumos, além do desperdício de material envolvido na atividade, tem-se o desperdício de tempo gerado pela preparação da atividade que não ocorreu dentro dos padrões de qualidade aceitáveis para o empreendimento. Logo, haverá necessidade de que o entulho seja retirado do local e na ocorrência de retrabalho, haverá necessidade de se refazer toda a atividade, gerando atrasos no cronograma. Ou seja, haverá desperdício material, que gerará um custo específico, haverá também um custo associado a este desperdício, por providências que deverão ser tomadas em função da atividade não ter sido concluída dentro dos padrões de qualidade estabelecidos e haverá um custo relacionado ao tempo desperdiçado na execução desta atividade, assim como na solução do problema.

O desperdício material em geral pode ser visualizado e medido em percentuais. Entretanto, como pode ser medido o desperdício de tempo?

A tarefa de se medir o desperdício de tempo depende do monitoramento de execução das atividades. Este monitoramento, na verdade, implica no acompanhamento das taxas de produtividade das atividades durante sua execução, ou seja, o tempo necessário para que cada atividade seja concluída. Ainda que não ocorra qualquer tipo de desperdício material, pode ocorrer o desperdício de tempo durante a execução de uma determinada atividade, ou conjunto de atividades simultaneamente.

Este estudo visa analisar medidas de tempo relacionadas à execução das atividades desenvolvidas dentro de um empreendimento de características definidas. Para tanto, utilizou como base a dissertação de Oliveira (2007), *Uma Metodologia de Avaliação de Concretagens de Lajes Prediais na Ótica da Construção Lean* – Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Neste estudo Oliveira (2007) estabelece as seguintes premissas:

- A edificação é predial e comercial;
- A estrutura da edificação é metálica;
- A área da plataforma de trabalho possui 1000m²;
- O gabarito é de 140 m ou 40 pavimentos, sendo 36 pavimentos tipo;
- Não será utilizado escoramento para execução das lajes.

1.1. Objetivo específico

O trabalho de Oliveira (2007) seleciona três atividades determinadas no Mapeamento do Fluxo de Valor executadas durante o processo de concretagem das lajes da superestrutura:

- Corte e montagem do *steel deck* – **Steel Deck – Atividade A1**;
- Corte e montagem de telas soldadas – **Armação – Atividade A2**;
- Concretagem das lajes – **Concretagem – Atividade A3**.

Neste estudo se observará o tempo de execução de cada atividade por pavimento relacionado ao Tempo de Ciclo Ideal pré-determinado. Serão analisadas as três atividades propostas no estudo de Oliveira (2007).

A coleta da medida de tempo de execução de cada uma das três atividades por pavimento permitirá que seja gerada uma tabela de indicadores de tempo. Esta tabela visa fornecer dados que possam caracterizar a influência de uma atividade inicial sobre a atividade posterior, onde se espera indicar a ocorrência de desperdício através da definição do desperdício de tempo caracterizado por Atrasos e Esperas.

Neste estudo será elaborada uma planilha eletrônica (Microsoft EXCEL), que tem como objetivo simular o tempo de execução das atividades acima propostas através de simulação de dados.

A elaboração desta tabela e sua análise têm como premissa a utilização dos principais conceitos atribuídos às ferramentas enxutas utilizadas na construção civil.

1.2. Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em seis capítulos e tem a seguinte estruturação:

Capítulo 1 – Introdução. Neste capítulo é apresentada a relevância do tema e justificativa para a sua escolha, bem como sua delimitação. Descreve a trajetória da Indústria da Construção Civil, e aponta um de seus direcionamentos, a Construção Enxuta.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica. Abrange pesquisa que procura delinear o estado da arte. Com o auxílio de diversos trabalhos publicados pode-se confrontar a opinião de vários autores sobre o assunto, estabelecendo um contorno para o estudo.

Capítulo 3 – Metodologia. Expõe como o estudo foi elaborado, seus critérios, referencial teórico utilizado e método de pesquisa. Compõe as principais idéias do estudo, a ordenação do raciocínio e indicação do modelo de análise.

Capítulo 4 – Desenvolvimento. Explica de que maneira foi elaborada a tabela, os critérios estabelecidos para análise, dedicando uma exposição minuciosa do funcionamento da mesma. É explicado o passo a passo da confecção da tabela.

Capítulo 5 – Análise de Resultados. Neste capítulo desenvolve-se pequena análise de possíveis resultados obtidos através de alguns exemplos de simulação através da tabela confeccionada. São elaborados gráficos que permitem a visualização do desperdício gerado após a conclusão das atividades por pavimento de maneira isolada e em conjunto.

Capítulo 6 – Conclusão. Este capítulo é destinado à conclusão do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fluxo

A utilização do fluxo em toda a gama de atividades humanas não se dá de forma fácil ou automática. Na verdade, normalmente a quantidade de esforço humano, tempo, espaço, ferramentas e estoques necessários para projetar e fornecer um determinado serviço ou bem pode ser muito rapidamente reduzida à metade e é possível manter um progresso estável a partir desse ponto, reduzindo novamente os *inputs* à metade em alguns anos (WOMACK e JONES, 2004).



Figura 2.1: Redução de *inputs* através do fluxo.

Womack e Jones (2004) descrevem três etapas para colocar em prática o fluxo de valor:

- **Primeira Etapa:** Uma vez definido o valor e identificada toda a cadeia de valor, focaliza-se o objeto real e jamais se deixa que esse objeto se perca do início à conclusão.
- **Segunda Etapa:** Ignorar as fronteiras tradicionais de tarefas, profissionais, funções, para criar um ambiente enxuto, eliminando todos os obstáculos ao fluxo contínuo do processo.
- **Terceira Etapa:** Repensar as práticas e ferramentas de trabalho específicas, a fim de eliminar os retrofluxos, sucata e paralisações de todos os tipos, a fim de que o projeto, a emissão de pedidos e a fabricação do produto específico possam prosseguir continuamente.

Na verdade, essas três etapas devem ser praticadas simultaneamente.

A visão de Womack e Jones (2004) é clara quanto ao conceito de fluxo e sua continuidade dentro de um processo produtivo. No entanto, esta concepção se enquadra adequadamente na indústria automobilística.

Neste estudo o conceito de fluxo estará ligado à indústria da construção civil e as possíveis adaptações deste processo construtivo à idéia de fluxo contínuo serão discutidas de maneira que a produtividade das atividades possa ser destacada como elemento que mostrará as falhas de adaptação do processo.

2.2. O fluxo e a nova filosofia de produção para a construção

Para Koskela (1992), a construção deve ser vista como sendo composta por fluxo de processos. Esta idéia emerge de um dos cinco princípios do Pensamento Enxuto, onde se deve fazer o valor fluir sem interrupções.

É intuitivo pensar que a construção civil possa ser sintetizada em uma idéia de fluxo contínuo, embora não se tenha conseguido gerenciá-la até agora, de forma sistemática, permitindo que esse fluxo se mantenha contínuo.

A idéia de fluxo foi apresentada por Koskela no início da década de 1990. Após este momento inicial, onde as atenções se voltaram para o cenário onde este conceito pareceu ser parte integrante da solução para os problemas de desperdício na construção civil, muito se pesquisou e desenvolveu em teoria. Contudo até pela novidade, a aplicação deste conceito ainda enfrenta muita resistência.



Figura 2.2: Cinco princípios do pensamento enxuto.

Koskela (1992) sustenta que problemas de fluxo são causados por conceitos convencionais de administração, que conflitam com os princípios de fluxo do processo e, deste modo, induzem a não otimização (do fluxo) com uma expansão das atividades que não geram valor. Isto quer dizer que se faz necessária uma reestruturação do processo construtivo. Entretanto, por cultura, por desconfiança ou mesmo despreparo, o processo construtivo em si é caracterizado pelo desperdício.

Na obra convencional, constrói-se de maneira que haja sempre um grande estoque de insumos e, geralmente, a acomodação destes se faz no canteiro onde será edificado o empreendimento. Este procedimento, em princípio, caracteriza a crítica apresentada à administração convencional, pois o estoque de insumos impede que a logística do fluxo contínuo se desenvolva, restringindo a otimização do processo construtivo como um todo (KOSKELA, 1992).

Segundo Hirota e Formoso (2003), o desafio que se apresenta para pesquisadores e profissionais da construção é o de adaptar os conceitos e princípios de origem fabril da Produção Enxuta na indústria da construção, buscando desta forma, melhor desempenho em seu processo de produção. Concluem ainda com o pensamento: há necessidade de desenvolvimento da competência gerencial dos profissionais do setor para incentivar a aplicação da teoria da Produção Enxuta nos processos da construção e, conseqüentemente, buscar a melhoria do desempenho da indústria da construção.

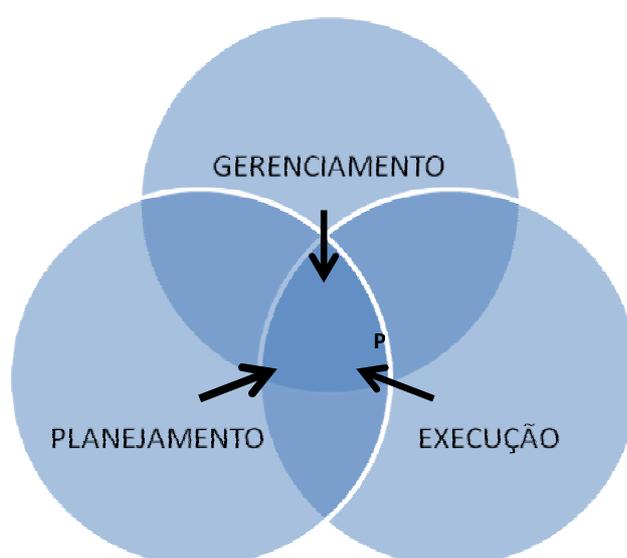


Figura 2.3: Integração do sistema: análise de perdas.

Este pensamento aparece como um primeiro passo dentro dos conceitos estabelecidos pelo pensamento *lean*, onde o desenvolvimento da competência gerencial dos profissionais do setor pode ser visto como uma mudança no pensamento da administração convencional.

Hirota e Formoso (2003) explicam da seguinte forma: Koskela deu início a estes estudos e passou a denominar essa nova abordagem como Nova Filosofia de Produção para a Construção (NFPC) e que vem a ser, enfim, uma teoria sobre o gerenciamento da construção. Ocorre que os princípios da construção enxuta, como sendo uma Nova Filosofia de Produção para a Construção, transmitem a idéia de que estes princípios estão ligados diretamente a estudos teóricos, quando o que se deseja é fazer com que sejam verificados estudos de aplicação, ou seja, sejam realizados estudos de caso que venham a comprovar esta nova filosofia.

Em um segundo momento, descrevê-la como sendo uma teoria sobre gerenciamento da construção, faz com que seja aceita e assimilada de forma mais simples, pois a associação direta às práticas de gerenciamento faz com que a aceitação por parte da indústria da construção se compare a treinamentos periódicos e cursos de especialização. Os estudos desenvolvidos, relativos à construção enxuta, são enfáticos à medida que estes afirmam a necessidade de uma mudança no processo construtivo – o que é verdade. Entretanto, a literatura ainda não apresentou exemplos de uma transição completa do processo.

Talvez a dificuldade de fazer esta transição, como sugerida por Koskela, da mudança de visão de conversão para visão de gestão de fluxo, esteja no processo em si - a palavra fluxo pode passar uma idéia positiva na prática atual da construção, na medida em que as ênfases na produtividade e na conversão fazem com que a conduta do gerente seja o de evitar ao máximo as horas paradas (KOSKELA, 1992).

Esta maneira de proceder não significa exatamente a redução de desperdício, mas pode gerar um acúmulo de atividades de maneira desordenada, o que desalinha a idéia de fluxo contínuo.

A movimentação no canteiro e a existência de estoques de materiais são indicativos de que o processo está em desenvolvimento. Na Nova Filosofia de Produção para a Construção entretanto, o fluxo é um conceito vinculado a um problema: a existência de atividades de interrupção de fluxo (inspeção, espera,

transporte) que devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, porque não agregam valor ao produto (HIROTA e FORMOSO, 2003).

Desta maneira, subentende-se que não há consenso no processo construtivo, à medida que não há uma visão única do problema. Existem duas vertentes ligadas pelo gerenciamento da construção, o modelo convencional estruturado de acordo com a visão de conversão (*input* e *output*) e o modelo de fluxo contínuo. Encontradas as dificuldades iniciais, pertinentes a todas as mudanças ocorridas na visão de qualquer processo, percebe-se que a indústria da construção civil traçou vagarosamente uma nova trajetória de modo que o foco inicial de eliminação de desperdício foi sobrepujado pela redução de custos.

2.3. A transição do processo construtivo

2.3.1. Redução de desperdício

Como explicam Howell e Ballard (1994), o ponto chave da transição do modelo construtivo para o *lean* é a redução de desperdício, focada diretamente na redução de custos.



Figura 2.4: Redução de desperdício (*muda*).

Como toda nova idéia precisa de um atrativo considerável para ser aceita, a ênfase na redução de custos realça o impacto econômico sobre o processo

construtivo, enquanto a redução de desperdício parece atender apenas a questões administrativas e ambientais – o que não é verdade.

Infelizmente, as bases do pensamento de conversão não são claramente explicadas devido a sua natureza. Estas deverão ser obtidas a partir de ferramentas, técnicas, contratos e formas organizacionais em uso. Talvez a maior ênfase no Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method* - CPM) no início e no final do planejamento exemplifique melhor a conversão da teoria na prática (HOWELL e BALLARD, 1994).

2.3.2. Que tipo de produção é a construção?

Transformar esta concepção em prática tem sido um processo lento, em virtude das perdas decorrentes da experimentação. O principal atributo pregado pela reestruturação do processo construtivo é a redução de custos, não cabendo aplicar os princípios enxutos sem se ter a certeza de que estes cumprirão a meta pretendida e causando o efeito oposto.

Entretanto, em virtude da intensa competição entre as empresas da indústria da construção civil, algumas delas se sentiram compelidas a arriscar, adotando algumas ferramentas enxutas, contudo não configurando uma transição completa do processo.

Para que esta transição avance é necessário situar a indústria da construção civil dentro do cenário das práticas de produção, uma vez que as diretrizes do pensamento enxuto têm origem na produção seriada. Para tanto Howell e Ballard (1998) fazem a seguinte indagação: “Que tipo de produção é a construção?”.

A construção é, essencialmente, a concepção e montagem de estruturas *in loco*, e conseqüentemente possui certas características de um *site* de produção, produto único e equipes temporárias (BALLARD e HOWELL, 1998b). Ou seja, comparada às práticas de produção, pode-se dizer que a Indústria da construção civil é uma indústria móvel, onde o chão-de-fábrica permanece fixo à medida que o empreendimento é concebido (durante a obra) porém, após o término da construção, este chão-de-fábrica se desloca para o próximo empreendimento (Figura 2.5).

A peculiaridade da atividade contínua, embora em site de produção móvel, não pode ser descrita como desperdício, mas no momento em que esta combinação impede o fluxo das atividades, se torna obstáculo à aplicação dos conceitos da construção enxuta.

Porque que a difusão da produção enxuta tem sido tão lenta na construção? A prática da produção enxuta tem sido desenvolvida na produção automobilística e, como tal só pode ser parcialmente aplicada ao setor da construção civil (KOSKELA 2000).

Koskela (2000) explica de forma sucinta o motivo pelo qual existem tantos obstáculos à aplicação da construção enxuta que não podem ser ignorados, pois se tratam de diferentes setores, cada qual com a sua singularidade.

Em sua visão a construção é caracterizada por suas peculiaridades como produção local e organização de projetos temporários. A aplicação da produção enxuta deverá ter início a partir de princípios, nos quais métodos adequados aplicados às peculiaridades da construção têm que ser desenvolvidos. No entanto, na falta expressa destes princípios, esta tem avançado lentamente (KOSKELA, 2000).

Uma das maneiras de se aplicar “princípios” à construção enxuta é mapear as atividades do processo construtivo como sendo fluxo de trabalho, onde a visão deste tipo de seqüenciamento facilita a elaboração de uma cadeia de valor da construção (CVC).



Figura 2.5: Características: Indústria da construção x indústria automobilística.

2.3.3. Mapeamento do fluxo de valor na construção civil

A identificação da cadeia de valor da construção é aliada da redução de desperdício, com o objetivo de maior competitividade empresarial na construção. Reunir os conceitos enxutos ao redor desta competitividade tem sido a maneira encontrada pelos pesquisadores de envolver construtores no processo enxuto, de modo que a aplicação das práticas enxutas possa ser adotada em maior volume na construção.

A determinação da cadeia de valor da construção é representada pelo mapeamento do fluxo de valor na construção civil, onde é possível identificar todas as atividades e o modo como se comportam no processo construtivo.

O mapeamento do fluxo de valor revela os fluxos de trabalho, material e informação lado a lado. Ele revela desperdício de tempo para executar o ciclo (tempo) para cada operação e o tempo total do processo. O desperdício de recursos tais como materiais, equipamentos e espaços são mais fáceis de reconhecer do que desperdício de tempo, que está oculto entre ações e movimentos desnecessários (DUGGAN,2002).

Aos poucos os princípios enxutos são observados quando se compara o modelo atual de gerenciamento da construção com a proposta de construção enxuta. A proposta enxuta não enfoca somente o desperdício tátil, visual, onde se pode constatar quantitativamente o desperdício de insumos, mas analisa a questão do desperdício do tempo, o qual, em um primeiro momento não se consegue medir de forma global.

Possíveis razões para a adoção lenta do mapeamento do fluxo de valor na construção podem ser relatadas como as dificuldades em definir listas e prognósticos de produção, bem como as dificuldades em determinar as aplicações para conceitos/elementos-chave, usados no mapeamento de fluxo de valor. A dificuldade em representar alguns processos de construção e seus *outputs* revela a complexidade da indústria e a necessidade de uma linguagem que pode ser entendida pelos construtores (ALVES et al., 2005).

O mapeamento do fluxo de valor avança como ferramenta enxuta à medida que é entendido também como uma ferramenta de gerenciamento da construção, onde o mapeamento do tempo necessário para se completar uma atividade é

monitorado e quantificado ou seja, o tempo de ciclo é medido, não apenas como uma unidade de tempo, mas como unidade de valor. Duggan (2002) procura sintetizar esta idéia, onde o tempo total do processo é comparado ao tempo de ciclo total para distribuir um produto. O resultado mostra que é desperdiçado mais tempo para distribuir o produto que o tempo usado para fabricá-lo.

Identificar a cadeia de valor da construção e o mapeamento do fluxo de valor na construção civil depende primeiramente da identificação das atividades e análise de valor que estas agregam ao processo. De acordo com Oliveira (2007) a análise do valor dos processos é parte integrante de qualquer metodologia para a análise dos processos empresariais, porque tem como principais objetivos a identificação das atividades com valor agregado (VA) e as atividades sem valor agregado (NVA), com a depuração dos processos internos da empresa e, conseqüentemente, a melhoria do desempenho desses processos. As atividades de análise do valor do processo (PVA) são uma abordagem sistemática que visa ao entendimento dos processos de manufatura e à melhoria destes.

2.3.4. Análise do valor do processo (PVA – Process Value Analysis)

Beischel (1990) propõe sete procedimentos para a análise do valor do processo (PVA) dos quais os quatro procedimentos focados nos processos operacionais são comentados por Oliveira (2007):

- **Procedimento 1 : Elaboração de diagramas de fluxo**

O objetivo desses diagramas é proporcionar uma imagem visual de como o produto/serviço, ou a matéria-prima se movimenta pelo local, onde os trabalhos são realizados. Nessa oportunidade, também devem ser registrados o tempo médio em que cada parte do produto/serviço ou matéria-prima permanece em cada etapa do processo, que servirá de base para a obtenção das durações (tempos de operação) do ciclo das atividades que compõem o processo produtivo.

- **Procedimento 2 : Definição das atividades que são VA ou NVA**

Sob a ótica do conceito de valor agregado, atividades com valor agregado (VA – *Value Added*) são aquelas em que os clientes estão dispostos a pagar por elas, e as atividades sem valor agregado (NVA – *Non Value Added*) são aquelas que, se eliminadas dos processos, não prejudicam o funcionamento da organização e aquelas que não são percebidas pelos clientes/consumidores. Acontece que, sob essa ótica, a engenharia pode estar empenhada somente na redução de custos da mão-de-obra direta, na automação e no aumento da velocidade das atividades de conversão, que são melhorias que almejam as atividades que nitidamente são classificadas como atividades com valor agregado (VA). Por outro lado, as atividades indiretas, como de apoio, melhoria da qualidade e outras, que não são claramente percebidas pelos clientes, mas que contribuem com o funcionamento da organização e portanto, não podem ser eliminadas, são ignoradas pelos programas de melhoria ou pela atenção dos gerentes e podem estar sendo executadas de forma ineficaz. Assim, o conceito de valor agregado pode ser substituído ou entendido, segundo Kaplan e Cooper (1998) apud Oliveira (2007), por um conceito muito mais robusto: (...) *as oportunidades de redução de custo e melhoria do processo*. Desta forma admite-se que, mesmo depois que todas as atividades sem valor agregado (NVA) fossem eliminadas dos processos, as oportunidades de redução de custos ainda continuariam com a melhoria do desempenho das atividades com valor agregado (VA).

Além da classificação das atividades sob a ótica exclusiva dos clientes externos, Kaplan e Cooper (1998) apud Oliveira (2007), sugerem a classificação das atividades em quatro outras categorias, em relação ao valor agregado:

- i. Uma atividade necessária à fabricação do produto ou melhoria do processo* – a atividade não pode ser melhorada, simplificada ou ter seu escopo reduzido nessa etapa. (VA+);
- ii. Uma atividade necessária à fabricação do produto ou melhoria do processo* - a atividade pode ser melhorada, simplificada ou ter seu escopo reduzido. (VA-);

iii. **Uma atividade desnecessária à fabricação do produto ou melhoria do processo** – a atividade pode acabar sendo eliminada por meio da modificação do processo ou procedimentos da empresa. (NVA-); e

iv. **Uma atividade desnecessária à fabricação do produto ou melhoria do processo** – a atividade pode ser eliminada a curto prazo, por meio de modificação do processo ou procedimentos da empresa. (NVA+).

- **Procedimento 3 : Identificar as causas raíz**

O principal objetivo deste procedimento é identificar a causa fundamental da existência de cada atividade, ou seja, o motivo da realização de cada atividade no processo da empresa.

- **Procedimento 7 : Identificação das alternativas e desenvolvimento de planos de ação.**

O último procedimento proposto por esta análise refere-se à identificação das alternativas e à sugestão de planos de ação que visem à melhoria e a redução dos custos dos processos, sem reduzir a satisfação dos clientes.

Há ainda três procedimentos, os de número 4,5 e 6, que não foram mencionados no texto pois são relativos à aplicação de custos. Sejam eles:

- **Procedimento 4 : Aplicação dos custos dos departamentos às atividades do processo de fabricação.**

- **Procedimento 5 : Aplicação dos custos aos produtos.**

- **Procedimento 6 : Resumir os processos e custos da fabricação para a administração.**

2.4. Otimização

As perdas materiais estão estritamente ligadas à qualidade dos materiais, a técnica de utilização e manuseio do mesmo. As perdas de tempo estão ligadas à

produtividade da mão-de-obra, equipamentos empregados e a otimização dos mesmos (OLIVEIRA,2007). Interpretar unidades de tempo como unidades de valor através do mapeamento do fluxo de valor é um modo de quantificar o desperdício e, portanto, um caminho para reduzi-lo ou eliminá-lo. Em um estudo de caso para aplicação dos conceitos enxutos na fabricação de concreto pré-moldado, Ballard et al.(2003) descreve parte do sucesso do estudo: “a chave da mudança estava em aprender a identificar e utilizar o fluxo de trabalho como oposto de administrar focando o esforço em manter trabalhadores e canteiro ocupados”.

Reduzir o tempo do processo para reestruturar a ordem da produção pode conceder mais tempo para exploração, teste de projeto e alternativas de engenharia, redução da duração do projeto ou alguma combinação de ambos (BALLARD et al., 2003). Os autores focam a primeira idéia não só como a redução de custos, mas abordam também tópicos como exploração ou teste do projeto. Desta maneira é possível entender que, além desta preocupação em reduzir desperdício, existe a preocupação em se melhorar o projeto, otimizando-o.

A otimização do projeto além de ser uma maneira de se reduzir custos, favorece as práticas de gerenciamento à medida que contempla uma visão mais detalhada do processo. Ao otimizar o projeto trata-se diretamente com a variável tempo e esta variável está contemplada de várias maneiras na idéia da construção enxuta.

2.4.1. Identificação das atividades na construção enxuta

Além da idéia de tempo de ciclo e tempo total do processo, Koskela enfatiza outras diretrizes características da construção enxuta, onde observa a construção como não sendo única e sugere ações que podem levar à redução de sua singularidade, padronização dos componentes, utilização de modularização e pré-fabricação, uso de equipes permanentes, etc. (KOSKELA, 1998).

Para Azevedo et al.(2007) alguns projetos de construção possuem características enxutas determinadas, em princípio, na identificação das suas atividades. Após identificar todas as atividades, são estabelecidos os módulos de

repetição: isto quer dizer que serão verificados todos os trechos de execução da obra onde as atividades se repetirão igualmente.

Em seguida são determinados os módulos de tempo nos quais as atividades inseridas nos módulos de repetição devem ser executadas. Cada atividade é estudada de forma a calcular o tempo real necessário para sua execução, isso criará frentes de trabalho específicas e cada frente de trabalho possuirá uma equipe associada a ela.

Esta idéia, módulo x tempo x equipe é a concepção que possibilitará a organização de um fluxograma das atividades na obra, onde o balanceamento entre estas atividades é essencial para que a seqüência estabelecida pelo procedimento *lean* possa medir e reduzir ao máximo as ocorrências de retrabalhos e esperas (AZEVEDO et al., 2007).

Azevedo et al.(2007) propõe que as atividades na construção de determinado tipo de empreendimento sejam “modularizadas”, pois desta forma pode ser medido o tempo de ciclo de cada atividade, determinando para cada módulo uma equipe que executará a frente de serviço. Este procedimento visa diminuir o grau de incerteza inerente à construção civil.

Azevedo sugere que a construção modular, como no caso de construção em estruturas metálicas e elementos de concreto pré-fabricado, cria um ambiente mais favorável a aplicação dos conceitos enxutos de construção, onde as variações e oscilações do projeto serão determinadas inicialmente pelo tempo de execução das atividades.

Ballard e Howell (1998) chamam de "construção" um espectro que abrange uma variação de execução lenta, segura, e com projetos simples de execução rápida, até uma variação de execução incerta e de projetos complexos.

Para o primeiro caso, uma aplicação de estratégia de produção seria apropriada, ou seja, construir num enfoque de fabricação, através de iniciativas de padronização, diminuindo a variação de execução do empreendimento. Para combater a variação de execução do projeto complexo (segundo caso) no entanto, uma estratégia de produção é insuficiente. Deve-se aprender a gerir incerteza, complexidade e rapidez, interiormente às condições características de um *site* de produção na construção, condições de produção local, produto único, e organização temporária (BALLARD e HOWELL, 1998).

Ballard e Howell (1998) não generalizam a utilização de ferramentas *lean*, mas enfocam que é necessário aprender a gerir incerteza e ter domínio sobre o planejamento do empreendimento.

Nazareno et al.(2003) definem para análise de custos de um empreendimento cinco fases: (1) definir as atividades; (2) analisar o valor do processo; (3) determinar os tempos de ciclo; (4) estimar o custo para cada atividade; e (5) analisar o modelo elaborado juntamente com o mapa do fluxo de valor.

As atividades definidas de forma demasiado estrita ou com excesso de detalhes podem dificultar a análise global, sem acrescentar informações úteis. Por outro lado, as atividades definidas de forma ampla demais deixam de revelar oportunidades para melhoramentos. Com isso, uma abordagem para identificar o nível adequado de definição de atividades permite especificar as atividades no nível de detalhe que seja mais útil para a realização de uma análise de valor do processo (NAZARENO et al., 2003).

Azevedo et al. (2007) e Nazareno et al.(2003) concordam que o modo mais simples de se determinar inicialmente a aplicabilidade dos princípios enxutos a um determinado empreendimento é discriminando as atividades: pois uma vez identificadas, analisa-se a que ponto os princípios da construção enxuta irão afetar o empreendimento de forma a reduzir ou eliminar o desperdício.

Uma vez selecionado um processo para análise e identificadas suas atividades, o próximo passo é colher dados sobre o tempo de ciclo. O tempo de ciclo do processo é o tempo necessário à conclusão de todo o processo. A sua análise é normalmente realizada por meio do acompanhamento do trabalho das atividades exigidas no processo (NAZARENO et al., 2003).

Para Azevedo et al.(2007), assim como Nazareno et al.(2003), as idéias de Koskela são desdobradas ou complementadas, à medida que em sua visão a padronização dos componentes, utilização de modularização e pre-fabricação são elementos fundamentais para uma primeira análise da construção enxuta.

De acordo com Oliveira (2007), se houver alguma fidelidade na relação interna (mão-de-obra própria) e externa (mão-de-obra contratada – empreiteiros), assim como a diminuição da variabilidade com as medidas de padronização e controle, deverá ocorrer a redução do tempo dos ciclos. A variabilidade pode ser reduzida à medida que, mesmo se tratando de projetos únicos, houver a padronização de procedimentos tanto de execução como de controle. A padronização requer

treinamento de mão-de-obra da frente de trabalho bem como do *staff* de gerenciamento e controle.

2.5. Variabilidade na construção

Embora algumas premissas sobre a aplicação do pensamento enxuto na construção tenham sido estabelecidas, percebe-se a dificuldade na aplicação destes conceitos.

Picchi (2003) sintetiza explicando que, enquanto na manufatura já são observados casos de empresas adotando o *lean thinking* como modelo de produção, ou até mesmo de negócio, não se observam ainda na construção aplicações mais amplas e integradas. O *lean thinking* é uma complexa combinação de filosofia, sistema e ferramentas, e a má compreensão desta combinação, focando exclusivamente em ferramentas isoladas, é uma das razões mais freqüentes de implementações parciais e com resultados limitados.

Além disso, vale ressaltar que a simples aplicação de técnicas enxutas em partes isoladas da empresa tem gerado resultados distorcidos, embora o mundo da manufatura já tenha diversas experiências com a produção enxuta. Daí advém a importância de se considerar alguns dos princípios do pensamento enxuto antes de partir para a aplicação de técnicas isoladas, adequando-se à situação particular de cada empresa e superando as dificuldades de implementação das mesmas (NAZARENO et al., 2003).

Porque é que devemos pensar apenas nestes princípios que devem ser adotados? Em princípio, várias justificativas podem ser usadas. No entanto, se a pergunta é sobre uma idéia ou prática existente, uma maneira natural de procurar uma justificativa para a simulação é partir de onde o avanço da idéia ou prática aconteceu (KOSKELA, 2004b).

Koskela tem uma visão global do problema por entender que a construção enxuta necessita ser aplicada na prática para que sejam identificados eventuais erros de concepção, ou um engano enquanto elaboração das técnicas de aplicação. Outra preocupação do autor refere-se à variabilidade no processo construtivo.

A variabilidade deve ser medida e a sua redução é um dos focos do processo de melhoria contínua (KOSKELA, 1992). De acordo com Alves (2000) apud Howell e Ballard (1996), visando à redução de variabilidade, os gerentes devem antecipar-se ao que será executado e acompanhar como está o andamento do fluxo de materiais, desenhos, especificações, equipamentos e mão-de-obra, como uma forma de garantir a disponibilidade desses recursos para a realização das tarefas planejadas no decorrer do tempo. Além disso, no processo de tomada de decisão, esses autores afirmam que os problemas devem ser avaliados confrontando-se a capacidade de produção das equipes com os objetivos e prazos a serem alcançados, para que as decisões possam ser tomadas com base em estimativas da capacidade produtiva e fluxos de recursos; e, por fim, o planejamento deve estabelecer diretrizes que garantam a execução das atividades.

2.5.1. Simulação das atividades na construção enxuta

Uma das maneiras de se verificar a colocação de Howell e Ballard é a simulação da execução das atividades através de planilhas eletrônicas, onde antecede-se as situações ocorridas no empreendimento a fim de estudar o processo de execução das atividades.

Estudar a execução das atividades requer analisar o processo construtivo como inserido em uma cadeia de suprimentos, onde o fluxo de valor poderá ser mapeado e as possíveis interrupções ao fluxo contínuo podem ser inseridas no modelo de fluxo ideal. Pode-se estabelecer a meta ideal de fluxo e simular, a partir dos dados disponíveis de desperdício, a interrupção.

A interpretação dos dados contudo, dependerá de que modo está sendo analisado o problema pois, mais que simular o desperdício, visa-se a aferição de dados que permitam gerenciar os problemas de desperdício.

Enquanto as ferramentas de simulação e suas representações gráficas do processo são efetivas na modelagem das interações dinâmicas na cadeia de suprimentos, elas não são amplamente compreendidas pelos construtores. As operações de pesquisa de símbolos são fáceis de interpretar, mas não mostram a transparência como processo e suas informações associadas de fluxo direto ao

sistema de produção ou cadeia de suprimentos (ALVES et al., 2005). Geralmente, estes estudos utilizaram a simulação como uma ferramenta para avaliar o impacto de se implementar certos princípios a processos relativamente complexos.

Pode-se argumentar que, a aplicação de princípios enxutos para processos simples não é tão efetivo quanto nos processos complexos. Tendo dito que o objetivo primário deste estudo é buscar uma resposta para a seguinte pergunta: as características do processo influenciam na aplicação da construção enxuta? (AL-SUDAIRI, 2007).

Al-Sudairi discute que, no cenário atual, a aplicação dos conceitos de construção enxuta é demasiado complexa e investiga se realmente as características da construção favorecem a aplicabilidade dos conceitos enxutos de produção.

2.5.2. Modelos de simulação

Para permitir a compreensão da aplicação de concepção enxuta na construção, foram criados modelos de simulação. Os modelos de simulação se tornaram uma ferramenta de experimentação onde os princípios enxutos foram introduzidos para avaliar o impactos destes em processos mais simples (AL-SUDAIRI, 2007).

Em atividades pouco complexas fica mais fácil estudar os efeitos da aplicação da construção enxuta, de modo que os modelos são dispostos de maneira a que o tempo de ciclo seja medido com maior facilidade. Al-Sudairi (2007) descreve a tentativa de simular o processo a partir de um estudo de caso:

Construir o modelo inicial de simulação como é, requereu dados de duração e mapa do processo. É considerado inicial porque ainda não é verificado e validado. A verificação do modelo requer que o modelo não contenha erros lógicos e opere como esperado. Por outro lado, os meios de validação do modelo refletem o modelo do sistema atual. O modelo inicial passou por várias repetições. Foram introduzidos princípios enxutos no modelo, conduzindo a um modelo novo que foi chamado de modelo enxuto. Resultados de ambos foram comparados mutuamente com modelos enxutos para avaliar a potencialidade de princípios enxutos (AL-SUDAIRI, 2003).

Os modelos de Al-Sudairi (2007) foram criados baseados no tempo de ciclo das atividades e este parâmetro serviu de base para comparação dos resultados

obtidos entre o modelo inicial e o modelo enxuto. O propósito do mapeamento do processo é o de: identificar atividades, decisões, filas e recursos requeridos; clarear a seqüência do processo e lógica; e buscar oportunidades para melhorias (DAMELIO, 1996, HINES e RICH, 1997 apud AL-SUDAIRI, 2007).

Assim como Azevedo et al. (2007), Nazareno et al. (2003), Al-Sudairi (2007) mapeia a Cadeia Construtiva através da determinação das atividades e seus tempos de ciclo, identificando o comportamento do processo. Faz ainda um comparativo entre um modelo inicial e um modelo enxuto, onde a partir destes traça uma estratégia que interpretará os resultados obtidos.

Ambos os modelos de simulação permitem a avaliação dos princípios enxutos e medem o impacto deles nos processos estudados. Isto é realizado comparando tempo de ciclo e eficiência de ambos os modelos, o modelo inicial e o modelo enxuto (AL-SUDAIRI, 2007).

Back e Bell (1994) apud Al-Sudairi (2007) discutem as premissas da elaboração dos modelos:

- O que deve ser terminado antes que a atividade possa começar?
- Esta atividade pode acontecer simultaneamente com qualquer outra?
- Que recursos são exigidos para executar esta atividade?
- Quais são as distribuições destes processos?
- Como as distribuições são transmitidas internamente e externamente?
- Com que freqüência deve ser refeita certa atividade?
- Quanto tempo leva para terminar uma atividade?

Na verdade, criar um modelo enxuto de estudo significa não somente aplicar os princípios enxutos a parâmetros de construção, mas interpretar o que os resultados obtidos significam. Deles se extraem a medida do desperdício gerado durante a execução das atividades.

As premissas estabelecidas, como o momento anterior e posterior à execução das atividades determinarão o estado geral da modelagem. Os dados de entrada são submetidos ao estágio de refinamento que se quer chegar, isto quer dizer que, a leitura correta dos dados obtidos, permite uma conclusão de acordo com o ambiente a que foi submetido à modelagem e ao grau de incerteza (variabilidade) determinado na elaboração do conjunto.

2.6. Variabilidade x confiabilidade na construção

Variabilidade se assemelha ao oposto da confiabilidade. Quanto maior for a confiabilidade de um sistema, menor é a variabilidade presente no sistema.

A variabilidade está fortemente associada com aleatoriedade. Para entender as causas e efeitos da variabilidade, o mais importante é compreender a complexa relação entre aleatoriedade e probabilidade (HOPP e SPEARMAN, 2000).

A modelagem das atividades envolve diretamente os conceitos de fluxo na construção logo, modelar um sistema de atividades com a menor expectativa possível de variabilidade, significa dizer que este sistema está mais próximo da perfeição. Quanto menor a variabilidade, mais efetivo e eficiente é o sistema: o oposto também é válido.

Desta forma Hendrickson (2003) apud Oliveira (2007), propõe elaborar uma tabela de duração e precedência para as tarefas envolvidas na atividade com a estimativa de suas respectivas durações.

Arbulu e Ballard (2004) propõem um estudo onde são descritas as seguintes situações:

- **Primeiro Cenário - suprimentos e demanda são 100% confiáveis:** cenário utópico;
- **Segundo Cenário- suprimento confiável e demanda variável:** o segundo cenário assume que os suprimentos são 100% confiáveis. Uma consequência deste cenário poderá ser o acúmulo de materiais no local de trabalho.
- **Terceiro Cenário – suprimento e demanda variáveis:** o cenário três é o mais próximo da realidade em construção, contudo, ele é muitas vezes simplificado e pode não levar em conta, por exemplo, diferentes fontes de variabilidade da demanda e como a complexidade da cadeia de suprimentos vai impactar no custo, prazo, qualidade e segurança.

Variabilidade é o atributo de não-uniformidade de uma classe de entidades (HOPP e SPEARMAN, 2001, apud KRAEMER, 2005).

Ocorre variabilidade em todos os sistemas de produção e esta tem um grande impacto no desempenho. É importante compreender e gerir variabilidade. Na

produção, existem dois tipos de variabilidade: fluxo de processo e tempo. O tempo de processo refere-se à variabilidade do tempo de trabalho de uma estação de trabalho em que pequenas flutuações no tempo, devido às diferenças de operadores, equipamentos e materiais são causas naturais. Há ainda ciclos randômicos, cortes na produção, ajustes e disponibilidade dos trabalhadores (HOPP e SPEARMAN, 2001, apud KRAEMER, 2005).

2.7. Fluxo de Variabilidade em construção

O fluxo de variabilidade na construção refere-se à variabilidade causada pelo processo contínuo e é alimentado por diversas atividades em diferentes fatores de produção (unidade especializada de trabalhadores) e em locais diferentes (pisos). Como resultado da variabilidade a produção será penalizada com: aumento do tempo de execução e excesso de trabalho em andamento, desperdício de capacidade ou rendimento perdido (KRAEMER, 2005).

O gerenciamento do fluxo de variabilidade é administrado por meio das simulações de execução de determinada atividade através do modelo pré-estabelecido. Os dados são coletados e inseridos na modelagem, desta maneira podem se observar as variações do fluxo de acordo com o grau de incerteza que se quer gerar. Ou seja, independente dos dados serem factíveis, pode-se variar o fluxo de modo a que o resultado obtido seja considerado como semelhante a um acontecimento eventual.



Figura 2.6: Eliminação de desperdício: dependente direto da relação entre confiabilidade x variabilidade.

2.8. Desperdício e ações mitigadoras

A tarefa de se eliminar o desperdício exige cautela. É necessário o mapeamento do fluxo de valor da construção de modo a que o resultado final obtido não seja pontual, ou tão disperso que não se observe de fato a redução de desperdício.

Na visão de Rother e Shook (1999), programas de *Kaisen* podem redundar em resultados desapontadores tornando-se outro programa abandonado, logo a ser seguido por uma ofensiva do tipo “eliminação de gargalos” (baseado na teoria das restrições) ou uma iniciativa “Seis Sigma” (focalizado nos problemas de qualidade mais visíveis de uma empresa). Para os autores, isto produz o mesmo resultado: vitórias isoladas contra o desperdício, algumas delas bastante impressionantes, mas fracasso na melhoria do todo.

O fluxo de variabilidade na construção pode ser medido quando se entende que ações isoladas contribuem com o desperdício. O pensamento enxuto identifica sete tipos de desperdício: espera, superprodução, transporte, processamento, estoque, movimentação, correção.

O tipo de desperdício identificado como espera foi proposto como causa raiz deste estudo, o que permite uma melhor avaliação do problema e a solução adequada para combatê-lo.

O processo de identificar atividades desperdício não é uma tarefa fácil. O grande número de parâmetros e processos diferentes pode causar desperdício direto em determinadas atividades escondido em outras atividades (RAWABDEH, 2005).

Rawabdeh (2005) considera ainda que ao fazer intervenções para eliminar um tipo de desperdício, pode se resultar em outro desperdício diferente, afetando a atividade negativamente.

Para Tommelein (1997) os processos construtivos são notoriamente difíceis de planejar e controlar porque estão “infestados” por numerosas incertezas. As atividades, porém, podem ser modeladas de maneira que fiquem explícitos os recursos a serem utilizados para eliminá-las.

Uma atividade requer recursos de *inputs*, onde no início da atividade empenha-se no tipo de recurso utilizado durante a execução da atividade e *outputs*,

onde estes mesmos ou outros recursos são utilizados no final da execução da atividade (TOMMELEIN, 1997).

Tommelein (1997) divide as incertezas em seis classes: escopo do trabalho, duração e tempo de ciclo, quantidade, qualidade, recursos da tarefa, fluxo do caminho e seqüenciamento.

Para a maioria dos autores existe o consenso quanto à necessidade de se eliminar o desperdício. Neste estudo foca-se a variável tempo como objeto a ser trabalhado de modo que o desperdício seja focado nesta causa raiz, entretanto, a redução de desperdício é permeada pela desastrosa aplicação isolada das ferramentas enxutas na redução de desperdício.

Em algumas instancias houve evidencias de aplicações discretas do pensamento enxuto na cadeia de suprimentos que causaram dificuldades que atrasaram a entrega do projeto. Em outras áreas, práticas que aparentavam ser vantajosas com o pensamento enxuto inibiram o andamento dos projetos, diferente do que deveria ter sido (FEARNE e FOWLER, 2006).

Alguns estudos de caso têm delineado que o pensamento enxuto aplicado isoladamente no processo construtivo torna-se danoso, pois trava o processo, amarrando restrições à execução das atividades, causando esperas ou superprodução, ou seja, desperdício.

Desta maneira, se faz necessário estabelecer critérios quanto à utilização das ferramentas enxutas, seja na fase de planejamento, seja durante o gerenciamento do empreendimento, de modo que a adoção destas ferramentas não venha a prejudicar o desenvolvimento do empreendimento.

Este estudo se baseia em alguns conceitos da construção enxuta. Abaixo segue quadro cronológico dos principais argumentos utilizados para a concepção das idéias expostas (Anexo B).

ANO	AUTOR	TÍTULO	FOCO DO ESTUDO
1992	KOSKELA	APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION.	APRESENTAÇÃO DOS PRINCIPAIS ARGUMENTOS QUE VISAM ESTABELECEER A ASSOCIAÇÃO DE UM PADRÃO DE ATIVIDADES EXISTENTES NO PROCESSO CONSTRUTIVO. ESTUDO SEMINAL DO TEMA
		<i>APLICAÇÃO DA NOVA FILOSOFIA DE PRODUÇÃO À CONSTRUÇÃO.</i>	
1994	HOWELL / BALLARD	LEAN PRODUCTION THEORY: MOVING BEYOND CAN-DO.	DESENVOLVIMENTO DA TEORIA DA CONSTRUÇÃO ENXUTA. EVOLUÇÃO DO TEMA

		TEORIA DA PRODUÇÃO ENXUTA: MOVENDO ALÉM DO PODER FAZER.	
1997	TOMMELEIN	DISCRETE EVENT SIMULATION OF LEAN CONSTRUCTION PROCESSES. <i>SIMULAÇÃO DE EVENTO DISCRETO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO ENXUTA.</i>	INÍCIO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DAS ATIVIDADES DA CADEIA CONSTRUTIVA, ANÁLISE DE CADEIAS PRODUTIVAS NA CONSTRUÇÃO. INSERÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS AO PROCESSO
1998	BALLARD / HOWELL	WHAT KIND OF PRODUCTION IS CONSTRUCTION? <i>QUE TIPO DE PRODUÇÃO É A CONSTRUÇÃO?</i>	ESTUDO DO PROCESSO CONSTRUTIVO ATRAVÉS DAS TEORIAS DE PRODUÇÃO
1999	KOSKELA	WE NEED A THEORY OF CONSTRUCTION. <i>NÓS PRECISAMOS DE UMA TEORIA DE CONSTRUÇÃO.</i>	DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS FUNDAMENTAIS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA, SEUS PRINCÍPIOS BÁSICOS E DIRETRIZES
1999	BEISCHEL	IMPROVING PRODUCTION WITH PROCESS VALUE ANALYSIS. <i>MELHORANDO A PRODUÇÃO COM ANÁLISE DE PROCESSO DE VALOR.</i>	ANÁLISE DAS CADEIAS DE VALOR E MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO
2000	ALVES	<i>DIRETRIZES PARA A GESTÃO DOS FLUXOS FÍSICOS EM CANTEIROS DE OBRAS: PROPOSTA BASEADA EM ESTUDOS DE CASO.</i>	ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS ENXUTAS AO GERENCIAMENTO DO PROCESSO CONSTRUTIVO. ESTUDO DE CASO PARA VERIFICAÇÃO DO USO DE FERRAMENTAS ENXUTAS
2002	ROTHER / SHOOK	LEARNING TO SEE VALUE STREAM MAPPING TO CREATE VALUE AND ELIMINATE WASTE. <i>APRENDENDO A ENXERGAR: MAPEANDO O FLUXO DE VALOR PARA AGREGAR VALOR E ELIMINAR O DESPÉDICO.</i>	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR NA CADEIA CONSTRUTIVA
2002	DUGGAN	CREATING MIXED MODEL VALUE STREAMS: PRACTICAL LEAN TECHNIQUES FOR BUILDING TO DEMAND. <i>CRIANDO UM MODELO MISTO DE CADEIAS DE VALOR: TÉCNICAS PRÁTICAS ENXUTAS PARA DEMANDA DA CONSTRUÇÃO.</i>	UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN – ANÁLISE DE MODELO DE UM MODELO CONSTRUTIVO MISTO
2003	PICCHI	<i>OPORTUNIDADES DA APLICAÇÃO DO LEAN THINKING NA CONSTRUÇÃO.</i>	APLICABILIDADE DE FERRAMENTAS LEAN NA CONSTRUÇÃO CIVIL
2003	BALLARD / HARPER / ZABELLE	LEARNING TO SEE WORK FLOW: AN APPLICATION OF LEAN CONCEPTS TO PRECAST CONCRETE FABRICATION. <i>APRENDENDO A ENXERGAR O FLUXO DE TRABALHO: UMA APLICAÇÃO DE CONCEITOS LEAN PARA FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO.</i>	APLICAÇÃO DE CONCEITOS LEAN PARA FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO
2003	NAZARENO / RENTES / SILVA	<i>IMPLANTANDO TÉCNICAS E CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA INTEGRADAS À DIMENSÃO DE ANÁLISE DE CUSTOS.</i>	ANÁLISE DE CUSTOS ATRAVÉS DE CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA
2003	HIROTA / FORMOSO	<i>O PROCESSO DE APRENDIZAGEM NA TRANSFERÊNCIA DOS CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA A CONSTRUÇÃO.</i>	TRANSIÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA CONSTRUÇÃO ENXUTA
2004	WOMACK / JONES	A MENTALIDADE ENXUTA NAS EMPRESAS.	INTRODUÇÃO DA MENTALIDADE ENXUTA NAS EMPRESAS

2004	KOSKELA	MOVING-ON – BEYOND LEAN THINKING.	EVOLUÇÃO DO ESTUDO SOBRE A CONSTRUÇÃO ENXUTA
		MUDANDO – ALÉM DO PENSAMENTO ENXUTO.	
2004	AL-SUDAIRI	SIMULATION AS AN AID TOOL TO THE BEST UTILIZATION OF LEAN PRINCIPLES.	USO DA SIMULAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO MELHOR APROVEITAMENTO DOS PRINCÍPIOS LEAN NA CONSTRUÇÃO. MODELAGEM COMPUTACIONAL DE ATIVIDADES LEAN NA CONSTRUÇÃO
		SIMULAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO MELHOR APROVEITAMENTO DOS PRINCÍPIOS LEAN.	
2004	ARBULU / BALLARD	LEAN SUPPLY SYSTEMS IN CONSTRUCTION.	USO DE SISTEMAS DE SUPRIMENTO ENXUTOS NA CONSTRUÇÃO
		SISTEMAS DE SUPRIMENTO ENXUTOS NA CONSTRUÇÃO.	
2005	ALVES / TOMMELEIN / BALLARD	VALUE STREAM MAPPING FOR MAKE-TO ORDER PRODUCTS IN A JOB SHOP ENVIROMENT.	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR NA CONSTRUÇÃO
		MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR PARA A ENCOMENDA DE PRODUTOS EM UM AMBIENTE DE TRABALHO.	
2005	RAWABDEH	A MODEL FOR THE ASSESMENT OF WASTE IN JOB SHOP ENVIROMENTS.	SIMULAÇÃO DE DESPERDÍCIO EM AMBIENTES LEAN
		UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DE DESPERDÍCIO EM AMBIENTES DE LOJA DE TRABALHO.	
2006	FEARNE / FOWLER	EFFICIENCY VERSUS EFFECTIVENESS IN CONSTRUCTION SUPPLY CHAINS: DANGER OF LEAN THINKING IN ISOLATION.	OS EFEITOS NEGATIVOS DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN
		EFICIÊNCIA VERSUS EFETIVIDADE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CONSTRUÇÃO: O PERIGO DO PENSAMENTO ENXUTO EM ISOLADO.	
2006	KRAEMER / HENRICH / KOSKELA / KAGIOGLOU	HOW CONSTRUCTION FLOWS HAVE BEEN UNDERSTOOD IN LEAN.	ANÁLISE DO FLUXO DA CONSTRUÇÃO NA ÓTICA LEAN
		COMO O FLUXO DA CONSTRUÇÃO PODE SER ENTENDIDO NO LEAN.	
2007	AL-SUDAIRI	EVALUATING THE EFFECT OF CONSTRUCTION PROCESS CHARACTERISTICS TO THE APPLICABILITY OF LEAN PRINCIPLES.	AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO PROCESSO CONSTRUTIVO NA ÓTICA LEAN
		AVALIANDO OS EFEITOS DAS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO CONSTRUTIVO PARA A APLICABILIDADE DOS PRINCÍPIOS LEAN.	
2007	AZEVEDO / ROSEMBLUM / ALVES BORGES / TAVARES	AVALIAÇÃO DA MENTALIDADE ENXUTA (LEAN THINKING) NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA VISÃO ESTRATÉGICA DE IMPLANTAÇÃO.	AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. ESTRATÉGIAS DE IMPLANTAÇÃO DO MEDELO ENXUTO À CONSTRUÇÃO PREDIAL MODULAR
2007	OLIVEIRA	UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CONCRETAGENS DE LAJES PREDIAIS NA ÓTICA DA CONSTRUÇÃO LEAN.	AVALIAÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO COM A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN

Quadro 2.1: Cronologia dos principais argumentos utilizados para a concepção das idéias enxutas expostas no estudo.

3. METODOLOGIA

3.1. Referencial teórico

Koskela, em seu estudo intitulado *Application of the New Production Philosophy to Construction* (Aplicação da Nova Filosofia de Produção à Construção – NFPC), de 1992, abordou a necessidade de se reduzir o desperdício na indústria da construção civil e para tanto apresentou idéias tais como a visão da construção como sendo composta por fluxo de processos.

O pensamento de Koskela (1992) é baseado no *lean thinking* (pensamento enxuto), importado do modelo de produção aplicado à indústria automobilística na década de 50, o *lean production* (produção enxuta). O fluxo descrito por Koskela emerge de um dos cinco princípios do *lean thinking*, onde se deve fazer o valor fluir sem interrupções.

Para o autor, já na década de 90, era possível observar que os problemas de fluxo são causados por conceitos convencionais de administração. Koskela (1992) percebe que os princípios convencionais de administração violam os princípios de fluxo do processo e, deste modo, induzem a não-otimização do fluxo e a uma expansão das atividades que não geram valor.

Ele propôs ainda uma reestruturação do processo construtivo, onde deveria ser feita uma mudança de visão de conversão para visão de gestão de fluxo. Após a publicação de seu estudo seminal, diversas linhas de pesquisa foram traçadas.

No ano de 1994 Howell e Ballard dão seguimento à pesquisa de Koskela, descrevendo a chave da transição do modelo construtivo convencional para o modelo enxuto como sendo a redução de desperdício, focada diretamente na redução de custos.

Com a fusão das idéias de Koskela (1992), Howell e Ballard (1994) se observa a aplicação de fluxo contínuo na construção civil aliada diretamente à redução de desperdícios /custos.

Este estudo é norteado por essa fusão de idéias: FLUXO CONTÍNUO + REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO, e se desdobra à medida que, em mais de quinze anos da publicação de Koskela (1992) tem-se desenvolvido várias linhas de

pesquisa a respeito do assunto, mas ainda não se percebe um consenso sobre a aplicabilidade dessa nova filosofia de produção à construção.

O estudo de Koskela (1992) é ponto inicial de muitas frentes de pesquisa, no entanto, suas vertentes se dividem à medida que os pontos de chegada estão distribuídos conforme o foco a que se destinam. Não se deseja somente adaptar a produção enxuta à indústria da construção civil, de modo que seja validada essa nova filosofia de produção à construção, mas procura-se extrair ao máximo os benefícios que podem ser gerados com a aplicação da Construção Enxuta, sem que essa filosofia venha a gerar um sistema construtivo isolado.



Figura 3.1: Origem do referencial teórico.

Um dos desdobramentos do primeiro estudo de Koskela de 1992, já no ano de 1998, estabelece diretrizes características da construção enxuta, onde observa a construção como não sendo única e sugere ações que podem levar à redução de sua singularidade, tais como: padronização dos componentes, utilização de modularização e pre-fabricação, uso de equipes permanentes, etc. Estas diretrizes procuram seguir os padrões da produção enxuta característica da indústria automobilística, que na verdade atua como montadora seqüencial de um determinado projeto padrão, o que não ocorre na construção civil, pois, em suas palavras, apresenta singularidade em relação a seus projetos executivos (KOSKELA, 1998).

No entanto, também se verifica a repetição de atividades na indústria da construção civil. Identificar inicialmente onde os conceitos da construção enxuta podem ser aplicados pode ser o ponto chave para revelar qual parte de implantação do processo tem sido falha.

Desta maneira, tendo sido identificados inicialmente como principais fatores determinantes da aplicabilidade do modelo enxuto à construção: a padronização dos componentes, utilização de modularização e pre-fabricação, opta-se neste trabalho,

por se estruturar seu escopo por meio da construção com a utilização de estruturas metálicas.

Apesar da grande variedade arquitetônica ao qual se pode recorrer ao utilizar este tipo de estrutura, seu uso por muitas vezes é modular, desde a logística de transporte à logística de montagem. Desta maneira irá se focar o uso da estrutura metálica aproveitando sua característica modular, que permite a fabricação de perfis metálicos (utilizados como vigas e pilares) em dimensões pré-definidas, adequadas ao projeto, de modo que as características enxutas de modularização e padronização dos componentes estejam preservadas.

Esta é apenas a primeira justificativa que aponta o trabalho como baseado em prerrogativas *lean* de construção, o que não quer dizer que o mesmo será focado na apresentação de um modelo enxuto, mas se utilizará deste referencial teórico para justificar as práticas utilizadas na análise de seus resultados.



Figura 3.2: Diretrizes estabelecidas por Koskela (1998).

3.1.1. Crítérios de estruturação do estudo

A construção é dividida em dois aspectos: um deles abrange uma variação lenta, segura e projetos simples para um fim rápido. O outro aspecto abrange uma variação incerta e projetos complexos.

Para o primeiro aspecto, uma estratégia de produção seria apropriada, ou seja, construir mais como processo de fabricação, através de iniciativas como padronização. Para o projeto dinâmico, no entanto, uma estratégia de produção é insuficiente. É necessário aprender a gerir incerteza, complexidade e velocidade, interiormente às condições características de um *site* de produção na construção, condições de produção local, produto único, e organização temporária (BALLARD e HOWELL, 1998).

Ballard e Howell (1998) concordam com as diretrizes de Koskela (1998) que defende que a indústria da construção tem uma variação lenta, segura e utiliza projetos simples para um fim rápido. Verifica-se, entretanto, que a proposta da adoção de uma estratégia de produção parece não ter sido suficiente, até o momento, para encontrar uma solução definitiva para os problemas referentes à construção civil. Cabe destacar que houve alguns avanços, de caráter parcial, no sentido de diminuir as perdas no processo construtivo, com resultados expressivos, mas ainda não suficientes.



Figura 3.3: Diretrizes estabelecidas por Ballard e Howell (1998).

Desta maneira, ganha consistência a utilização da estrutura metálica como proposta inicial para análise, uma vez que a idéia de padronização dos componentes também é compartilhada pelos autores.

A estratégia de produção citada por Ballard e Howell (1998) poderá ser aplicada quando se determina a cadeia de valor da construção. Neste caso, a cadeia de valor da construção permitirá o conseqüente mapeamento do fluxo de valor, onde será possível identificar todas as atividades no processo construtivo e o modo como se comportam neste processo.

O mapeamento do fluxo de valor revela os fluxos de trabalho e informação lado a lado. Ele também revela desperdício de tempo para expor o ciclo de tempo para cada operação e o tempo total do processo. Isto quer dizer que todo o processo deverá ser pre-definido e deverão ser traçadas as alternativas que mais se aproximam do modelo enxuto. Uma vez determinada a estrutura metálica como sendo objeto de estudo, o próximo passo será o de se determinar as atividades inerentes ao processo construtivo com este tipo de estrutura.

O empreendimento visto de forma global pode ser dividido em duas partes, infra-estrutura (fundações) e superestrutura (esqueleto do empreendimento). Por entender que na maioria dos casos o modelo de repetição é maior na superestrutura

que na infra-estrutura, o foco do estudo se voltará para a primeira. Na infra-estrutura, o planejamento e execução das fundações compreendem uma etapa complexa, porém única, sem “repetições verticais”. Enquanto que na superestrutura há um número maior de repetições modulares.

Assim, as atividades a serem determinadas no mapeamento do fluxo de valor serão mapeadas conforme estejam relacionadas à construção da superestrutura.

Dentre as inúmeras atividades que podem ser descritas na fase de planejamento para execução da superestrutura, determinou-se o foco do estudo sobre o mapeamento das atividades ligadas à concretagem das lajes da superestrutura.

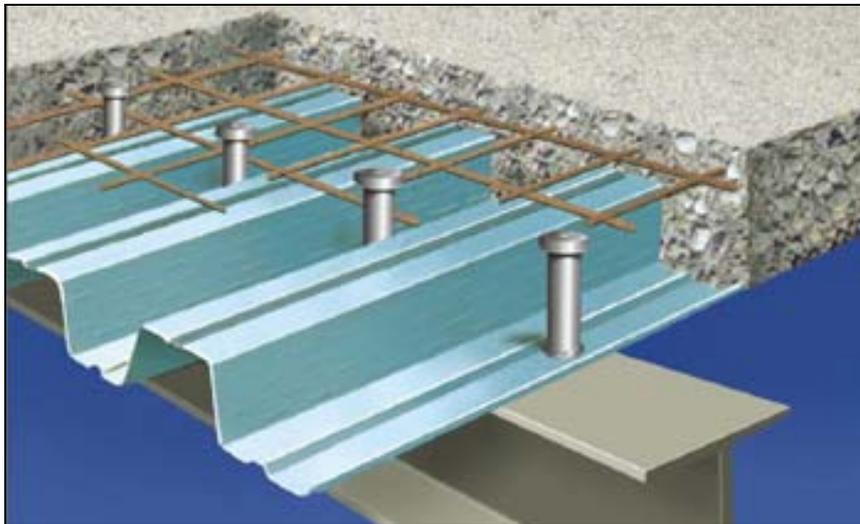


Figura 3.4: Corte transversal da estrutura utilizada na montagem do *steel deck*.

Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica , 2009.

Tratando-se desta maneira o problema, foram escolhidas três atividades determinadas no Mapeamento do Fluxo de Valor executadas durante o processo de concretagem das lajes da superestrutura, ilustradas pelas figuras 3.4 e 3.5:

- Corte e montagem do *steel deck* – **Steel Deck – Atividade A1**;
- Corte e montagem de telas soldadas – **Armação – Atividade A2**;
- Concretagem das lajes – **Concretagem – Atividade A3**.



Figura 3.5: Corte transversal da estrutura utilizada na montagem do *steel deck*.

Fonte: Revista Metálica – Arquitetura e Construção, 2009.

A determinação destas três atividades como foco deste estudo baseia-se no fato de que este é um desdobramento do trabalho de Oliveira (2007), onde é estabelecido que:

- A edificação é predial e comercial;
- A estrutura da edificação é metálica;
- A área da plataforma de trabalho possui 1000 m²;
- O gabarito é de 140 m ou 40 pavimentos, sendo 36 pavimentos tipo;
- Não será utilizado escoramento para execução das lajes.

Pode-se desta forma descrever o objeto do trabalho como sendo a análise das atividades envolvidas no processo de concretagem das lajes de 36 pavimentos tipo de uma construção predial e comercial que utiliza estrutura metálica. Cada laje possuindo área aproximada de 1000 m².

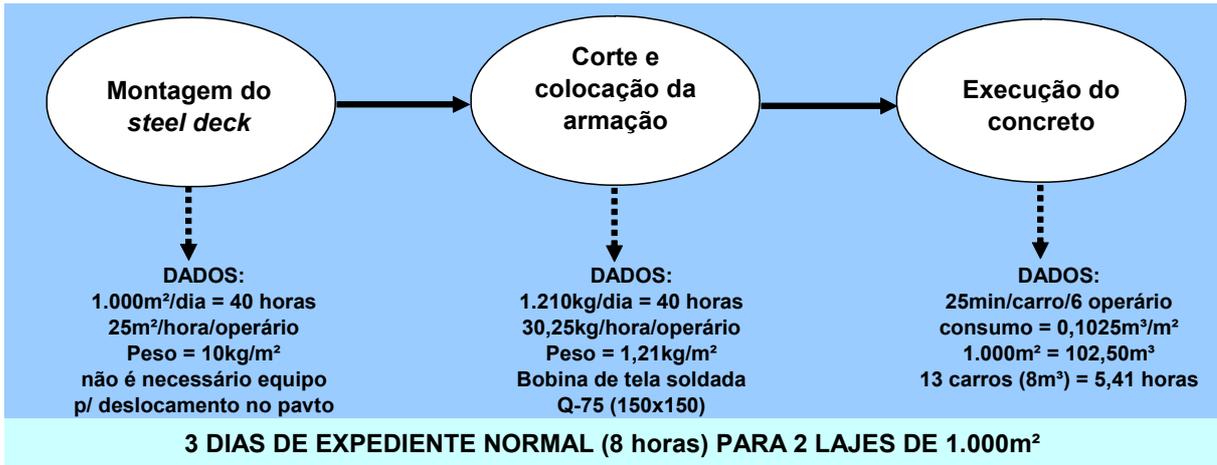


Figura 3.6: Seqüência do Tempo de Ciclo (T/C) para SD, A e C.

Fonte: OLIVEIRA, 2007.

Propõe-se que as atividades na construção de determinado tipo de empreendimento sejam moduladas, pois desta forma pode ser medido o tempo de ciclo de cada atividade isoladamente, determinando-se para cada módulo a ser trabalhado uma equipe que executará a frente de serviço. Neste trabalho, como são determinadas três atividades seqüenciais, deve ser medido o tempo de ciclo para cada atividade.

Oliveira (2007) determina um turno de 8 (oito) horas para as atividades de *Steel Deck* e Armação, excetuando-se a atividade de concretagem, onde a atividade em si abrange dois pavimentos. Para que o estudo seja equalizado, inicialmente o tempo de ciclo de cada atividade será fixado em oito horas, que representa um turno normal de trabalho, inclusive para a concretagem.

Esta idéia, módulo x tempo x equipe (figura 3.7) é a concepção que possibilitará a organização de um fluxograma das atividades na obra, onde o balanceamento entre estas atividades é essencial para que a seqüência estabelecida pelo procedimento *lean* possa medir e reduzir ao máximo as ocorrências de retrabalhos e esperas (AZEVEDO, 2007).

O mapeamento do fluxo de valor é ressaltado como ferramenta enxuta na medida em que é entendido como ferramenta de gerenciamento da construção, onde o mapeamento do tempo necessário para se completar uma atividade. Neste caso, o tempo de ciclo pode ser medido não apenas como uma unidade de tempo,

mas também como unidade de valor, estabelecendo o custo ligado a este tipo de desperdício.

Interpretar unidades de tempo como unidades de valor através do mapeamento do fluxo de valor é um modo de quantificar o desperdício, portanto, um caminho para reduzi-lo ou eliminá-lo. Em estudo de caso para aplicação dos conceitos enxutos na fabricação de concreto pré-moldado, Ballard (2003) descreve parte do sucesso do estudo: “a chave da mudança estava em aprender a identificar e utilizar o fluxo de trabalho como sendo o oposto de administrar focando o esforço em manter trabalhadores e canteiro ocupados”.



Figura 3.7: Estrutura proposta por Azevedo (2007).

Do ponto de vista operacional, a validação da construção enxuta depende de estudos de caso que verifiquem a evolução do processo. Entretanto, por estarem sendo desafiados paradigmas industriais tradicionais e desenvolvidos princípios industriais novos, uma maneira de se buscar resultados factíveis seria por meio da simulação do processo construtivo utilizando recursos eletrônicos e a análise dos dados proporcionados pela simulação.

Neste trabalho é elaborada uma planilha eletrônica em sistema operacional de fácil acesso (Microsoft EXCEL), que tem como objetivo simular o tempo de execução das atividades decorrentes da construção civil, neste caso específico, a simulação do tempo de execução de atividades como *steel deck*, armação e concretagem.

De acordo com Al-Sudairi (2007), os modelos de simulação se tornaram uma ferramenta de experimentação dos princípios enxutos em processos mais simples. Em atividades menos complexas fica fácil estudar os efeitos da aplicação da construção enxuta, de modo que os modelos são dispostos de maneira que o tempo de ciclo seja medido com maior facilidade. Os modelos de Al-Sudairi (2007) foram

criados baseados no tempo de ciclo das atividades e os resultados serviram de base para comparação entre o modelo inicial de construção e o modelo enxuto.

Este trabalho é fundamento principalmente nas primeiras idéias apresentadas por Koskela (1992), Howell e Ballard (1994), que datam do início da década de 1990. Entretanto, solidifica-se com os desdobramentos mais recentes destes mesmos autores, aliados a estudos de caso realizados por Tommelein (1997), assim como Alves (2000) e Al-Sudairi (2007).

O critério estabelecido para a simulação proposto neste trabalho, ou a interpretação dos resultados obtidos, serão descritos conforme a apresentação deste estudo e a definição dos termos utilizados nele.

3.2. Objeto de estudo

Este estudo compreende a análise das perdas no tempo do processo construtivo. Esta análise é pontual na medida em que se restringiu a uma área específica do processo construtivo e levando em conta as seguintes considerações:

- A edificação é de uso comercial;
- A estrutura predial escolhida para a edificação é metálica;
- O mapeamento será feito em 36 pavimentos tipo;
- A etapa mapeada escolhida é a concretagem das lajes, dividida em três atividades: *steel deck*, armação e concretagem.

Uma vez delimitada a área de estudo, são feitas considerações abrangentes a toda edificação. Entretanto, este deverá ser um desdobramento natural destas conclusões, onde o objeto de análise deverá ser estudado e os resultados analisados perante o cenário atual da construção civil.

3.2.1. Redução de desperdício

Muda é uma palavra japonesa que significa desperdício. É então qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor: erros que exigem retificação, produção de itens que ninguém deseja, acúmulo de mercadorias nos estoques, etapas de processamento que na verdade não são necessárias, movimentação de funcionários e transporte de mercadorias de um lugar para o outro sem propósito, grupos de pessoas em uma atividade posterior que ficam esperando porque uma atividade anterior não foi realizada dentro do prazo e bens e serviços que não atendem às necessidades do cliente (WOMACK e JONES, 1994).

“GRUPOS DE PESSOAS EM UMA ATIVIDADE POSTERIOR QUE FICAM ESPERANDO PORQUE UMA ATIVIDADE ANTERIOR NÃO FOI REALIZADA DENTRO

A afirmação em destaque identifica um dos tipos de desperdício, ou tipos de *muda*, dentro do processo construtivo o qual, pela ótica da construção enxuta, deverá ser eliminado ou reduzido a níveis que possam ser administrados pela equipe de gerenciamento da obra.

Este desperdício deve ser medido uma vez que se concebe um plano de ação para eliminá-lo; ele deve ser quantificado durante o mapeamento do fluxo e é necessário que se elabore, ou se discuta a maneira mais eficaz de fazê-lo.

Mapeando o fluxo de atividades pode se constatar o seguinte quadro (figura 3.8): a atividade inicial para a concretagem de lajes de uma edificação de estrutura metálica é a disposição do *steel deck* (Atividade 1), seguida da colocação da armação sobre o *steel deck* (Atividade 2) e finalização com a atividade de concretagem (Atividade 3).



Figura 3.8: Seqüência das atividades.

A análise do mapeamento do fluxo da etapa de concretagem das lajes escolhida para o estudo, indica três atividades seqüenciais, observando que elas

estão interligadas entre si por uma única atividade, ou seja, a Atividade 1 está ligada diretamente a Atividade 2 e a Atividade 2 está ligada diretamente a Atividade 3. Isto quer dizer que atividade de *stell deck* está ligada à atividade de concretagem ou vice-versa através da atividade de armação. Como este processo conta apenas com um número de três atividades, é mais fácil a visualização desta afirmação.

Em um processo que conte com inúmeras atividades, seria necessário agrupá-las sempre aos pares, ou seja, agrupar a Atividade 1 com a Atividade 2, a Atividade 2 com a Atividade 3, a Atividade 3 com a Atividade 4, a Atividade 4 com a Atividade 5 e assim sucessivamente. Desta maneira observa-se que as perdas geradas por uma determinada atividade se desdobrarão sobre todo o processo construtivo. Entretanto, é possível medir a produtividade de cada uma independente do desperdício gerado inicialmente e acumulado durante toda a obra.

Na verdade, o desperdício gerado em uma determinada fase da atividade acumula tempo ocioso, que se deslocará no processo construtivo “atrasando” as atividades seguintes, ainda que estas se comportem dentro do tempo de ciclo estabelecido para sua conclusão.

Caso haja atraso na execução da Atividade 1 – *Stell Deck*, a atividade seguinte receberá o impacto desta falha na produtividade, mesmo que sua produtividade se mantenha dentro do padrão esperado. A Atividade 2 – Armação terá de esperar que a Atividade 1 - *Stell Deck* se encerre para ser iniciada. A Atividade 3 – Concretagem também sofrerá o impacto devido ao atraso da Atividade 1 - *Stell Deck*, ainda que não esteja ligada diretamente a esta.

Esta análise deverá discriminar as atividades uma a uma e suas produtividades respectivas, de modo que possam ser interpretadas de forma independente. Assim, o desperdício em uma atividade será acumulado durante a obra até o ponto em que seja compensado (ou não) pela maior produtividade de outra atividade, não necessariamente aquela imediatamente posterior.

Como no caso do exemplo anterior, caso a produtividade da Atividade 2 - Armação se mantenha dentro do padrão estabelecido, ainda assim o atraso gerado na Atividade 1 – *Stell Deck* se deslocará através do cronograma da obra. No entanto, caso a produtividade da Atividade 3 – Concretagem seja menor que o esperado, o atraso será compensado. Este dado muitas vezes é mascarado durante a obra, mas o desperdício existe enquanto durar a atividade e em algum ponto do processo será destacado.

Como o objetivo maior deste estudo é medir as perdas e quantificá-las como um índice de desperdício, se tornou necessário especificar o tipo de desperdício a ser analisado.

Retornando à afirmação em destaque:

“MUDA: GRUPOS DE PESSOAS EM UMA ATIVIDADE POSTERIOR QUE FICAM ESPERANDO PORQUE UMA ATIVIDADE ANTERIOR NÃO FOI REALIZADA DENTRO DO PRAZO”.

Partindo da idéia de que as atividades são ligadas aos pares, podem ser destacados os seguintes conceitos:

3.2.2. Atrasos

Este tipo de perda ocorre quando uma determinada atividade apresenta baixa produtividade e seu tempo de ciclo é maior do que o esperado (ou determinado) durante a fase de planejamento. O atraso implica no acúmulo de perdas durante as atividades subseqüentes e é medido através da variável tempo.

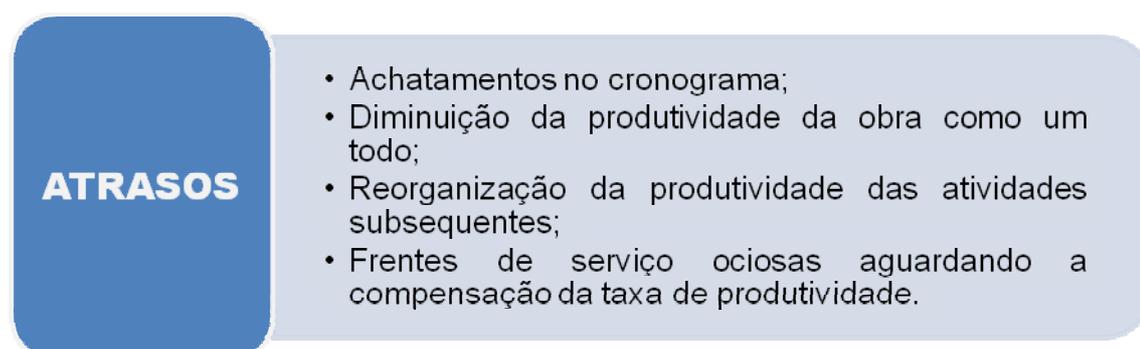


Figura 3.9: Desdobramento de atrasos nas atividades.

De um modo geral, pode-se dizer que a perda de tempo caracterizada como atraso bloqueia o início da atividade posterior, pois a equipe da atividade subseqüente tem de esperar que a tarefa anterior seja finalizada para que esta possa começar seu trabalho.

Neste caso, todas as outras atividades posteriores sofrerão o impacto do atraso, ocasionado por esta atividade específica. O atraso se deslocará através do

cronograma impactando diretamente na atividade seguinte e se perceberá seu efeito nas atividades subseqüentes. Deve haver uma reestruturação do cronograma para que este atraso possa ser compensado e seus efeitos minimizados, logo, a produtividade de uma atividade posterior qualquer, não necessariamente a atividade seguinte, deverá ser aumentada a fim de compensar esta perda.

Algumas das questões levantadas por Back e Bell (1994) apud Al-Sudairi (2007) que discutem as premissas da elaboração dos modelos de simulação são:

- O que deve ser terminado antes que a atividade possa começar?
- Esta atividade pode acontecer simultaneamente com qualquer outra?
- Que recursos são exigidos para executar esta atividade?
- Quanto tempo leva para terminar uma atividade?

Pode-se dizer que, se essas questões não forem respondidas adequadamente, será criada uma distorção já na fase de planejamento que se desdobrará por todo o gerenciamento da obra.

O atraso pode ser decorrente também de fatores que fogem ao controle de planejamento ou gerenciamento, mas mesmo assim devem estar previstos. Vale mencionar a ação de chuvas, acidentes, quebra de equipamentos, greves, etc. Entretanto, subentende-se que estas questões são minimizadas por ações mitigadoras previstas no plano de ação estabelecido no planejamento da obra.

3.2.3. Esperas

Este tipo de perda ocorre quando uma determinada atividade apresenta alta produtividade e seu tempo de ciclo é menor do que o esperado ou determinado durante a fase de planejamento. A espera não implica no acúmulo de perdas durante as atividades subseqüentes, pois tende a aproximar-se da atividade executada anteriormente e é medida pela variável tempo.

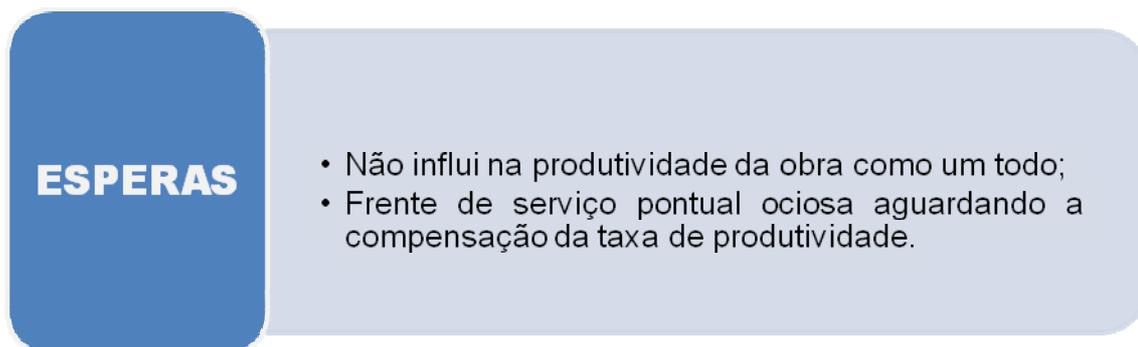


Figura 3.10: Desdobramento de esperas nas atividades.

O desperdício caracterizado como espera não impacta diretamente sobre suas atividades, pois este tipo de perda faz com que a atividade fim se aproxime da atividade executada anteriormente e se destaque da atividade subsequente.

Desta maneira, será necessário, em algum momento, que a equipe ligada a atividade em espera pare, a fim de que a atividade anterior se afaste o bastante e a atividade posterior se aproxime, dentro dos padrões estabelecidos pelo planejamento referentes aos índices de produtividade.

A espera não ocasiona acúmulo de perdas, mas faz com que a equipe fique travada, gerando mão de obra ociosa. Este distúrbio pode ter sido criado na fase de planejamento, na determinação dos índices de produtividade, quando seu tempo de ciclo foi estabelecido com um valor mais alto do que o valor necessário.

Tanto medidas de atrasos como medidas de esperas são medidas de desperdício em relação à variável tempo de uma atividade e são caracterizadas pelo efeito que ocasionam na produtividade da obra como um todo. A primeira, de forma global e a segunda de forma pontual.

3.3. Fluxo x tipos de perdas

Quando há interrupção do fluxo na cadeia de valor das atividades, o primeiro passo é identificar o tipo de desperdício gerado, se houve atraso ou se houve espera. Contudo, este estudo visa analisar os efeitos do desperdício nas atividades e a maneira como este desperdício pode ser quantificado de modo que seu

mapeamento leve a dados confiáveis referentes aos índices de acumulação das perdas em função da relação entre as produtividades das equipes.

Embora o objetivo maior seja a análise de perdas, se faz necessário estabelecer o conceito de perdas compensadas e perdas acumuladas.

3.3.1. Perdas Compensadas

Ao identificar o desperdício por meio da medição de atrasos, pode-se compensar este tipo de perda com o aumento da produtividade da atividade, balanceando o tempo sem interferir com a produtividade de atividades subseqüentes. Um exemplo dessa prática seria a inclusão de mais um operário na equipe de frente de serviço da atividade em atraso.

Entretanto, essa manobra onera o custo da obra, ou da atividade específica, pois adiciona valor à diária da mão de obra que executa a atividade, uma vez que é necessário adicionar um funcionário a mais na equipe de frente de serviço para aumentar a produtividade. Desta forma, uma ação de responsabilidade do gerente pode manter o cronograma inicial da obra sem que este seja prolongado, caso não seja conveniente postergar o término da obra.

De modo geral percebe-se que determinados atrasos podem ser compensados sem que o cronograma da obra seja comprometido, não significando, contudo, que deixaram de ocorrer perdas no processo.

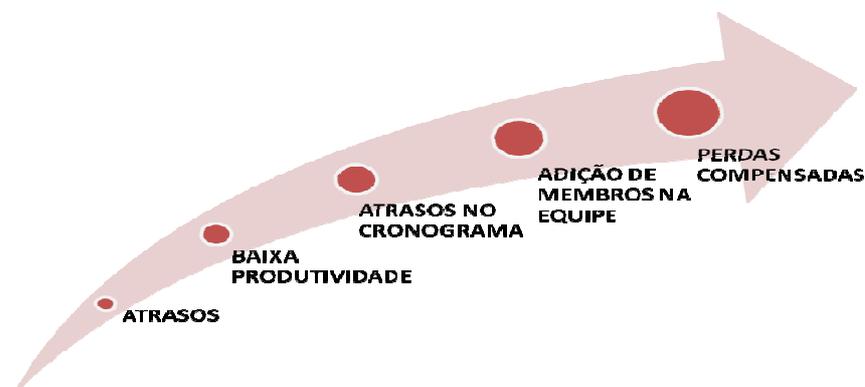


Figura 3.11: Compensação de perdas – atrasos.

O mesmo ocorre com as esperas. Durante um determinado período de tempo a atividade deverá ser paralisada, ou ter sua produtividade diminuída de maneira

que não se mantenha frente de obra ociosa. A ocorrência de esperas pode significar que um membro foi mantido na equipe de frente de serviço desnecessariamente, logo adicionou custo à diária da mão de obra que executa a atividade.

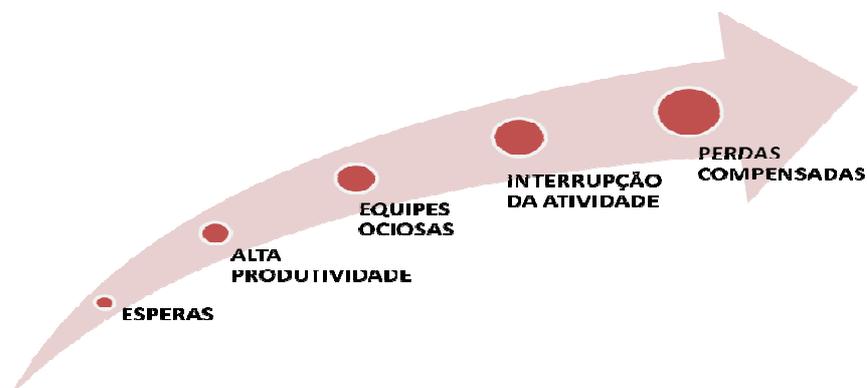


Figura 3.12: Compensação de perdas – esperas.

Podem ocorrer ainda atrasos e esperas em uma mesma atividade em períodos diferentes da obra e essas perdas podem se compensar de modo que ao final da obra não seja notada nenhuma diferença em datas programadas no cronograma.

Ressalta-se que as perdas, neste sentido, ocorreram, apesar de não terem sido notadas e ainda assim proporcionaram desperdício na obra, que devem ser medidos.

Sendo assim, o conceito de perdas compensadas pode ser descrito como o tipo de perda mais comum apresentado durante a construção de um empreendimento, onde o gerenciamento do processo construtivo busca compensar medidas de atrasos e esperas sem que o cronograma da obra seja comprometido. Vale ressaltar que esse tipo de perda não é medido ou contabilizado.

3.3.2. Perdas Acumuladas

O conceito de perdas acumuladas pode ser entendido como a soma da medida de atrasos ou esperas. Independente da compensação da produtividade através de artifícios que visem manter a estabilidade do cronograma, as perdas ocorridas durante o processo produtivo, sejam elas esperas ou atrasos, são somadas, acumuladas e medidas ao final do processo a fim de se estabelecer um

parâmetro que represente o que realmente foi perdido durante a obra, ou seja, o índice de desperdício gerado.



Figura 3.13: Perdas acumuladas = atrasos + esperas.

Neste trabalho são medidas as perdas acumuladas de modo que se estabeleça o mapeamento do fluxo das atividades e os efeitos gerados pelos atrasos e esperas, simulados através de um modelo matemático, concebido a partir dos parâmetros identificados no processo construtivo atual.

O efeito causado pelas perdas acumuladas será analisado de forma que os resultados obtidos sejam interpretados de maneira que se estabeleça um índice de acumulação das perdas em função da relação entre as produtividades das equipes.

3.4. Tempo de ciclo das atividades (*lead time*)

3.4.1. Limites Estabelecidos

A limitação do estudo foi estabelecida seguindo critérios factíveis, observados no modelo de construção real, ou seja, observados por conceitos convencionais de administração.

Neste modelo construtivo atual, turnos de trabalho duram aproximadamente 8 (oito) horas, interrompidas na metade do ciclo por 1 (uma) hora de almoço, o que faz com que a jornada de trabalho diária seja dividida ao meio e dure um total de 9 (nove) horas.

Em geral os turnos são iniciados às 7:00h. Este primeiro intervalo de trabalho é interrompido às 11:00h para o almoço, completando assim 4 (quatro) horas ininterruptas de trabalho. Às 12:00h, após 1 (uma) hora de intervalo, se reinicia o

turno de trabalho até às 16:00h, onde é concluído o ciclo diário de 8 (oito) horas de trabalho.



Figura 3.14: Turno diário de trabalho: 8 (oito) horas – Modelo de construção convencional.

Inicialmente, em um modelo convencional de construção, os turnos de trabalho duram 8 (oito) horas, pois este é o período máximo estabelecido como jornada normal de trabalho.

Seja descrito o conceito de jornada normal de trabalho:

A jornada normal de trabalho será o espaço de tempo durante o qual o empregado deverá prestar serviço ou permanecer à disposição do empregador, com habitualidade, excetuadas as horas extras; nos termos da Constituição Federal da República Federativa do Brasil, art. 7º, XIII. Sua duração deverá ser de até 8 horas diárias, e 44 horas semanais; no caso de empregados que trabalhem em turnos ininterruptos de revezamento, a jornada deverá ser de 6 horas, no caso de turnos que se sucedem, substituindo-se sempre no mesmo ponto de trabalho, salvo negociação coletiva (Disponível em <[http:// www.centraljuridica.com](http://www.centraljuridica.com)>. Acesso em 09 de dezembro de 2009).

A Consolidação das Leis do Trabalho, na Seção II – Da Jornada de Trabalho, art. 68 e art. 69, descreve a jornada normal de trabalho como sendo:

Art. 58 - A duração normal do trabalho, para os empregados em qualquer atividade privada, não excederá de 8 (oito) horas diárias, desde que não seja fixado expressamente outro limite.

Art. 59 - A duração normal do trabalho poderá ser acrescida de horas suplementares, em número não excedente de 2 (duas), mediante acordo escrito entre empregador e empregado, ou mediante contrato coletivo de trabalho. (Disponível em <[http:// www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del5452](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del5452)>. Acesso em 09 de dezembro de 2009).

Percebe-se no texto acima que, obedecendo a Constituição Federal, a Consolidação das Leis do Trabalho prevê turnos diários de 8 (oito) horas de trabalho e salvo exceção, concorda e aceita que se adicionem 2 (duas) horas a esta jornada normal de trabalho em caráter excepcional.

Desta maneira, em uma situação típica do modelo de construção convencional, após os constantes atrasos no cronograma, costuma-se introduzir 2 (duas) horas adicionais de trabalho ao horário normal estabelecido. Estas horas adicionais são as chamadas horas extras.

Ainda que a finalidade da introdução deste período de trabalho conhecido como hora extra seja a de compensar atrasos no cronograma, a sobrecarga de 25% de tempo de ciclo para a conclusão das atividades (inclusão de duas horas adicionais de trabalho ao horário normal estabelecido) não é medida suficiente para restabelecer o equilíbrio entre a defasagem das atividades, pois não visa reduzir o desperdício e se comporta como uma medida compensatória do problema.

3.4.2. Tempo de Ciclo Ideal

Neste estudo optou-se por estabelecer um tempo de ciclo para as atividades de valor igual ao tempo máximo de serviço diário permitido legalmente em um modelo convencional de construção. Ou seja, turno de 8 (oito) horas, regido pelo que determina a legislação vigente.

Este tempo de ciclo não é um valor absoluto, mas um valor ideal. É estabelecido considerando-se as seguintes premissas:

- Tempo de ciclo de 8 (oito) horas considerando a conclusão da atividade em um único pavimento;
- Equipes de trabalho dimensionadas para executar serviço, em um único pavimento, em um período de 8 (oito) horas.



Figura 3.15: Interligação entre o tempo de ciclo e equipas para realização da atividade em 1 (um) pavimento.

Isto quer dizer que as equipes de trabalho serão distribuídas em número de profissionais envolvidos na tarefa de forma que a produtividade do grupo estabeleça uma razão matemática entre metragem quadrada a ser executada e tempo de produção de cada indivíduo.

Certamente cada indivíduo selecionado como mão de obra para determinada frente de trabalho possui uma produtividade diferente, no entanto, a produtividade individual de cada um é compensada quando se forma um grupo. Desta maneira, para este estudo, se estabelece que cada frente de trabalho pronta a executar uma atividade em um único pavimento (seja esta atividade a Atividade 1- *Stell Deck*, a Atividade 2 – Armação ou a Atividade 3 – Concretagem) leve um tempo de ciclo em torno de 8 (oito) horas.

Como cada indivíduo apresenta uma produtividade diferente e esta será compensada pela produtividade do grupo, o tempo de ciclo de cada atividade não é linear, isto quer dizer que o tempo de execução de cada pavimento variará conforme a produtividade do grupo seja compensada (Figura 3.15).

O processo construtivo depende diretamente de mão de obra, o que difere do processo industrial, que muitas vezes depende de equipamentos de produção seriada. A produtividade das atividades está sujeita a pequenas interferências como cansaço físico, convalescência, etc. Por esta razão pode haver oscilações no tempo ciclo, que porventura interfiram na produtividade das atividades e devem ser gerenciados como variáveis internas, diferente do que pode ser descrito com variáveis externas, incidentes de fatores ligados diretamente ao material e equipamentos utilizados pela mão de obra, como atrasos na entrega, não-conformidades, etc.

Por não se tratar de uma equação dependente de uma única variável, trata-se o tempo de ciclo estabelecido em 8 (oito) horas como uma situação ideal, utópica, onde não haveria qualquer atraso ou espera durante a execução de uma determinada atividade.

Sendo assim, as atividades seriam seqüenciadas em turnos de 8 (oito) horas diárias, sendo executadas pavimento após pavimento, em um caminho crítico mais curto e com data de previsão de término definida.

Esta situação onde a produtividade é considerada como ideal, é utilizada para estabelecer o cronograma da obra e as perdas (atrasos ou esperas) podem ser mensuradas à medida que se monitora o tempo de ciclo real produzido para cada

atividade diariamente e este é confrontado com o estabelecido pela produtividade ideal.

Oliveira (2007) empregando em seu estudo conceitos estabelecidos pela metodologia PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) / CPM (*Critical Path Method*) avalia o tempo de ciclo das atividades da seguinte forma:

- **Estimativa Otimista:** estimativa de tempo mínimo que uma atividade pode tomar, obtida supondo-se condições totalmente favoráveis na execução da atividade.
- **Estimativa Mais Provável:** estimativa de tempo normal que uma atividade deve tomar, onde o resultado ocorreria mais frequentemente se a atividade fosse repetida um grande número de vezes.
- **Estimativa Pessimista:** estimativa de tempo máximo que uma atividade pode durar, ocorrendo apenas em condições totalmente adversas. A possibilidade de eventos drásticos e catastróficas não é considerada, a menos que eles sejam claramente associados ao projeto.

Considerando os conceitos acima, pode se dizer que o tempo de ciclo ideal ou produtividade ideal determinado neste estudo é o que mais se aproxima da descrição do termo estimativa mais provável.

Seguindo o princípio de que a produtividade ideal é de 8 (oito) horas, esboça-se uma relação de precedência e duração das atividades, onde é delineado o tempo total requerido para completar o projeto sem que ocorram atrasos ou esperas, conforme Figura 3.16.



Figura 3.16: Tempo de conclusão das atividades. Produtividade ideal.

Estabelecido o tempo de ciclo ideal como sendo de 8 (oito) horas diárias, se faz necessário estabelecer também os limites mínimo e máximo ao qual está sujeita a produtividade das atividades, uma vez que o tempo de ciclo não pode ser tão pequeno que tenda a ser nulo, ou tão grande que caracterize uma parada na obra.

Isto quer dizer que se a produtividade aumenta, o tempo de ciclo é reduzido, gerando esperas. É aceitável que, mesmo que o tempo de ciclo tenha sido estabelecido em 8 (oito) horas, em algumas ocasiões a atividade será terminada pela equipe de trabalho antes do previsto como situação ideal e este desperdício é caracterizado como espera.

Verifica-se também que, existindo um limite que deve ser estabelecido como tempo de ciclo mínimo, a ocorrência contínua de produtividade mais alta significa que a equipe de trabalho está superdimensionada. Em outras palavras, há membros em excesso na equipe de trabalho, o que faz com que o tempo de ciclo para se encerrar a atividade seja menor. Caracteriza-se assim o desperdício, com acréscimo de custo desnecessário e mão de obra superdimensionada, o que impacta diretamente no custo final da obra.

Estabelecido um limite de tempo de ciclo mínimo, é necessário estabelecer um limite de tempo de ciclo máximo, pois as atividades em algum momento necessitam ser finalizadas. Ao ultrapassar o tempo de ciclo ideal, estabelecido em 8 (oito) horas, caracteriza-se o atraso na conclusão da atividade.

Isto quer dizer que a ocorrência contínua de produtividade mais baixa significa que a equipe de trabalho está sub-dimensionada. Em outras palavras, há escassez de membros na equipe de trabalho, o que faz com que o tempo de ciclo para se encerrar a atividade seja maior.

Caracteriza-se assim o desperdício, gerado pelo custo desnecessário com a mão de obra ociosa, o que impacta diretamente no custo final da obra.

Determinada a razão pelo qual é necessário estabelecer limites de tempo de ciclo mínimo e máximo e interpretando que estes dados não podem ser medidas aleatórias, pois prolongam o ciclo de desperdício, convencionou-se o seguinte:

1. Tempo de Ciclo Mínimo – 6 (seis) horas. Estimativa Otimista.

Redução de 25% no tempo de ciclo ideal. É aceitável que o tempo de ciclo ideal possa se apresentar mais baixo em determinadas situações em que a produtividade aumenta. No entanto, a recorrência freqüente desta

produtividade mais baixa indica que a equipe de frente de trabalho foi, por algum equívoco, superdimensionada. Tempo de ciclo inferiores ao estabelecido como tempo de ciclo mínimo não são aceitáveis, pois não são dados factíveis. Ocorrências dessas espécies são caracterizadas como falhas de planejamento.

2. Tempo de Ciclo Máximo – 16 (seis) horas. Estimativa Pessimista.

Aumento de 100% no tempo de ciclo ideal. É aceitável que o tempo de ciclo ideal possa se apresentar mais alto em determinadas situações em que a produtividade diminui. No entanto, a recorrência freqüente desta de produtividade mais alta indica que a equipe de frente de trabalho foi, por algum equívoco, sub-dimensionada. Tempo de ciclo superiores ao estabelecido como tempo de ciclo máximo não são aceitáveis, pois indicam que a atividade está paralisada. Ocorrências dessas espécies são caracterizadas como falhas de planejamento.

3.5. Produtividade ideal x produtividade real

A produtividade ideal pode ser descrita como a produtividade estabelecida na fase de planejamento do processo construtivo para a conclusão de uma determinada atividade por uma equipe de trabalho.

Esta produtividade é uma variável que determina a velocidade do fluxo de atividades. Índices de produtividade baixos representam atrasos no processo construtivo e índices de produtividade altos representam esperas. Em função da razão existente entre as perdas geradas no processo e a produtividade, optou-se neste estudo por representar a produtividade real por uma função matemática.

Para Oliveira (2007), um planejamento deve considerar a incerteza da estimação da duração da tarefa através do uso da distribuição probabilística, onde a duração de determinada atividade pode assumir a variável randômica padrão daquela distribuição.

3.5.1. Função normal

A função matemática inicialmente adotada por Oliveira (2007) para a representação da produtividade real foi a função normal em virtude de suas características fundamentais, que são chamadas de média, μ e desvio padrão, σ .

Escolhida por possuir apenas dois parâmetros, a função normal é considerada ainda como uma importante distribuição contínua, pois muitas variáveis aleatórias de ocorrência natural ou de processos práticos obedecem esta distribuição.

A curva normal tem forma de sino, ou seja, é unimodal e simétrica, e o seu valor de máxima frequência, chamado moda, coincide com o valor da média e da mediana. A média é o centro da curva. A distribuição de valores maiores que a média e a dos valores menores que a média é perfeitamente simétrica, ou seja, se for traçada uma linha exatamente pelo centro da curva obtém-se duas metades, sendo cada uma delas a imagem especular da outra.

A figura a seguir mostra uma curva normal típica, com seus parâmetros descritos graficamente.

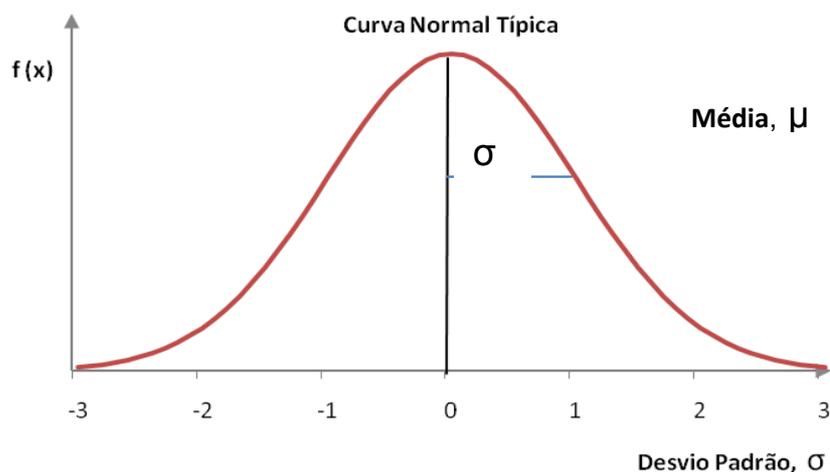


Figura 3.17: Curva normal típica.

As extremidades da curva se estendem de forma indefinida ao longo de sua base (o eixo das abscissas) sem jamais tocá-la. Portanto, o campo de variação da distribuição normal se estende de $-\infty$ a $+\infty$.

Assim sendo, a curva apresenta uma área central em torno da média, onde se localizam os pontos de maior frequência e também possui áreas menores, progressivamente mais próximas de ambas as extremidades, em que são encontrados valores muito baixos para o eixo das abscissas (à esquerda) ou valores muito altos (à direita), ambos presentes em baixas frequências.

Como em qualquer função de densidade de probabilidade a área sob a curva normal é 1 (um), sendo a frequência total igual a 100%. Assim, a curva normal é uma distribuição que possibilita determinar probabilidades associadas a todos os pontos da linha de base.

Portanto, tomando-se quaisquer dois valores pode-se determinar a proporção de área sob a curva entre esses valores. E essa área é a própria frequência da característica que ela determina. (Biometria, 2009).

Esta função foi escolhida também pela objetividade com que se podem extrair os dados necessários diretamente do gráfico da função, tais como a visualização da frequência com que os eventos acontecem.

Contudo, as características da função normal não se mostraram adequadas à simulação dos eventos decorrentes da alteração da produtividade das atividades.

Como abordado anteriormente, a curva normal tem forma de sino, ou seja, é unimodal e simétrica. Esta característica faz com que ao se determinar o tempo de ciclo como 8 (oito) horas e o tempo máximo de ciclo como 16 (dezesesseis) horas, a amplitude da curva seja muito acentuada.

Os valores recorrentes superiores à média se apresentam em pequeno número e os valores recorrentes inferiores à média se apresentam em grande número. Isto quer dizer que os dados obtidos não se aproximam do esperado.

Visualmente pode se observar estes resultados diretamente, através do gráfico. Nota-se que ao traçar a média no intervalo que representa metade da distância até o pico da curva, a área representativa da concentração do intervalo de dados obtidos é estreita, o que indica uma porcentagem pequena de atrasos.

Na prática ocorre o oposto. É comum observar-se atrasos durante a execução das atividades, pois a produtividade diminui à medida que é influenciada por diversos fatores externos.

A ocorrência de esperas recorrente é comum em casos da equipe de execução, ou frente de trabalho, estar superdimensionada. Ou ainda, se for intencional, a fim de se compensar possíveis atrasos no cronograma.

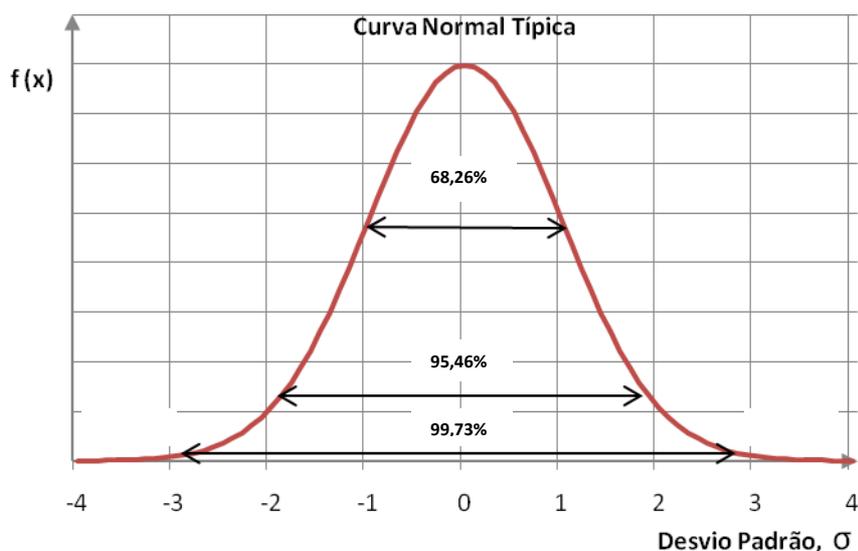


Figura 3.18: Curva normal típica. Distribuição de probabilidade.

Deste modo, a utilização da função normal para a simulação dos eventos foi substituída por outro tipo de função que se adequasse às premissas pré-estabelecidas neste trabalho, onde as condições de contorno fossem preservadas e os dados de análise fossem representativos do processo construtivo convencional.

3.5.2. Função qui-quadrado

Neste trabalho, optou-se por utilizar uma função matemática onde seria necessário que a concentração de “repetições” dos eventos (tempo de ciclo das atividades), estivesse mais próxima do valor da média estabelecida, ou seja, da produtividade ideal. Sendo assim, ao analisar a distribuição qui-quadrado, verificou-se que suas características eram compatíveis com o resultado esperado.

A distribuição qui-quadrado é muito usada em inferência estatística, sendo um caso particular da função gama. Entre outras utilizações, é de realçar a sua aplicação no estudo da variância de uma população a partir de uma amostra.

Esta função fica perfeitamente especificada pelos graus de liberdade, k (Figura 3.19).

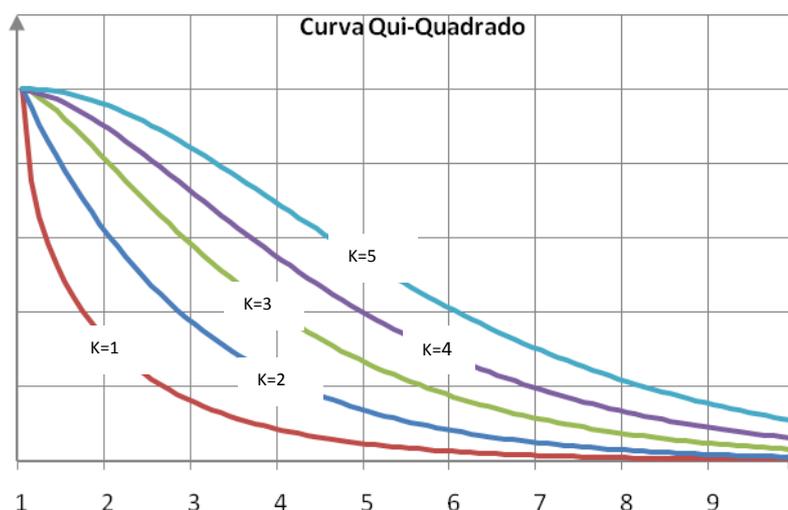


Figura 3.19: Curva qui-quadrado típica.

O coeficiente qui-quadrado, é um valor da dispersão para duas variáveis de escala nominal, usado em alguns testes estatísticos. Mostra em que medida é que os valores observados se desviam do valor esperado, caso as duas variáveis não estivessem correlacionadas. (Biometria, 2009).

As extremidades da curva se diferenciam da curva normal, uma vez que apenas para valores positivos se estendem de forma indefinida ao longo de sua base (o eixo das abscissas) sem jamais tocá-la. Portanto, o campo de variação da distribuição normal se estende de um ponto definido no eixo a $+\infty$.

Assim sendo, a curva apresenta uma área definida de acordo com o grau de liberdade determinado com parâmetro.

Após a análise de alguns resultados obtidos pela simulação em planilha observou-se que a curva que mais se aproxima dos resultados esperados é a curva cujo grau de liberdade k é igual a 3 (três). Nesta curva percebeu-se a concentração mais equilibrada de valores aproximados à produtividade ideal estabelecida.

Semelhante à função normal, esta função foi escolhida pela objetividade com que se podem extrair os dados necessários diretamente do gráfico da função, tais como a visualização da frequência com que os eventos acontecem.

Ao se determinar o tempo de ciclo como 8 (oito) horas e o tempo máximo de ciclo como 16 (dezesesseis) horas, a amplitude da curva é menos aguda e mais ampla. Os valores recorrentes superiores à média se apresentam em maior número e os valores recorrentes inferiores à média se apresentam em menor número.

É comum observarem-se atrasos durante a execução das atividades, pois a produtividade diminui à medida que é influenciada por diversos fatores externos.

Análoga à distribuição normal e como em qualquer função de densidade de probabilidade a área sob a curva normal é 1 (um), sendo a frequência total igual a 100%. Assim, a distribuição qui-quadrado também é uma distribuição que possibilita determinar probabilidades associadas a todos os pontos da linha de base.

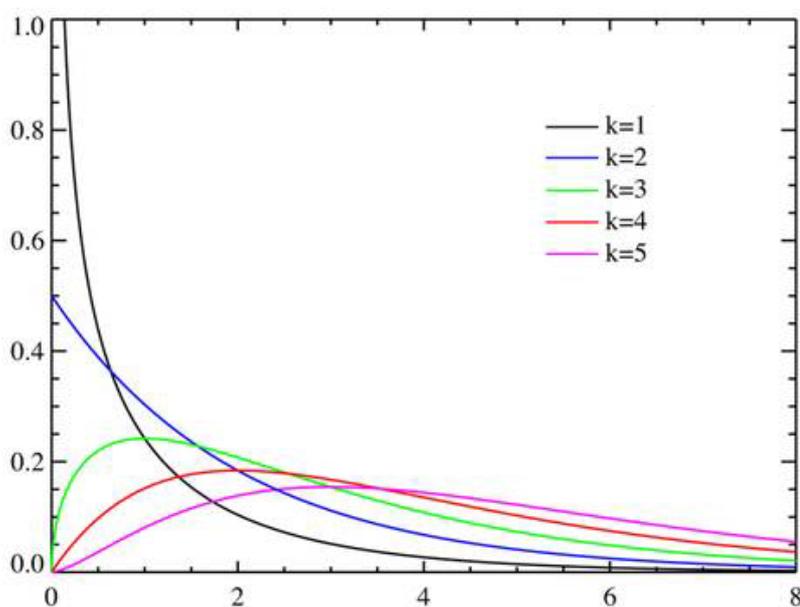


Figura 3.20: Aspecto da distribuição qui-quadrado. Graus de liberdade, k .

Fonte: Metrologia, 2009.

Hendrickson (2003) apud Oliveira (2007) propõe elaborar uma tabela de duração e precedência para as atividades com a estimativa de suas respectivas durações. Neste estudo, como mencionado anteriormente, será elaborada uma planilha eletrônica (Microsoft EXCEL), que tem como objetivo simular o tempo de execução das atividades decorrentes da construção civil, neste caso específico, a simulação de atividades como execução de *steel deck*, armação e concretagem.

Esta tabela indica a precedência para as atividades, ou seja, a ligação das atividades aos pares e estabelece parâmetros para o tempo de ciclo ideal, ou produtividade ideal das atividades.

Os resultados obtidos seguem ainda a distribuição qui-quadrado de uma curva de aspecto de grau de liberdade 3 (três).

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Critérios estabelecidos

Determinado o tempo de ciclo ideal das atividades e demais parâmetros (que são na verdade condições de contorno para a repetição dos eventos), elaborou-se uma planilha em Microsoft EXCEL a fim de se verificar a execução das atividades através do processo de simulação.

Foram destacados dois pequenos quadros de entrada de dados chamados respectivamente de tempo de ciclo das atividades e parâmetros de distribuição, onde podem ser inseridos os principais dados da simulação.

No primeiro quadro de entrada (Quadro 4.1) foram criados três campos independentes onde os dados de *input* devem ser inseridos. Cada campo está relacionado a uma atividade diferente.

Como no presente estudo delimitou-se o número de atividades a três, foi necessário criar apenas três campos para os dados, o que não impede que o desdobramento deste estudo permita a criação de um número maior de campos de *input*, uma vez que seja aumentado o número de atividades a serem observadas.

Neste caso em específico serão inseridos os tempos de ciclo das atividades *steel deck*, armação e concretagem e cada lacuna indica onde deve ser inserido o tempo de ciclo correspondente a determinada atividade estudada.

TEMPO DE CICLO DAS ATIVIDADES		
STELL DECK	<input type="text" value="8"/>	HORAS
ARMAÇÃO	<input type="text" value="8"/>	HORAS
CONCRETAGEM	<input type="text" value="8"/>	HORAS

Campo para inclusão do tempo de ciclo da atividade.

Quadro 4.1: Tempo de ciclo das atividades: *steel deck*, armação e concretagem.

No segundo quadro de entrada (Quadro 4.2) foram criados quatro campos independentes onde os dados de *input* devem ser inseridos.

Os parâmetros a serem inseridos são na verdade condições de contorno e indicadores da distribuição qui-quadrado: moda, valor mínimo de tempo de ciclo, X moda e graus de liberdade da função.

PARÂMETROS DE DISTRIBUIÇÃO	
MODA	8
MÍNIMO	6
X MODA	1
GRAUS DE LIBERDADE	3

Campo para inclusão de um dos parâmetros de distribuição.

Quadro 4.2: Parâmetros de distribuição.

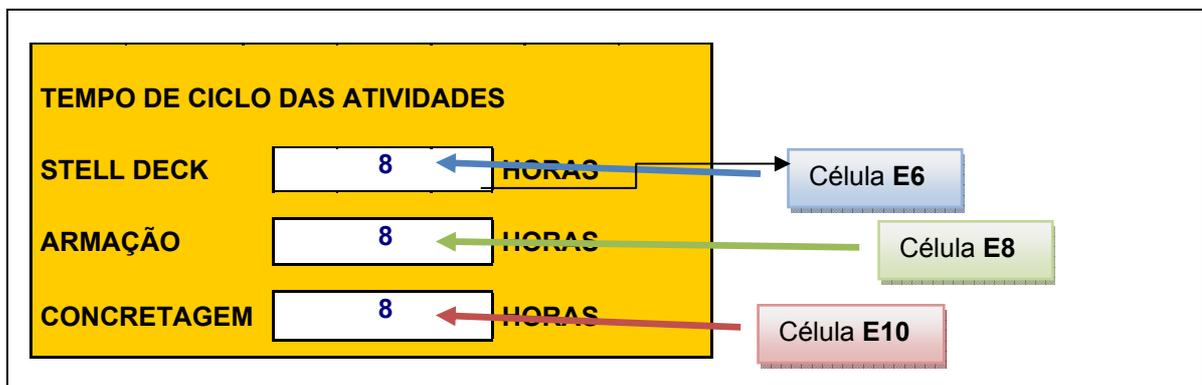
- **Moda** - a moda é o valor que detém o maior número de observações, ou seja, o valor ou valores mais frequentes em uma amostra.
- **Mínimo** – é o valor mínimo estabelecido para o tempo de ciclo das atividades.
- **X Moda** – é a moda da função densidade de probabilidade da distribuição qui-quadrado utilizada (no caso, para $n = 3$ graus de liberdade, a moda é aproximadamente 1).
- **Graus de Liberdade** – parâmetro utilizado na distribuição qui-quadrado (determina o formato da curva).

Cabe ressaltar que se convencionou estabelecer o tempo de ciclo mínimo da atividade neste estudo como sendo igual para as três atividades determinadas. Entretanto, não há impedimento para que o desdobramento deste estudo permita a variação do tempo de ciclo mínimo para cada atividade, assim como sua singularidade vinculada a cada uma, seja pelo aumento do número de atividades a serem observadas ou a criação de identidade individual para estas.

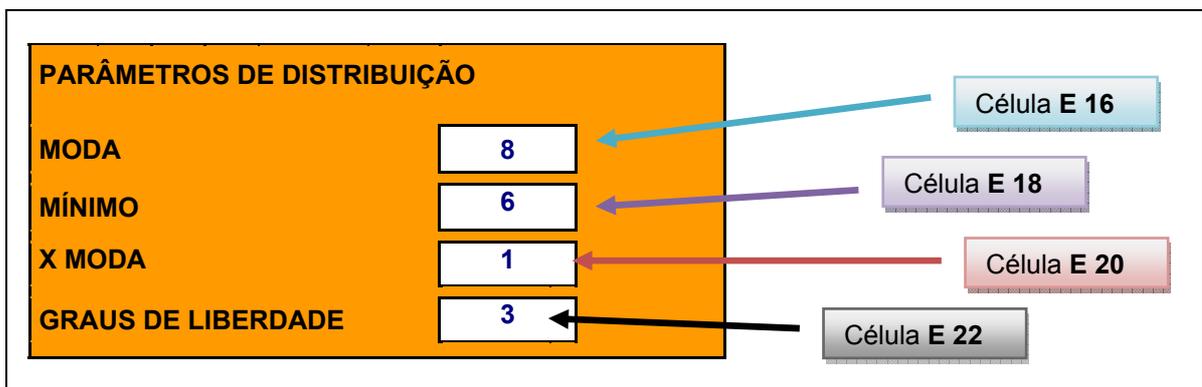
Desta maneira, entende-se que é importante observar o processo construtivo convencional e a forma como este se comporta quando da implementação de ferramentas de planejamento e gerenciamento do processo.

4.2. Identificação das células de *input*

A partir dos critérios estabelecidos para os dados de entrada que alimentam a simulação do tempo de execução das três atividades: *steel deck*, armação e concretagem, sejam determinados os dados de *input* da tabela.



Quadro 4.3: Identificação das células na tabela de tempo de ciclo das atividades.



Quadro 4.4: Identificação das células na tabela de parâmetros de distribuição.

- **Coluna A – Linha 27 a linha 62: Graus de Liberdade** – Importado o valor da célula E22. O grau de liberdade $n=3$ foi escolhido por corresponder a uma

curva da função qui-quadrado que melhor representa os tempos das atividades na construção civil, fruto da observação e com base na experiência dos profissionais da área.

- **Colunas B, C e D – Linha 27 a linha 62: Aleatório ()** – Retorna um número aleatório maior ou igual a 0 (zero) e menor que 1 (um) modificado quando recalculado e distribuído uniformemente.
- **Coluna E – Linha 27 a linha 62: Pavimento** – Seqüência do número de pavimentos estipulado no estudo, do 1º ao 36º pavimento tipo.

GRAUSDE LIBERD.	ALEATÓRIO			PAVIMENTO
3	0,7	0,7	1	1
3	0,8	0	0,6	2
3	0	0,7	0,9	3
3	0,2	0	0	4
3	0,4	0,7	0,6	5

Quadro 4.5: Identificação das colunas A, B, C, D e E.

As células de *input* darão origem aos dados da tabela e foram determinadas de acordo com as premissas estabelecidas neste estudo. A análise dos resultados e suas variações são permitidas através da oscilação destes dados de entrada de acordo com os fenômenos observados no processo construtivo convencional.

A matriz dos dados obtidos está referenciada ao tempo de ciclo ideal, onde todas as condições de execução das atividades favorecem que o índice de produtividade se mantenha linear e igual ao valor estabelecido para a moda.

Desta maneira, o parâmetro de comparação para a análise quantitativa de atrasos e esperas será o tempo de ciclo ideal adotado para as atividades, onde esta análise será feita individualmente para cada atividade.

4.3. Identificação das células de *output*

É necessário que se criem condições em que as premissas estabelecidas no estudo sejam observadas, para tanto os dados de *output* estarão sujeitos a regras que delimitem os resultados a tais premissas.

- **Colunas G a O – Linha 27 a linha 62: Atividade 1 STEEL DECK** – Retorna o valor do tempo de ciclo da atividade para o pavimento a que está associado (na mesma linha) identificando ocorrência de atrasos ou esperas.
- **Colunas Q a Y – Linha 27 a linha 62: Atividade 2 ARMAÇÃO** – Retorna o valor do tempo de ciclo da atividade para o pavimento a que está associado (na mesma linha) identificando ocorrência de atrasos ou esperas.
- **Colunas AA e AB – Linha 27 a linha 62: Saldo** – Retorna o valor do saldo acumulado de atrasos ou esperas para o pavimento a que está associado (na mesma linha).
- **Colunas AD a AL – Linha 27 a linha 62: Atividade 3 CONCRETAGEM** – Retorna o valor do tempo de ciclo da atividade para o pavimento a que está associado (na mesma linha) identificando ocorrência de atrasos ou esperas.
- **Colunas AN e AO – Linha 27 a linha 62: Saldo** – Retorna o valor do saldo acumulado de atrasos ou esperas para o pavimento a que está associado (na mesma linha).

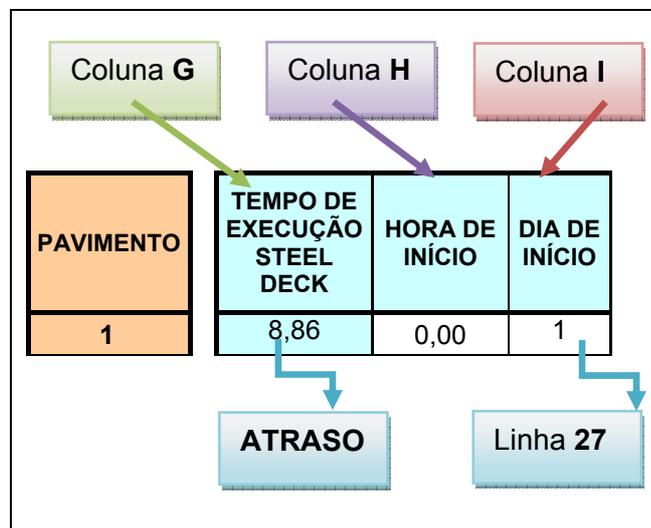
4.3.1 Colunas G a O – linha 27 a linha 62: atividade 1 steel deck

A execução da atividade *steel deck* é desenvolvida entre as colunas G e O e relacionada a cada pavimento associado no intervalo entre as linhas 27 (pavimento 1) e 62 (pavimento 36), adotando o número de pavimentos tipo indicados anteriormente como um total de 36 (trinta e seis).

Por se tratar da primeira atividade a estar sendo realizada e monitorada, indicada como atividade A1, a execução do *steel deck* se iniciará no primeiro pavimento, primeiro dia de trabalho, hora zero.

Conforme pode se observar no Quadro 4.6, a atividade de *steel deck* se inicia no dia 1 de trabalho, independente da data do mês a que se refere, pois este contador é marcado pelo dia de início da execução da atividade A1.

É também relacionado ao primeiro pavimento e embora o horário de início de execução da atividade seja às 07:00 h, assim como o contador de dias de obra, se inicia na hora zero.

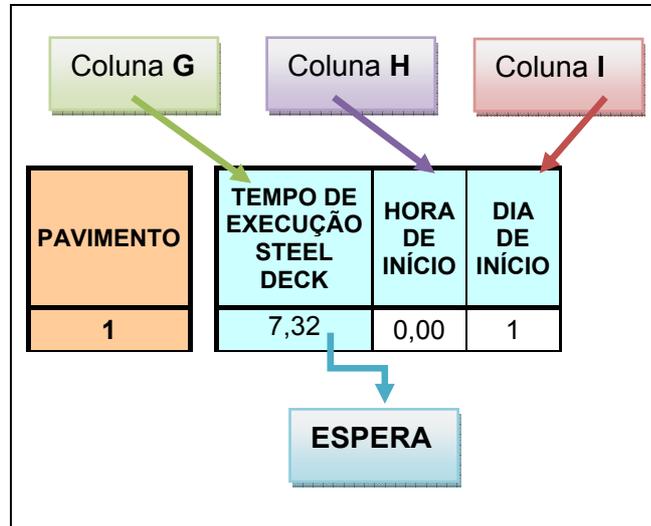


Quadro 4.6: Condição de execução do *steel deck*. Identificação das células na tabela.

Em condições ideais o tempo de execução do *steel deck* deveria ser de 8 (oito) horas, contudo, por não se tratar de uma análise ideal, e sim, de dados de simulação, poderão ocorrer atrasos ou esperas. No caso do exemplo do Quadro 4.6 ocorreu um atraso na execução da atividade A1 – *Steel Deck* de 0,86 hora, o que equivale a aproximadamente 52 minutos.

Isto quer dizer que a atividade de *steel deck* se iniciará no segundo dia de obra (ou dia 2) ainda no primeiro pavimento, pois há um saldo de 0,86 hora ou 52 minutos aproximadamente a ser cumprido ainda no pavimento 1, que não foi totalmente concluído no dia anterior por conta deste atraso.

Poderia ainda ter ocorrido espera e não atraso, conforme ilustração do Quadro 4.7.



Quadro 4.7: Condição de execução do *steel deck*. Identificação de espera.

No caso do exemplo do Quadro 4.7 ocorreu uma espera na execução da atividade A1 – *Steel Deck* de 0,68 horas, o que equivale a aproximadamente 41 minutos.

Isto quer dizer que a atividade de *steel deck* será concluída no primeiro pavimento no primeiro dia de obra e ainda neste dia iniciará o segundo pavimento, pois há um saldo de 0,68 horas que pode ser aproveitado para execução do pavimento 2.

4.3.1.1 Coluna G – tempo de execução do *steel deck*

Seja alimentada a equação determinante do tempo de execução do *steel deck* pelos seguintes dados de *input*:

- **Tempo de Ciclo Ideal *Steel Deck*** – célula **\$E\$6**;
- **Moda** – célula **\$E\$16**;
- **Tempo de Ciclo Mínimo** – célula **\$E\$18**;
- **X Moda** – célula **\$E\$20**;

- **Graus de Liberdade** – célula **A 27** (idêntica à célula E 22);
- **Número Aleatório** – célula **B 27**.

$$=SE((\$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(B27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18))>2*\$E\$6; 2*\$E\$6; \$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(B27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18)) \quad (1)$$

A equação acima retorna o valor do tempo de execução da atividade *steel deck* para o pavimento a que está associado (na mesma linha). Ela faz uso dos dados de *input* e os associa a uma variável aleatória da distribuição qui-quadrado.

Neste caso será utilizada a função qui-quadrado inversa, pois a partir de dois dados associados, a função informa o valor qui-quadrado. Desta maneira, seja a distribuição qui-quadrado inversa:

- **INV.QUI()** – Retorna o inverso da probabilidade uni-caudal da distribuição qui-quadrado, com dados associados de probabilidade e graus de liberdade. *Probabilidade* é a probabilidade associada à distribuição qui-quadrado, um valor entre 0 (zero) e 1 (um) inclusive. Dados requeridos: Probabilidade: coluna **B**. Grau de liberdade: coluna **A**.

Seja a equação (1) reescrita da seguinte maneira:

$$=SE((\$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(B27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18))>2*\$E\$6; 2*\$E\$6; \$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(B27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18)) \quad (1)$$

OU

$$=SE((\text{Moda}-(X\text{Moda}-INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))/X\text{Moda}*(\text{Moda}-\text{Mínimo}))>2*\text{Tempo de Ciclo Ideal}; 2*\text{Tempo de Ciclo Ideal}; \text{Moda}-(X\text{Moda}-INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))/X\text{Moda}*(\text{Moda}-\text{Mínimo})) \quad (1)$$

Isto quer dizer que o resultado esperado da equação (1) depende de uma condição imposta:

$$\text{Se } \text{Moda} - \frac{(X\text{Moda} - INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))}{X\text{Moda}*(\text{Moda} - \text{Mínimo})} > 2*\text{Tempo de Ciclo Ideal}$$

Caso o valor calculado seja maior que a condição de contorno, ou seja, condição esta que estabelece que o tempo de ciclo máximo deva ser duas vezes o valor do tempo de ciclo ideal, se impõe que o valor máximo a ser retornado seja igual ao tempo máximo de ciclo estabelecido.

Caso o calor calculado seja menor que a condição de contorno, este mesmo valor será o valor retornado na célula.

Sejam as condições de cálculo:

- **Verdadeiro:** o valor calculado é maior que o estabelecido como tempo de ciclo máximo. Retornar $2 * \$E\6 .
- **Falso:** o valor calculado é menor que o estabelecido como tempo de ciclo máximo. Retornar $\$E\$16 - (\$E\$20 - \text{INV.QUI}(B27; \$A27)) / \$E\$20 * (\$E\$16 - \$E\$18)$.

As variáveis envolvidas neste processo estão localizadas na coluna A – Graus de Liberdade e coluna B – Aleatório. Estes parâmetros estão diretamente ligados à distribuição qui-quadrado e estão interligados à equação (1) através da linha correspondente ao pavimento. Isto quer dizer que o pavimento 1 (coluna E), localizado na linha 27, utilizará o par de dados A27 e B27, o pavimento 2 (coluna E), localizado na linha 28, utilizará o par de dados A28 e B28 e assim sucessivamente até se atingir o pavimento 36 (coluna E), localizado na linha 62, que utilizará o par de dados A62 e B62.

4.3.1.2 Colunas H, I, J e K – hora de início, dia de início, hora de término e dia de término

Definidas as variáveis de influência na determinação do tempo de execução do *steel deck* – coluna G, sejam as variáveis de influência na determinação das colunas que seguem:

- **Coluna H – Hora de Início:** Aponta o horário de início da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27. Como descrito anteriormente, conforme pode se observar no Quadro 4.8, a atividade de

steel deck se inicia no dia 1 de trabalho, independente da data do mês a que se refere, pois este contador é marcado pelo dia de início da execução da atividade A1.

É também relacionado ao primeiro pavimento e embora o horário de início de execução da atividade seja às 07:00 h, assim como o contador de dias de obra, se inicia na hora zero.

TEMPO DE EXECUÇÃO STEEL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO
7,96	0,00	1	7,96	1
9,57	7,97	1	17,53	3
8,72	17,54	3	26,25	4

Linhas 27 - ESPERA
Linhas 28 - ATRASO

Quadro 4.8: Identificação das células na tabela. Colunas H, I, J e K.

Na seqüência, na linha 28, a execução da atividade *steel deck* no segundo pavimento se inicia 0,01 hora após o encerramento da atividade no pavimento anterior, isto quer dizer que tão logo seja encerrada a atividade em um pavimento, ela será iniciada no pavimento posterior.

Em comparação a célula H27, que tem seu início marcado por zero hora (0,00), a partir da célula H28 seu resultado retornado será igual ao da coluna J da linha anterior somado a 0,01 hora, ou seja, $H28 = J27 + 0,01$, $H29 = J28 + 0,01$ e assim sucessivamente até a célula $H62 = J61 + 0,01$.

- **Coluna I – Dia de Início:** Aponta o dia de início da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27. Como descrito anteriormente, conforme pode se observar no Quadro 4.8, a atividade de *steel deck* se inicia no dia 1 de trabalho, independente da data do mês a

que se refere, pois este contador é marcado pelo dia de início da execução da atividade A1.

Desta maneira pode se concluir que a célula I27 está também relacionada ao primeiro pavimento. Na seqüência, a célula I28 aponta o de início de execução da atividade *steel/ deck* no segundo pavimento conforme o término do pavimento anterior, ou seja, a atividade no pavimento 2 só pode ser iniciada após seu término por completo no pavimento 1. Esta informação é extraída da coluna K, que indica o dia de término da atividade no pavimento referenciado.

Em comparação a célula I27, que tem seu início marcado no dia 1 da obra, a partir da célula I28 seu resultado retornado será igual ao da coluna K da linha anterior, ou seja, $I28 = K27$, $I29 = K28$ e assim sucessivamente até a célula $I62 = K61$.

- **Coluna J – Hora de Término:** Aponta o horário de término da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27. Como pode se observar no Quadro 4.8, a atividade de *steel/ deck* se inicia no dia 1 de trabalho, na hora zero e se encerra às 7,96 horas, pois este é exatamente o tempo de ciclo da atividade. Isto ocorrerá apenas na linha 27, pois se trata do início das atividades.

A partir da célula J28 até a célula J62, se sucederá a soma do tempo de ciclo da atividade, em acumulação. Isto quer dizer que a célula J28 apresentará resultado igual a $J27+G28$, a célula J29 apresentará resultado igual a $J28+G29$ e assim sucessivamente até a célula $J62=J61+G62$.

- **Coluna K – Dia de Término:** Aponta o dia de término da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

Como nos casos anteriores, a célula K27 está relacionada ao primeiro pavimento e a mesma equação utilizada para o valor retornado se estenderá até a célula K62.

O dia de término da execução da atividade por pavimento depende diretamente da duração do tempo de ciclo da atividade e para se obter

informação deste indicador foram criadas mais duas colunas auxiliares, colunas L e M, que permitem a obtenção direta de dados da simulação. A descrição destas colunas será feita em seqüência.

Sendo assim, a partir da célula K27 seu resultado retornado será igual ao informado pela coluna L, na mesma linha mais 1 (um) dia, pois trata-se do término da atividade. Logo, $K27=L27+1$, $K28=L28+1$ e assim sucessivamente até $K62=L62+1$.

4.3.1.3 Colunas L e M – total de dias trabalhados (sem o resto), resto de 8 h

Sejam as variáveis de influência na determinação das colunas que seguem:

- **Coluna L – Total de Dias Trabalhados (sem o resto):** Esta coluna aponta o total de dias trabalhados na obra até o pavimento em referência, ou seja, aponta o resultado até o pavimento referente à linha que está sendo lido. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

O valor retornado na célula L27 é igual ao truncamento do valor gerado pela divisão da hora de término da atividade pelo tempo de ciclo ideal desta, ou seja, $L27=TRUNCAR(J27/SE\$6)$.

A função **TRUNCAR(núm;núm_dígitos)** trunca um número até um número inteiro removendo a parte decimal ou fracionária do número.

No exemplo do Quadro 4.8 pode se observar na célula J28 a hora de término da atividade como sendo 17,53 horas.

Sabendo que o tempo de ciclo ideal do *steel deck* é de 8,00 horas, divide-se o valor que corresponde ao valor inteiro de dois dias trabalhados mais 1,53 horas, que seria o resto.

Desta forma pode-se dizer no exemplo do Quadro 4.8 que a execução de dois pavimentos de *steel deck* consumiu dois dias trabalhados mais 1,53 horas do terceiro dia de obra.

O valor retornado nas células das linhas 27 a 62 é baseado no mesmo tipo de fórmula: L27=TRUNCAR (J27/\$E\$6), L28=TRUNCAR (J28/\$E\$6) e assim sucessivamente até L62=TRUNCAR (J62/\$E\$6).

DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASSO ACUMUL. STELL DECK	ESPERA ACUMUL. STELL DECK
2	1	1,25	1,25	0,00
3	2	6,89	6,89	0,00
4	3	6,42	6,89	-0,46

Soma do **ATRASSO** Soma da **ESPERA**

Quadro 4.9: Identificação das células na tabela. Colunas L, M, N e O.

- **Coluna M – Resto de 8 horas:** Esta coluna retorna o valor do resto omitido pela coluna L ligado diretamente a linha correspondente.

A célula M27 é singular, pois caso ocorra espera no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há resto negativo.

Neste caso:

$$M27=SE(G27<\$E\$6;0;MOD(J27; \$E\$6))$$

(2)

Onde a equação (2) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (G27) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar 0 (zero), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (G27) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o resto da divisão da hora de término (J27) pelo tempo de ciclo ideal (\$E\$6), (MOD(J27;\$E\$6)).

A função **MOD(num;divisor)** retorna o resto da divisão após um número ter sido dividido pelo divisor.

As demais linhas obedecem apenas a função MOD(num;divisor), pois não possuem esta particularidade, logo, a célula M28=(MOD(J28;\$E\$6)), a célula M29=(MOD(J29;\$E\$6)) e assim sucessivamente até a célula M62=(MOD(J62;\$E\$6)).

4.3.1.4 Colunas N e O – atraso acumulado *steel deck* e espera acumulada *steel deck*

As colunas N e O são indicadores da ocorrência de atrasos e esperas, é possível observar o valor acumulado linha após linha.

Os valores de atrasos são representados por valores positivos em negrito na cor vermelha e os valores referentes às esperas são representados por valores negativos em negrito pela cor azul.

Representar valores negativos para o acúmulo de esperas significa que estas horas de desperdício geradas foram subtraídas do tempo de execução das atividades por pavimento. Significa que foi possível “adiantar” a frente de serviço decorrente de um índice de produtividade mais alto.

Representar valores positivos para o acúmulo de atrasos significa que estas horas de desperdício geradas foram adicionadas ao tempo de execução das atividades por pavimento. Significa que houve um atraso na frente de serviço decorrente de um índice de produtividade mais baixo.

Ambas as colunas estão relacionadas ao tempo de execução do *steel deck* (coluna G) e o tempo de ciclo ideal *steel deck* (célula \$E\$6), estando condicionadas a uma simples relação: o tempo de execução da atividade *steel deck* (coluna G) foi maior que o tempo de ciclo ideal estabelecido para a atividade *steel deck* (célula \$E\$6)?

- **Coluna N – Atraso Acumulado *Steel Deck*:** Esta coluna retorna o valor do atraso acumulado pelo tempo de execução do *steel deck*.
A célula N27 é singular, pois caso ocorra espera no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há atraso acumulado.

Neste caso:

$$N27 = SE(G27 > \$E\$6; G27 - \$E\$6; 0) \quad (3)$$

A equação (3) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (G27) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o valor correspondente ao tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (G27-\$E\$6), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (G27) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar 0 (zero).

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células N28 e N62 obedecem à equação (4).

$$N28 = SE(G28 > \$E\$6; N27 + (G28 - \$E\$6); N27) \quad (4)$$

A equação (4) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento (G28) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o valor correspondente à soma do valor acumulado na execução do pavimento anterior mais o tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (N 27+(G28-\$E\$6)), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento (G28) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o valor acumulado na execução do pavimento anterior (N27).

A equação (5) mostra o resultado esperado para o pavimento 36 (célula N62):

$$N62 = SE(G62 > \$E\$6; N61 + (G62 - \$E\$6); N61) \quad (5)$$

- **Coluna O – Espera Acumulada *Steel Deck*:** Esta coluna retorna o valor da espera acumulada pelo tempo de execução do *steel deck*.

A célula O27 é singular, pois caso ocorra atraso no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há espera acumulada.

Neste caso:

$$O27 = SE(G27 < \$E\$6; G27 - \$E\$6; 0)$$

(6)

A equação (6) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (G27) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o valor correspondente ao tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (G27-\$E\$6), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (G27) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar 0 (zero).

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células O28 e O62 obedecem à equação (7).

$$O28 = SE(G28 > \$E\$6; O27 + (G28 - \$E\$6); O27)$$

(7)

A equação (7) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento (G28) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o valor correspondente à soma do valor acumulado na execução do pavimento anterior mais o tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (O 27+(G28-\$E\$6)), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento (G28) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$6), retornar o valor acumulado na execução do pavimento anterior (O27).

A equação (8) mostra o resultado esperado para o pavimento 36 (célula O62):

$$O62 = SE(G62 > \$E\$6; O61 + (G62 - \$E\$6); O61)$$

(8)

Coluna G		Coluna I		Coluna K		Coluna M		Coluna O	
Coluna H		Coluna J		Coluna L		Coluna N			
Atividade 1 - STEEL DECK									
TEMPO DE EXECUÇÃO STEEL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. STELL DECK	ESPERA ACUMUL. STELL DECK	
8,86	0,00	1	8,86	2	1	0,86	0,86	0,00	
7,71	8,87	2	16,57	3	2	0,57	0,86	-0,29	
16,00	16,58	3	32,57	5	4	0,57	8,86	-0,29	

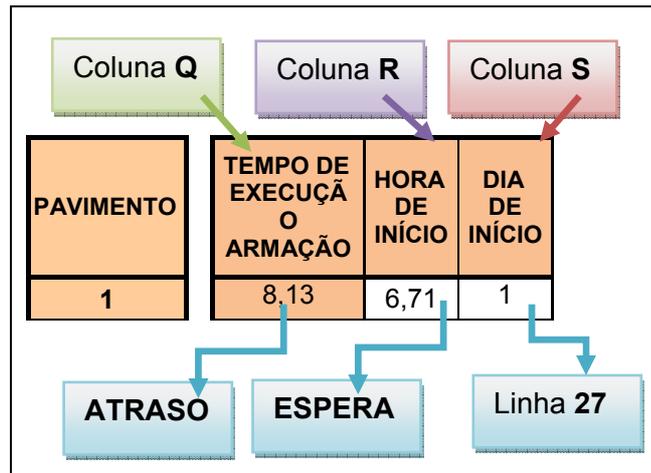
Quadro 4.10: Dados gerados para a Atividade 1 – *Steel Deck*.

4.3.2 Colunas Q a Y – linha 27 a linha 62: atividade 2 armação

A execução da atividade armação é desenvolvida entre as colunas Q e Y e relacionada a cada pavimento associado no intervalo entre as linhas 27 (pavimento 1) e 62 (pavimento 36), adotando o número de pavimentos tipo indicados anteriormente como um total de 36 (trinta e seis).

Por se tratar da segunda atividade a estar sendo realizada e monitorada, indicada como atividade A2, a execução da armação se iniciará logo após a finalização da atividade *steel deck* no primeiro pavimento, dia de trabalho a ser definido e hora de trabalho a ser definida pelo tempo de execução do *steel deck*.

Conforme pode se observar no Quadro 4.11, a atividade de armação pode se iniciar no dia 1 de trabalho caso ocorra espera no tempo de execução do *steel deck*, caso contrário, na maioria dos casos, a atividade de armação se iniciará no pavimento 1 dia 2 de trabalho.

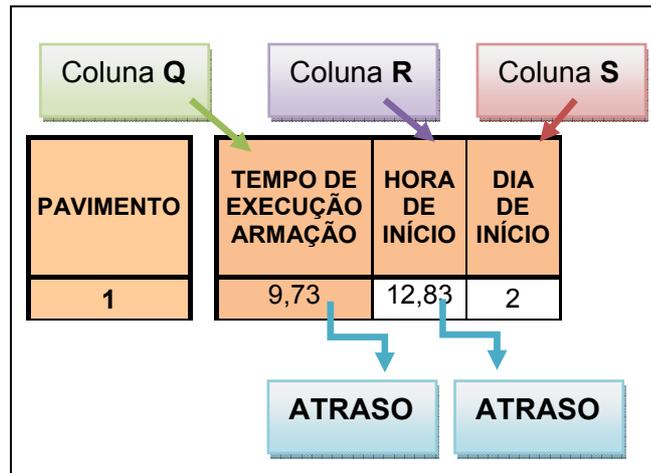


Quadro 4.11: Condição de execução da armação. Identificação das células na tabela.

Em condições ideais o tempo de execução da armação deveria ser de 8 (oito) horas, contudo, por não se tratar de uma situação ideal, e sim, de dados de simulação, poderão ocorrer atrasos ou esperas. No caso do exemplo do Quadro 4.11 ocorreu um atraso na execução da atividade A2 – Armação de 0,13 hora, o que equivale a aproximadamente 8 minutos e espera na execução da atividade A1 – *Steel Deck* de 1,29 horas, o que equivale a 1 hora e 17 minutos.

Isto quer dizer que a atividade de armação se iniciará no primeiro dia de obra (ou dia 1) no primeiro pavimento logo após a finalização da execução do *steel deck*, pois há um saldo de 1,29 horas ou 1 hora e 17 minutos aproximadamente a ser cumprido ainda no pavimento 1, já que o *steel deck* foi totalmente concluído e há a ocorrência de espera.

Poderia ainda ter ocorrido atraso e não espera, conforme ilustração do Quadro 4.12.



Quadro 4.12: Condição de execução da armação. Identificação de atraso.

No caso do exemplo do Quadro 4.12 ocorreu um atraso na execução da atividade A1 – *Steel Deck* de 4,83 horas, o que equivale a aproximadamente 4 horas e 50 minutos.

Isto quer dizer que a atividade de *steel deck* será concluída no primeiro pavimento no segundo dia de obra e ainda neste dia será iniciada a atividade armação.

Ocorreu um atraso de 4 horas e 50 minutos no tempo de execução do *steel deck* e este atraso será acumulado ao atraso da atividade A2 – Armação, que foi executada em 1,73 horas a mais que o previsto, o que equivale a aproximadamente 1 hora e 44 minutos.

Desta maneira, pode-se dizer que cada atividade gera uma medida de atraso independente que se acumula por toda a execução da obra.

4.3.2.1 Coluna Q – tempo de execução da armação

Seja alimentada a equação determinante do tempo de execução da armação pelos seguintes dados de *in put*:

- **Tempo de Ciclo Ideal Armação** – célula **\$E\$8**;
- **Moda** – célula **\$E\$16**;
- **Tempo de Ciclo Mínimo** – célula **\$E\$18**;

- **X Moda** – célula **\$E\$20**;
- **Graus de Liberdade** – célula **A 27** (idêntica à célula E 22);
- **Número Aleatório** – célula **C 27**.

$$=SE((\$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(C27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18))>2*\$E\$8; 2*\$E\$8; \$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(C27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18)) \quad (9)$$

A equação acima retorna o valor do tempo de execução da atividade armação para o pavimento a que está associado (na mesma linha). Ela faz uso dos dados de *input* e os associa a uma variável aleatória da distribuição qui-quadrado.

Neste caso será utilizada a função qui-quadrado inversa, pois a partir de dois dados associados, a função informa o valor qui-quadrado. Desta maneira, seja a distribuição qui-quadrado inversa:

- **INV.QUI()** – Retorna o inverso da probabilidade uni-caudal da distribuição qui-quadrado, com dados associados de probabilidade e graus de liberdade. *Probabilidade* é a probabilidade associada à distribuição qui-quadrado, um valor entre 0 (zero) e 1 (um) inclusive. Dados requeridos: Probabilidade: coluna **C**. Grau de liberdade: coluna **A**.

Seja a equação (9) reescrita da seguinte maneira:

$$=SE((\$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(C27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18))>2*\$E\$8; 2*\$E\$8; \$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(C27;\$A27))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18)) \quad (9)$$

OU

$$=SE((\text{Moda}-(\text{XModa}-INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))/\text{XModa}*(\text{Moda}-\text{Mínimo}))>2*\text{Tempo de Ciclo Ideal}; 2*\text{Tempo de Ciclo Ideal}; \text{Moda}-(\text{XModa}-INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))/\text{XModa}*(\text{Moda}-\text{Mínimo})) \quad (9)$$

Isto quer dizer que o resultado esperado da equação (9) depende de uma condição imposta:

$$\text{Se Moda} - \frac{(\text{XModa} - \text{INV.QUI}(\text{Probabilidade}; \text{Grau de Liberdade}))}{\text{XModa} * (\text{Moda} - \text{Mínimo})} > 2 * \text{Tempo de Ciclo Ideal}$$

Caso o valor calculado seja maior que a condição de contorno, ou seja, condição esta que estabelece que o tempo de ciclo máximo deva ser duas vezes o valor do tempo de ciclo ideal, se impõe que o valor máximo a ser retornado seja igual ao tempo máximo de ciclo estabelecido.

Caso o calor calculado seja menor que a condição de contorno, este mesmo valor será o valor retornado na célula.

Sejam as condições de cálculo:

- **Verdadeiro:** o valor calculado é maior que o estabelecido como tempo de ciclo máximo. Retornar $2 * \$E\8 .
- **Falso:** o valor calculado é menor que o estabelecido como tempo de ciclo máximo. Retornar $\$E\$16 - (\$E\$20 - INV.QUI(C27; \$A27)) / \$E\$20 * (\$E\$16 - \$E\$18)$.

As variáveis envolvidas neste processo estão localizadas na coluna A – Graus de Liberdade e coluna C – Aleatório. Estes parâmetros estão diretamente ligados à distribuição qui-quadrado e estão interligados à equação (9) através da linha correspondente ao pavimento. Isto quer dizer que o pavimento 1 (coluna E), localizado na linha 27, utilizará o par de dados A27 e C27, o pavimento 2 (coluna E), localizado na linha 28, utilizará o par de dados A28 e C28 e assim sucessivamente até se atingir o pavimento 36 (coluna E), localizado na linha 62, que utilizará o par de dados A62 e C62.

4.3.2.2 Colunas R, S, T e U – hora de início, dia de início, hora de término e dia de término

Definidas as variáveis de influência na determinação do tempo de execução da armação – coluna Q, sejam as variáveis de influência na determinação das colunas que seguem:

- **Coluna R – Hora de Início:** Aponta o horário de início da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27. Como descrito

anteriormente, conforme pode se observar no Quadro 4.13, a atividade de armação se inicia pós a finalização do *steel deck*.

É também relacionado ao primeiro pavimento embora o horário de início de execução da atividade armação aconteça após a finalização da atividade anterior. Logo a célula R27 tem valor igual a célula H28.

TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO
6,51	6,90	1	13,40	2
14,06	15,43	2	29,49	4
8,42	29,50	4	37,91	5

Coluna R (laranja), Coluna S (cinza), Coluna T (roxo), Coluna U (rosa)

Linha 27 - ESPERA

Linha 28 - ATRASO

Quadro 4.13: Identificação das células na tabela. Colunas R, S, T e U.

Na seqüência, na célula R28, a execução da armação apresenta a seguinte condição: $R28 = \text{MÁXIMO}(J28; T27) + 0,01$.

A função **MÁXIMO** (núm1;núm2;...) retorna o valor máximo de um conjunto de argumentos.

Sendo assim, o resultado fornecido será fruto da pesquisa entre o maior valor fornecido, o valor indicado como término da execução do *steel deck* (J28) no mesmo pavimento ou o valor indicado como término da execução da armação (T27) no pavimento anterior. Isto porque não é possível iniciar a atividade de armação sem que a atividade de *steel deck* tenha terminado no mesmo pavimento e não é possível iniciar a atividade de armação sem que o pavimento anterior tenha sido encerrado.

O intervalo entre as células R28 e R62 seguirá a mesma lógica, logo, $R28 = \text{MÁXIMO}(J28; T27) + 0,01$, $R29 = \text{MÁXIMO}(J29; T28) + 0,01$ e assim sucessivamente até $R62 = \text{MÁXIMO}(J62; T61) + 0,01$.

- **Coluna S – Dia de Início:** Aponta o dia de início da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

A célula S27 está relacionada ao primeiro pavimento e seu valor é igual ao fornecido pela célula I28 ($S27=I28$), pois não é possível iniciar a atividade de armação sem que a atividade de *steel deck* tenha terminado no mesmo pavimento.

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células S28 e S62 obedecem à equação (10).

$$S28 =SE(R28=H29;K28;(V27+1))$$

(10)

A equação (10) determina que: se a hora de início de execução da atividade armação no pavimento 2 (R28) for igual a hora de início da atividade *steel deck* no pavimento posterior (H29), retornar o dia de término da atividade *steel deck* (K28), caso contrário, se a hora de início de execução da atividade armação no pavimento 2 (R28) for diferente da hora de início da atividade *steel deck* no pavimento posterior (H29), retornar o total de dias trabalhados (sem o resto) para atividade de armação.

Esta informação é extraída da coluna V, que indica o dia de término da atividade no pavimento referenciado.

Analogamente, para a célula S 62:

$$S62 =SE(R62=H63;K62;(V61+1))$$

(11)

- **Coluna T – Hora de Término:** Aponta o horário de término da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

A partir da célula T27 até a célula T62, se sucederá a soma do tempo de execução da armação (Q27) mais a hora de início da atividade (R27). Isto quer dizer que a célula T28 apresentará resultado igual a $Q28+R28$, a célula T29 apresentará resultado igual a $Q29+R29$ e assim sucessivamente até a célula $T62=Q62+R62$.

- **Coluna U – Dia de Término:** Aponta o dia de término da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

Como nos casos anteriores, a célula U27 está relacionada ao primeiro pavimento e a mesma equação utilizada para o valor retornado se estenderá até a célula U62.

O dia de término da execução da atividade por pavimento depende diretamente da duração do tempo de ciclo da atividade e para se obter informação deste indicador foram criadas mais duas colunas auxiliares, colunas V e W, que permitem a obtenção direta de dados da simulação. A descrição destas colunas será feita em seqüência.

Sendo assim, a partir da célula U27 seu resultado retornado será igual ao informado pela coluna V, na mesma linha mais 1 (um) dia, pois trata-se do término da atividade. Logo, $U27=V27+1$, $U28=V28+1$ e assim sucessivamente até $U62=V62+1$.

4.3.2.3 Colunas V e W – total de dias trabalhados (sem o resto), resto de 8 h

Sejam as variáveis de influência na determinação das colunas que seguem:

- **Coluna V – Total de Dias Trabalhados (sem o resto):** Esta coluna aponta o total de dias trabalhados na obra até o pavimento em referência, ou seja, aponta o resultado até o pavimento referente à linha que está sendo lido. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

O valor retornado na célula V27 é igual ao truncamento do valor gerado pela divisão da hora de término da atividade pelo tempo de ciclo ideal desta, ou seja, $V27=TRUNCAR(T27/SE\$8)$.

A função **TRUNCAR(núm;núm_dígitos)** trunca um número até um número inteiro removendo a parte decimal ou fracionária do número.

No exemplo do Quadro 4.13 pode se observar na célula T28 a hora de término da atividade como sendo 29,49 horas. Sabendo que o tempo de

ciclo ideal da armação é de 8,00 horas, divide-se o valor que corresponde ao valor inteiro de três dias trabalhados mais 5,49 horas, que seria o resto. Desta forma pode-se dizer no exemplo do Quadro 4.13 que a execução de dois pavimentos de armação consumiu três dias trabalhados mais 5,49 horas do quarto dia de obra.

O valor retornado nas células das linhas 27 a 62 é baseado no mesmo tipo de fórmula: $V27=TRUNCAR (T27/SE\$8)$, $V28=TRUNCAR (T28/SE\$8)$ e assim sucessivamente até $V62=TRUNCAR (T62/SE\$8)$.

DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. ARMAÇÃO	ESPERA ACUMUL. ARMAÇÃO
3	2	4,87	0,00	-1,17
5	4	2,71	2,03	-1,17
7	6	7,09	8,44	-1,17

Soma do **ATRASO** Soma da **ESPERA**

Quadro 4.14: Identificação das células na tabela. Colunas V, W, X e Y.

- Coluna W – Resto de 8 horas:** Esta coluna retorna o valor do resto omitido pela coluna V ligado diretamente a linha correspondente. O valor retornado na célula W27 obedece a função MOD (num;divisor). A função **MOD (num;divisor)** retorna o resto da divisão após um número ter sido dividido pelo divisor. Desta maneira a célula $W27=(MOD(T27;SE\$8))$, a célula $W28=(MOD(T28;SE\$8))$ e assim sucessivamente até a célula $W62=(MOD(T62;SE\$8))$.

4.3.2.4 Colunas X e Y – atraso acumulado armação e espera acumulada armação

As colunas X e Y são indicadores da ocorrência de atrasos e esperas, é possível observar o valor acumulado linha após linha.

Os valores de atrasos são representados por valores positivos em negrito na cor azul e os valores referentes às esperas são representados por valores negativos em negrito pela cor vermelha.

Representar valores negativos para o acúmulo de esperas significa que estas horas de desperdício geradas foram subtraídas do tempo de execução das atividades por pavimento. Significa que foi possível “adiantar” a frente de serviço decorrente de um índice de produtividade mais alto.

Representar valores positivos para o acúmulo de atrasos significa que estas horas de desperdício geradas foram adicionadas ao tempo de execução das atividades por pavimento. Significa que houve um atraso na frente de serviço decorrente de um índice de produtividade mais baixo.

Ambas as colunas estão relacionadas ao tempo de execução da armação (coluna Q) e o tempo de ciclo ideal armação (célula $\$E\8), estando condicionadas a uma simples relação: o tempo de execução da atividade armação (coluna Q) foi maior que o tempo de ciclo ideal estabelecido para a atividade armação (célula $\$E\8)?

- **Coluna X – Atraso Acumulado Armação:** Esta coluna retorna o valor do atraso acumulado pelo tempo de execução da armação.

A célula Q27 é singular, pois caso ocorra espera no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há atraso acumulado.

Neste caso:

$$X27 = SE(Q27 > \$E\$8; Q27 - \$E\$8; 0)$$

(12)

A equação (12) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (Q27) for maior que o tempo de ciclo ideal ($\$E\8), retornar

o valor correspondente ao tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (Q27-\$E\$8), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (Q27) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar 0 (zero).

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células X28 e X62 obedecem à equação (13).

$$X28 =SE(Q28>\$E\$8;X27+(Q28-\$E\$8);X27) \quad (13)$$

A equação (13) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento (Q28) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar o valor correspondente à soma do valor acumulado na execução do pavimento anterior mais o tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (X 27+(Q28-\$E\$8)), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento (Q28) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar o valor acumulado na execução do pavimento anterior (X27).

A equação (14) mostra o resultado esperado para o pavimento 36 (célula X62):

$$X62 =SE(Q62>\$E\$8;X61+(Q62-\$E\$8);X61) \quad (14)$$

- **Coluna Y – Espera Acumulada Armação:** Esta coluna retorna o valor da espera acumulada pelo tempo de execução da armação.

A célula Y27 é singular, pois caso ocorra atraso no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há espera acumulada.

Neste caso:

$$Y27 =SE(Q27<\$E\$8;Q27-\$E\$8;0) \quad (15)$$

A equação (15) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (Q27) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar o valor correspondente ao tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução

da atividade no pavimento (Q27-\$E\$8), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (Q27) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar 0 (zero).

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células Y28 e Y62 obedecem à equação (16).

$$Y28 = SE(Q28 > \$E\$8; Y27 + (Q28 - \$E\$8); Y27) \quad (16)$$

A equação (16) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento (Q28) for menor que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar o valor correspondente à soma do valor acumulado na execução do pavimento anterior mais o tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento (Y 27+(Q28-\$E\$8)), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento (Q28) for maior que o tempo de ciclo ideal (\$E\$8), retornar o valor acumulado na execução do pavimento anterior (Y27).

A equação (17) mostra o resultado esperado para o pavimento 36 (célula Y62):

$$Y62 = SE(Q62 > \$E\$8; Y61 + (Q62 - \$E\$8); Y61) \quad (17)$$

Atividade 1 - ARMAÇÃO								
TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. ARMAÇÃO	ESPERA ACUMUL. ARMAÇÃO
6,83	14,04	2	20,87	3	2	4,87	0,00	-1,17
10,03	24,68	4	34,71	5	4	2,71	2,03	-1,17
14,41	40,68	6	55,09	7	6	7,09	8,44	-1,17

Quadro 4.15: Dados gerados para a Atividade 2 – Armação.

4.3.3 Colunas AA e AB – linha 27 a linha 62: atraso acumulado total e espera acumulada total

As colunas AA e AB retornam o valor do saldo acumulado de atrasos ou esperas para o pavimento a que está associado (na mesma linha).

- **Coluna AA – Atraso Acumulado Total:** Esta coluna aponta o acúmulo de atraso durante a obra entre a Atividade 1 e a Atividade 2. Representa o somatório das colunas N (Atraso acumulado *steel deck*) e X (Atraso acumulado armação).

Seja $AA27=N27+X27$, $AA28=N28+X28$ e assim sucessivamente até a célula $AA62=N62+X62$.

- **Coluna AB – Espera Acumulada Total:** Esta coluna aponta o acúmulo de espera durante a obra entre a Atividade 1 e a Atividade 2. Representa o somatório das colunas O (Espera acumulada *steel deck*) e Y (Espera acumulada armação).

Seja $AB27=O27+Y27$, $AB28=O28+Y28$ e assim sucessivamente até a célula $AB62=O62+Y62$.

SALDO	
ATRASO ACUMUL. TOTAL	ESPERA ACUMUL. TOTAL
2,66	-1,84
11,73	-1,84
16,09	-3,11

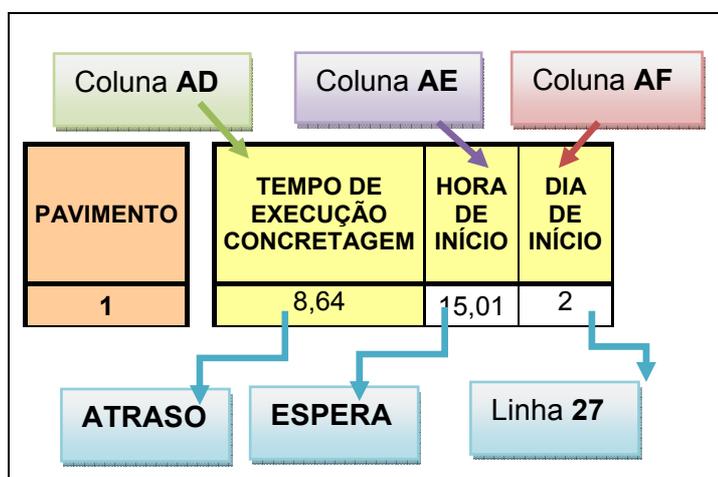
Quadro 4.16: Saldo: atraso acumulado total e espera acumulada total.

4.3.4 Colunas AD a AL – linha 27 a linha 62: atividade 3 concretagem

A execução da atividade concretagem é desenvolvida entre as colunas AD e AL e relacionada a cada pavimento associado no intervalo entre as linhas 27 (pavimento 1) e 62 (pavimento 36), adotando o número de pavimentos tipo indicados anteriormente como um total de 36 (trinta e seis).

Por se tratar da terceira atividade a estar sendo realizada e monitorada, indicada como atividade A3, a execução da concretagem se iniciará logo após a finalização da atividade armação no primeiro pavimento, dia de trabalho a ser definido e hora de trabalho a ser definida pelo tempo de execução da armação.

Conforme pode se observar no Quadro 4.17, a atividade de concretagem pode se iniciar no dia 2 de trabalho caso ocorra espera no tempo de execução da armação, caso contrário, na maioria dos casos, a atividade de concretagem se iniciará no pavimento 1 dia 3 de trabalho.



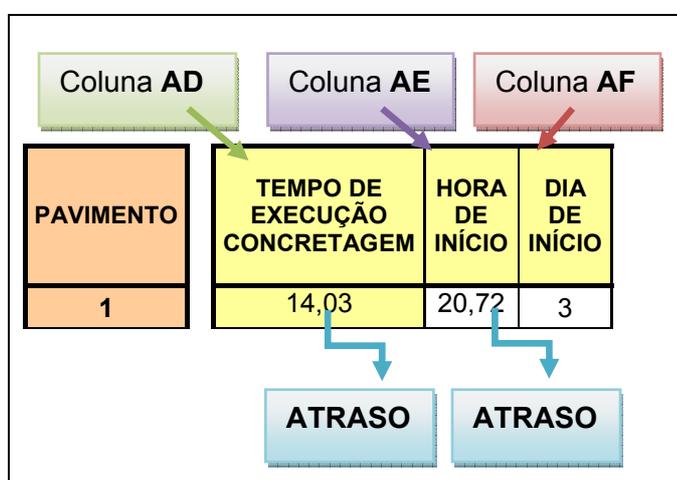
Quadro 4.17: Condição de execução da concretagem. Identificação das células na tabela.

Em condições ideais o tempo de execução da concretagem deveria ser de 8 (oito) horas, contudo, por não se tratar de uma análise ideal, e sim, de dados de simulação, poderão ocorrer atrasos ou esperas. No caso do exemplo do Quadro 4.17 ocorreu um atraso na execução da atividade A3 – Concretagem de 0,64 hora, o

que equivale a aproximadamente 38 minutos e espera na execução da atividade A2 – Armação de 0,99 hora, o que equivale a 59 minutos.

Isto quer dizer que a atividade de concretagem se iniciará no segundo dia de obra (ou dia 2) no primeiro pavimento logo após a finalização da execução da armação, pois há um saldo de 0,99 hora ou 59 minutos aproximadamente a ser cumprido ainda no pavimento 1, já que a armação foi totalmente concluída e há a ocorrência de espera.

Poderia ainda ter ocorrido atraso e não espera, conforme ilustração do Quadro 4.18.



Quadro 4.18: Condição de execução da concretagem. Identificação de Atraso.

No caso do exemplo do Quadro 4.18 ocorreu um atraso na execução da atividade A2 – Armação de 4,72 horas, o que equivale a aproximadamente 4 horas e 43 minutos.

Isto quer dizer que a atividade de armação será concluída no primeiro pavimento no terceiro dia de obra e ainda neste dia será iniciada a atividade concretagem.

Ocorreu um atraso de 4 horas e 43 minutos no tempo de execução da armação e este atraso será acumulado ao atraso da atividade A3 – Concretagem, que foi executada em 6,03 horas a mais que o previsto, o que equivale a aproximadamente 6 horas e 2 minutos.

Desta maneira, pode-se dizer que cada atividade gera uma medida de atraso independente que se acumula por toda a execução da obra.

4.3.4.1 Coluna AD – tempo de execução da concretagem

Seja alimentada a equação determinante do tempo de execução da armação pelos seguintes dados de *input*:

- **Tempo de Ciclo Ideal** Concretagem – célula **\$E\$10**;
- **Moda** – célula **\$E\$16**;
- **Tempo de Ciclo Mínimo** – célula **\$E\$18**;
- **X Moda** – célula **\$E\$20**;
- **Graus de Liberdade** – célula **A 27** (idêntica à célula E 22);
- **Número Aleatório** – célula **D 27**.

$$=SE((\$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(D27;\$A27)))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18))>2*\$E\$10; 2*\$E\$10; \$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(D27;\$A27)))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18)) \quad (18)$$

A equação acima retorna o valor do tempo de execução da atividade concretagem para o pavimento a que está associado (na mesma linha). Ela faz uso dos dados de *input* e os associa a uma variável aleatória da distribuição qui-quadrado.

Neste caso será utilizada a função qui-quadrado inversa, pois a partir de dois dados associados, a função informa o valor qui-quadrado. Desta maneira, seja distribuição qui-quadrado inversa:

- **INV.QUI()** – Retorna o inverso da probabilidade uni-caudal da distribuição qui-quadrado, com dados associados de probabilidade e graus de liberdade. *Probabilidade* é a probabilidade associada à distribuição qui-quadrado, um valor entre 0 (zero) e 1 (um) inclusive. Dados requeridos: Probabilidade: coluna **D**. Grau de liberdade: coluna **A**.

Seja a equação (18) reescrita da seguinte maneira:

$$=SE((\$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(D27;\$A27)))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18))> 2*\$E\$10; 2*\$E\$10; \$E\$16-(\$E\$20-INV.QUI(D27;\$A27)))/\$E\$20*(\$E\$16-\$E\$18)) \quad (18)$$

OU

$$=SE((\text{Moda}-(X\text{Moda}-INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))/X\text{Moda}*(\text{Moda}-\text{Mínimo}))>2*\text{Tempo de Ciclo Ideal};2*\text{Tempo de Ciclo Ideal};\text{Moda}-(X\text{Moda}-INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))/X\text{Moda}*(\text{Moda}-\text{Mínimo})) \quad (18)$$

Isto quer dizer que o resultado esperado da equação (18) depende de uma condição imposta:

$$\text{Se } \text{Moda} - \frac{(\text{XModa} - INV.QUI(\text{Probabilidade};\text{Grau de Liberdade}))}{X\text{Moda}*(\text{Moda} - \text{Mínimo})} > 2*\text{Tempo de Ciclo Ideal}$$

Caso o valor calculado seja maior que a condição de contorno, ou seja, condição esta que estabelece que o tempo de ciclo máximo deva ser duas vezes o valor do tempo de ciclo ideal, se impõe que o valor máximo a ser retornado seja igual ao tempo máximo de ciclo estabelecido.

Caso o calor calculado seja menor que a condição de contorno, este mesmo valor será o valor retornado na célula.

Sejam as condições de cálculo:

- **Verdadeiro:** o valor calculado é maior que o estabelecido como tempo de ciclo máximo. Retornar $2*E\$10$.
- **Falso:** o valor calculado é menor que o estabelecido como tempo de ciclo máximo. Retornar $E\$16-(E\$20-INV.QUI(D27;A27))/E\$20*(E\$16-E\$18)$.

As variáveis envolvidas neste processo estão localizadas na coluna A – Graus de Liberdade e coluna D – Aleatório. Estes parâmetros estão diretamente ligados à distribuição qui-quadrado e estão interligados à equação (18) através da linha correspondente ao pavimento. Isto quer dizer que o pavimento 1 (coluna E), localizado na linha 27, utilizará o par de dados A27 e D27, o pavimento 2 (coluna E), localizado na linha 28, utilizará o par de dados A28 e D28 e assim sucessivamente até se atingir o pavimento 36 (coluna E), localizado na linha 62, que utilizará o par de dados A62 e D62.

4.3.4.2 Colunas AE, AF, AG e AH – hora de início, dia de início, hora de término e dia de término

Definidas as variáveis de influência na determinação do tempo de execução da concretagem – coluna AD, sejam as variáveis de influência na determinação das colunas que seguem:

- **Coluna AE – Hora de Início:** Aponta o horário de início da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27. Como descrito anteriormente, conforme pode se observar no Quadro 4.18, a atividade de concretagem se inicia pós a finalização da armação.

É também relacionado ao primeiro pavimento embora o horário de início de execução da atividade concretagem aconteça após a finalização da atividade anterior. Logo a célula AE27 tem valor igual a célula R28.

TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAGEM	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO
10,73	15,75	2	26,48	4
10,52	31,75	4	42,27	6
9,51	42,28	6	51,79	7

Quadro 4.19: Identificação das células na tabela. Colunas AE, AF, AG e AH.

Na seqüência, na célula AE28, a execução da concretagem apresenta a seguinte condição: $AE28 = \text{MÁXIMO}(T28; AG27) + 0,01$.

A função **MÁXIMO (núm1;núm2;...)** retorna o valor máximo de um conjunto de argumentos.

Sendo assim, o resultado fornecido será fruto da pesquisa entre o maior valor fornecido, o valor indicado como término da execução da armação

(T28) no mesmo pavimento ou o valor indicado como término da execução da concretagem (AE27) no pavimento anterior. Isto porque não é possível iniciar a atividade de concretagem sem que a atividade de armação tenha terminado no mesmo pavimento e não é possível iniciar a atividade de concretagem sem que o pavimento anterior tenha sido encerrado.

O intervalo entre as células AE28 e AE62 seguirá a mesma lógica, logo, $AE28 = \text{MÁXIMO}(T28; AG27) + 0,01$, $AE29 = \text{MÁXIMO}(T29; AG28) + 0,01$ e assim sucessivamente até $AE62 = \text{MÁXIMO}(T62; AG61) + 0,01$.

- **Coluna AF – Dia de Início:** Aponta o dia de início da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

A célula AF27 está relacionada ao primeiro pavimento e seu valor é igual ao fornecido pela célula S28 ($AF27 = S28$), pois não é possível iniciar a atividade de concretagem sem que a atividade de armação tenha terminado no mesmo pavimento.

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células AF28 e AF62 obedecem à equação (19).

$$AF28 = SE(AE28=R29; U28; (AI27+1))$$

(19)

A equação (19) determina que: se a hora de início de execução da atividade concretagem no pavimento 2 (AE28) for igual a hora de início da atividade armação no pavimento posterior (R29), retornar o dia de término da atividade armação (U28), caso contrário, se a hora de início de execução da atividade concretagem no pavimento 2 (AE28) for diferente da hora de início da atividade armação no pavimento posterior (R29), retornar o total de dias trabalhados (sem o resto) para atividade de concretagem.

Esta informação é extraída da coluna AI, que indica o dia de término da atividade no pavimento referenciado.

Analogamente, para a célula AF 62:

$$AF62 = SE(AE62=R63; U62; (AI61+1))$$

(20)

- **Coluna AG – Hora de Término:** Aponta o horário de término da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

A partir da célula AG27 até a célula AG62, se sucederá a soma do tempo de execução da concretagem (AD27) mais a hora de início da atividade (AE27). Isto quer dizer que a célula AG28 apresentará resultado igual a $AD28+AE28$, a célula AG29 apresentará resultado igual a $AD29+AE29$ e assim sucessivamente até a célula $AG62=AD62+AE62$.

- **Coluna AH – Dia de Término:** Aponta o dia de término da atividade por pavimento. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

Como nos casos anteriores, a célula AH27 está relacionada ao primeiro pavimento e a mesma equação utilizada para o valor retornado se estenderá até a célula AH62.

O dia de término da execução da atividade por pavimento depende diretamente da duração do tempo de ciclo da atividade e para se obter informação deste indicador foram criadas mais duas colunas auxiliares, colunas AI e AJ, que permitem a obtenção direta de dados da simulação. A descrição destas colunas será feita em seqüência.

Sendo assim, a partir da célula AH27 seu resultado retornado será igual ao informado pela coluna AI, na mesma linha mais 1 (um) dia, pois trata-se do término da atividade. Logo, $AH27=AI27+1$, $AH28=AI28+1$ e assim sucessivamente até $AH62=AI62+1$.

4.3.4.3 Colunas AI e AJ – total de dias trabalhados (sem o resto), resto de 8 h

Sejam as variáveis de influência na determinação das colunas que seguem:

- **Coluna AI – Total de Dias Trabalhados (sem o resto):** Esta coluna aponta o total de dias trabalhados na obra até o pavimento em referência, ou seja, aponta o resultado até o pavimento referente à linha que está

sendo lido. Está interligada às demais colunas pela mesma linha de pavimento, que se inicia na linha de número 27.

O valor retornado na célula A127 é igual ao truncamento do valor gerado pela divisão da hora de término da atividade pelo tempo de ciclo ideal desta, ou seja, $A127=TRUNCAR(AG27/SE\$10)$.

A função **TRUNCAR(núm;núm_dígitos)** trunca um número até um número inteiro removendo a parte decimal ou fracionária do número.

No exemplo do Quadro 4.19 pode se observar na célula AG28 a hora de término da atividade como sendo 42,27 horas. Sabendo que o tempo de ciclo ideal da concretagem é de 8,00 horas, divide-se o valor que corresponde ao valor inteiro de cinco dias trabalhados mais 2,27 horas, que seria o resto.

Desta forma pode-se dizer no exemplo do Quadro 4.19 que a execução de dois pavimentos de concretagem consumiu cinco dias trabalhados mais 2,27 horas do sexto dia de obra.

O valor retornado nas células das linhas 27 a 62 é baseado no mesmo tipo de fórmula: $A127=TRUNCAR(AG27/SE\$10)$, $A128=TRUNCAR(AG28/SE\$10)$ e assim sucessivamente até $A162=TRUNCAR(AG62/SE\$10)$.

		Coluna AI	Coluna AJ	Coluna AK	Coluna AL
DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASSO ACUMUL. ARMAÇÃO	ESPERA ACUMUL. ARMAÇÃO	
3	2	4,87	0,00	-1,17	
5	4	2,71	2,03	-1,17	
7	6	7,09	8,44	-1,17	
			Soma do ATRASSO	Soma da ESPERA	

Quadro 4.20: Identificação das células na tabela. Colunas AI, AJ, AK e AL.

- **Coluna AJ – Resto de 8 horas:** Esta coluna retorna o valor do resto omitido pela coluna AI ligado diretamente a linha correspondente.

O valor retornado na célula AJ27 obedece a função MOD(num;divisor). A função **MOD(num;divisor)** retorna o resto da divisão após um número ter sido dividido pelo divisor.

Desta maneira a célula $AJ27=(MOD(AG27; \$E\$10))$, a célula $AJ28=(MOD(AG28; \$E\$10))$ e assim sucessivamente até a célula $AJ62=(MOD(AG62; \$E\$10))$.

4.3.4.4 Colunas AK e AL – atraso acumulado concretagem e espera acumulada concretagem

As colunas AK e AL são indicadores da ocorrência de atrasos e esperas, é possível observar o valor acumulado linha após linha.

Os valores de atrasos são representados por valores positivos em negrito na cor azul e os valores referentes às esperas são representados por valores negativos em negrito pela cor vermelha.

Representar valores negativos para o acúmulo de esperas significa que estas horas de desperdício geradas foram subtraídas do tempo de execução das atividades por pavimento. Significa que foi possível “adiantar” a frente de serviço decorrente de um índice de produtividade mais alto.

Representar valores positivos para o acúmulo de atrasos significa que estas horas de desperdício geradas foram adicionadas ao tempo de execução das atividades por pavimento. Significa que houve um atraso na frente de serviço decorrente de um índice de produtividade mais baixo.

Ambas as colunas estão relacionadas ao tempo de execução da concretagem (coluna AD) e o tempo de ciclo ideal concretagem (célula $\$E\10), estando condicionadas a uma simples relação: o tempo de execução da atividade concretagem (coluna AD) foi maior que o tempo de ciclo ideal estabelecido para a atividade concretagem (célula $\$E\10)?

- **Coluna AK – Atraso Acumulado Concretagem:** Esta coluna retorna o valor do atraso acumulado pelo tempo de execução da concretagem. A célula AD27 é singular, pois caso ocorra espera no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há atraso acumulado.

Neste caso:

$$AK27 = SE(AD27 > \$E\$10; AD27 - \$E\$10; 0)$$

(21)

A equação (21) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (AD27) for maior que o tempo de ciclo ideal ($\$E\10), retornar o valor correspondente ao tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento ($AD27 - \$E\10), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (AD27) for menor que o tempo de ciclo ideal ($\$E\10), retornar 0 (zero).

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células AK28 e AK62 obedecem à equação (22).

$$AK28 = SE(AD28 > \$E\$10; AK27 + (AD28 - \$E\$10); AK27)$$

(22)

A equação (22) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento (AD28) for maior que o tempo de ciclo ideal ($\$E\10), retornar o valor correspondente à soma do valor acumulado na execução do pavimento anterior mais o tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento ($AK27 + (AD28 - \$E\$10)$), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento (AD28) for menor que o tempo de ciclo ideal ($\$E\10), retornar o valor acumulado na execução do pavimento anterior (AK27).

A equação (23) mostra o resultado esperado para o pavimento 36 (célula AK62):

$$AK62 = SE(AD62 > \$E\$10; AK61 + (AD62 - \$E\$10); AK61)$$

(23)

- **Coluna AL – Espera Acumulada Concretagem:** Esta coluna retorna o valor da Espera acumulada pelo tempo de execução da concretagem. A célula AL27 é singular, pois caso ocorra atraso no dia 1 de trabalho (primeiro dia) o valor retornado deverá ser zero, uma vez que não há espera acumulada.

Neste caso:

$$\text{AL27} = \text{SE}(\text{AD27} < \text{\$E\$10}; \text{AD27} - \text{\$E\$10}; 0) \quad (24)$$

A equação (24) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (AD27) for menor que o tempo de ciclo ideal ($\text{\$E\$10}$), retornar o valor correspondente ao tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento ($\text{AD27} - \text{\$E\$10}$), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento 1 (AD27) for maior que o tempo de ciclo ideal ($\text{\$E\$10}$), retornar 0 (zero).

As demais células, compreendidas no intervalo entre as células AL28 e AL62 obedecem à equação (25).

$$\text{AL28} = \text{SE}(\text{AD28} > \text{\$E\$10}; \text{AL27} + (\text{AD28} - \text{\$E\$10}); \text{AL27}) \quad (25)$$

A equação (25) determina que: se o tempo de execução da atividade no pavimento (AD28) for menor que o tempo de ciclo ideal ($\text{\$E\$10}$), retornar o valor correspondente à soma do valor acumulado na execução do pavimento anterior mais o tempo de ciclo ideal menos o tempo de execução da atividade no pavimento ($\text{AL} 27 + (\text{AD28} - \text{\$E\$10})$), caso contrário, se o tempo de execução da atividade no pavimento (AD28) for menor que o tempo de ciclo ideal ($\text{\$E\$10}$), retornar o valor acumulado na execução do pavimento anterior (AL27).

A equação (26) mostra o resultado esperado para o pavimento 36 (célula AL62):

$$\text{AL62} = \text{SE}(\text{AD62} > \text{\$E\$10}; \text{AL61} + (\text{AD62} - \text{\$E\$10}); \text{AL61}) \quad (26)$$

4.3.5 Colunas AN e AO – linha 27 a linha 62: atraso acumulado total e espera acumulada total

As colunas AN e AO retornam o valor do saldo acumulado de atrasos ou esperas para o pavimento a que está associado (na mesma linha).

- **Coluna AN – Atraso Acumulado Total:** Esta coluna aponta o acúmulo de atraso durante a obra entre a Atividade 2 e a Atividade 3. Representa o somatório das colunas AA (Atraso acumulado armação) e AK (Atraso acumulado concretagem).

Seja $AN27=AA27+AK27$, $AN28=AA28+AK28$ e assim sucessivamente até a célula $AN62=AA62+AK62$.

- **Coluna AO – Espera Acumulada Total:** Esta coluna aponta o acúmulo de espera durante a obra entre a Atividade 2 e a Atividade 3. Representa o somatório das colunas AB (Espera acumulada armação) e AL (Espera acumulada concretagem).

Seja $AO27=AB27+AL27$, $AO28=AB28+AL28$ e assim sucessivamente até a célula $AO62=AB62+AL62$.

SALDO	
ATRASSO ACUMUL. TOTAL	ESPERA ACUMUL. TOTAL
6,49	-0,88
6,49	-1,73
14,22	-2,77

Quadro 4.21: Saldo: atraso acumulado total e espera acumulada total.

A tabela elaborada pode ser visualizada em sua totalidade no Anexo A, onde é contemplada a simultaneidade das três atividades propostas, assim como a visualização dos gráficos pertinentes à produtividade das atividades relacionadas neste estudo.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Tempo de ciclo ideal

Uma vez determinado o tempo de ciclo ideal para cada atividade, é necessário analisar o comportamento dos índices de produtividade associados a este parâmetro.

Os resultados obtidos caracterizam o mapeamento das atividades pavimento a pavimento e esta simulação deverá ser confrontada com dados teóricos esperados. Pode-se observar que a distribuição de dados teóricos remete a uma função linear, uma vez que a índice de produtividade é constante.

O tempo de ciclo ideal permite que na planilha de simulação se visualize graficamente o somatório do tempo necessário à execução de cada pavimento, de maneira que seja traçada uma reta de inclinação, definida pelo valor determinado como índice de produtividade ideal ou tempo de ciclo ideal. A sobreposição dos valores obtidos através de simulação faz com que se apresentem duas curvas distintas e esta segunda curva não linear oscilará por sobre a primeira.

Desta forma, para melhor visualização da análise, optou-se por representar a comparação dos resultados teóricos aos resultados obtidos através de gráfico de barras.

O tempo de ciclo ideal é representado por barras vermelhas (Figura 5.1) e o volume de cada barra representa o total de horas trabalhadas acumuladas, isto quer dizer que após a execução de cada pavimento haverá um acréscimo de horas a barra representativa do pavimento de referência.

Ligando-se as extremidades de cada barra nos pontos definidos como somatório de tempo de execução (neste caso o valor constante determinado como tempo de ciclo ideal), traça-se uma reta que servirá de limite para análise das perdas por atividade, ou seja, inicialmente será elaborado um gráfico por atividade.

Esta primeira análise será feita por atividade para identificar no processo a oscilação dos índices de produtividade individualmente. Desta maneira o problema será analisado desde um determinante pontual a sua forma macro, englobando várias atividades seqüenciadas.

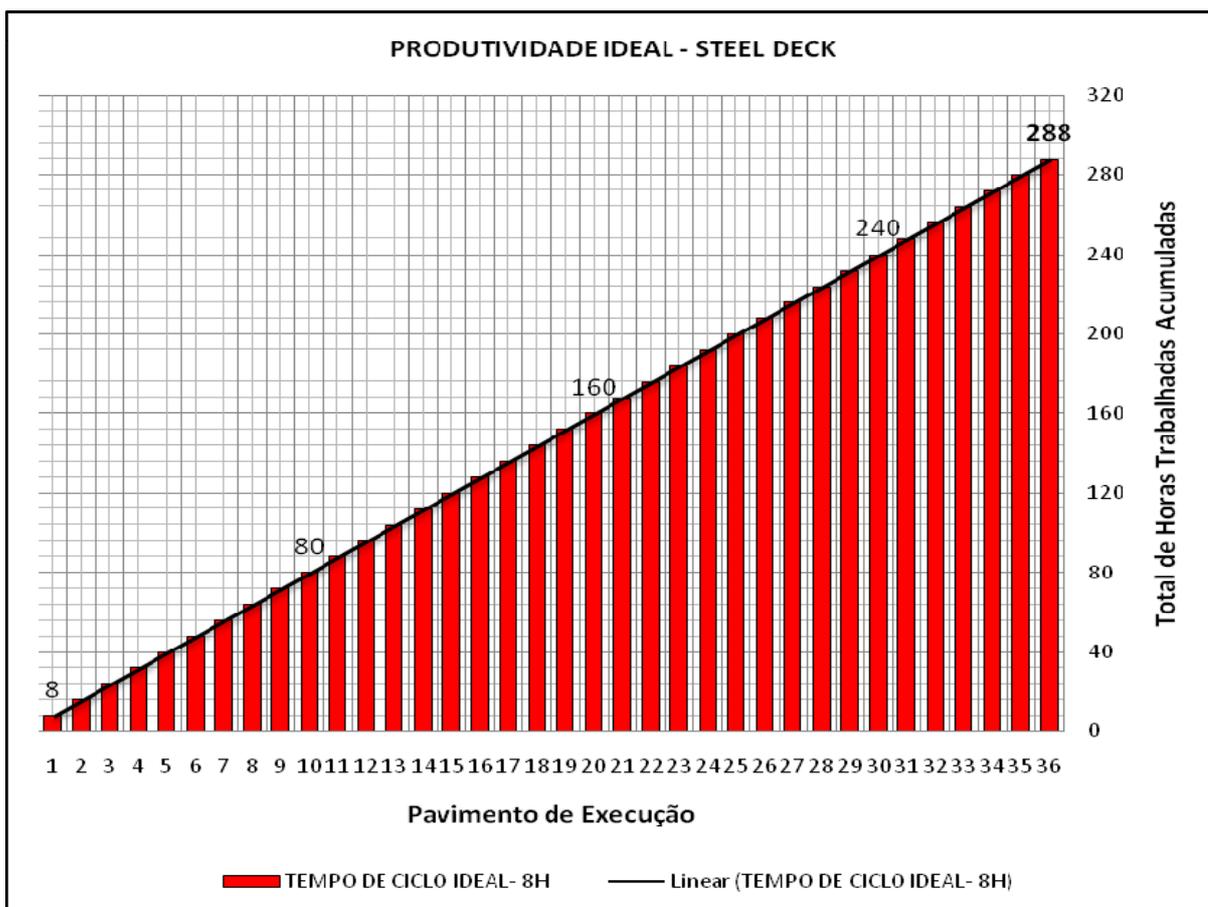


Figura 5.1: Tempo de ciclo ideal *steel deck*.

Na Figura 5.1 observa-se o desenvolvimento da atividade *steel deck* pelo gráfico de barras. O gráfico representa o desenvolvimento da atividade através de uma análise ideal, onde o tempo de execução de cada pavimento é idêntico ao tempo de ciclo ideal, logo, não há perdas no processo.

O eixo horizontal representa o pavimento ao qual a atividade está sendo executada e o eixo vertical representa o acúmulo de horas necessárias para executar o número de pavimentos indicados no eixo horizontal. Desta maneira, observa-se que o pavimento 1 indica que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá após 8 (oito) horas de execução da atividade, o pavimento 2 indica que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá 16 (dezesesseis) horas após à execução dos pavimentos 1 e 2 e assim sucessivamente até que o pavimento 36 indique que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá 288 (duzentas e oitenta e oito) horas após à conclusão de 36 pavimentos em seqüência.

Uma reta corta o centro da extremidade de cada barra e limita os parâmetros de análise ao se sobrepor os dados de simulação. Dados sobrepostos abaixo da reta indicam a ocorrência de esperas e dados sobrepostos acima da reta indicam a ocorrência de atrasos.

No processo construtivo real, caso não haja compensação satisfatória entre as perdas ocorridas durante a execução da atividade, o gráfico tenderá a indicar com mais nitidez as medidas de atrasos, pois este fenômeno é mais recorrente no processo construtivo real. Na situação ideal, caso do gráfico apresentado na Figura 5.1, a representação do índice de produtividade ideal é uma reta.

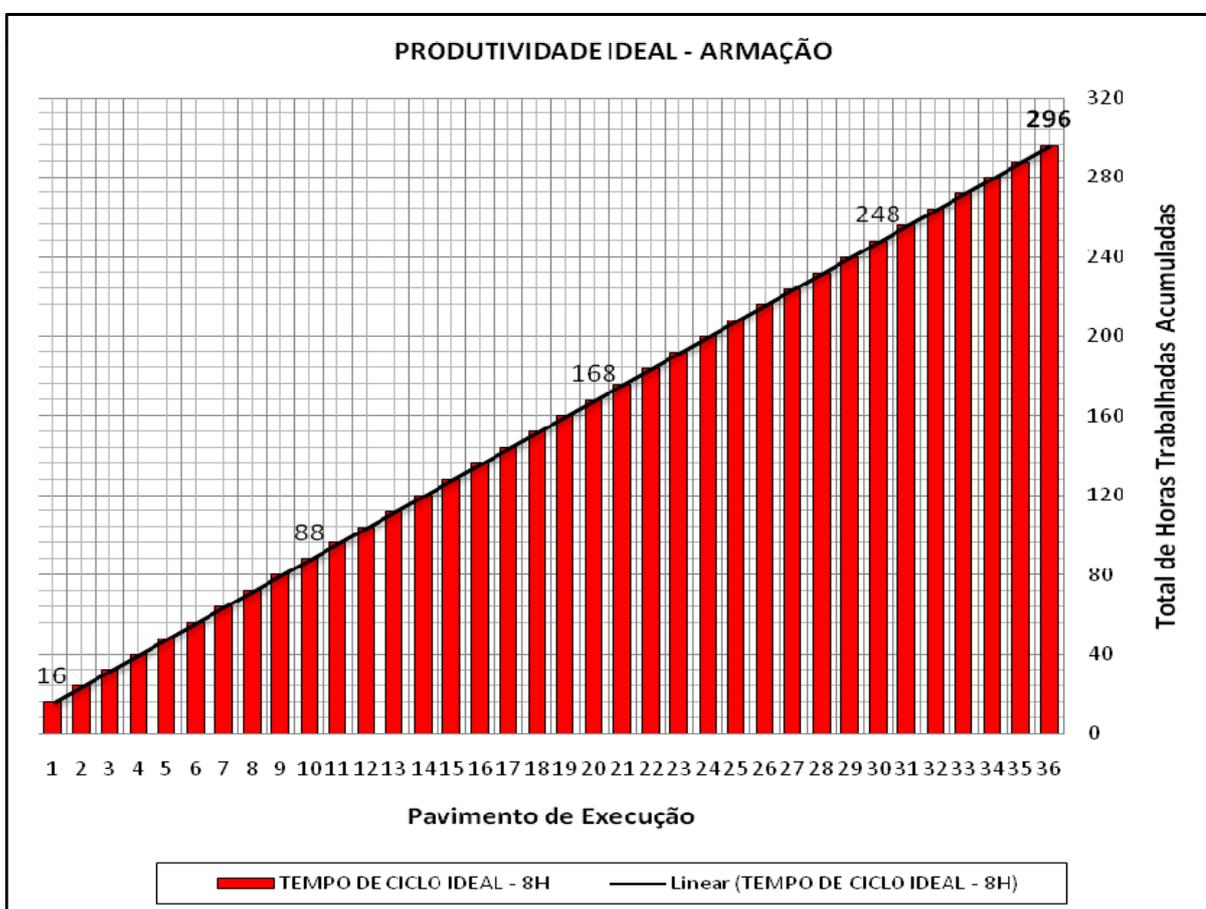


Figura 5.2: Tempo de ciclo ideal armação.

A Figura 5.2 indica o tempo de ciclo ideal da atividade armação. Considerando que está sendo feita uma análise ideal e semelhante ao gráfico apresentado na Figura 5.1, o eixo horizontal representa o pavimento ao qual a atividade está sendo executada e o eixo vertical representa o acúmulo de horas necessárias para executar o número de pavimentos indicados no eixo horizontal.

Assim, observa-se que o pavimento 1 indica que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá após 16 (dezesesseis) horas de execução da obra em somatório do tempo decorrido da atividade anterior e somado ao tempo necessário à execução da atividade no mesmo pavimento. O pavimento 2 indica que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá 24 (vinte e quatro) horas após à execução dos pavimentos 1 e 2 e assim sucessivamente até que o pavimento 36 indique que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá 296 (duzentas e noventa e seis) horas após à conclusão de 36 pavimentos em seqüência.

Uma reta corta o centro da extremidade de cada barra e limita os parâmetros de análise ao se sobrepor os dados de simulação. Dados sobrepostos abaixo da reta indicam a ocorrência de esperas e dados sobrepostos acima da reta indicam a ocorrência de atrasos.

Na verdade percebe-se que, por se tratar de uma situação ideal, onde não há atrasos ou esperas, a conclusão da atividade armação se encerrará sempre 8 horas após a conclusão do *steel/ deck*, ou seja, se encerrará de acordo com o tempo de ciclo ideal estabelecido para a atividade em execução (1° pavimento = 16h = 8h + 8h / 2° pavimento = 24h = 16h + 8h / 36° pavimento = 296h = 288h + 8h).

Em análise semelhante, a Figura 5.3 indica o tempo de ciclo ideal da atividade concretagem.

Observa-se que o pavimento 1 indica que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá após 24 (vinte e quatro) horas de execução da obra em somatório do tempo decorrido das atividades anteriores e somado ao tempo necessário à execução da atividade no mesmo pavimento. O pavimento 2 indica que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá 32 (trinta e duas) horas após à execução dos pavimentos 1 e 2 e assim sucessivamente até que o pavimento 36 indique que a conclusão da execução da atividade neste pavimento ocorrerá 304 (trezentas e quatro) horas após à conclusão de 36 pavimentos em seqüência.

Uma reta corta o centro da extremidade de cada barra e limita os parâmetros de análise ao se sobrepor os dados de simulação. Dados sobrepostos abaixo da reta indicam a ocorrência de esperas e dados sobrepostos acima da reta indicam a ocorrência de atrasos.

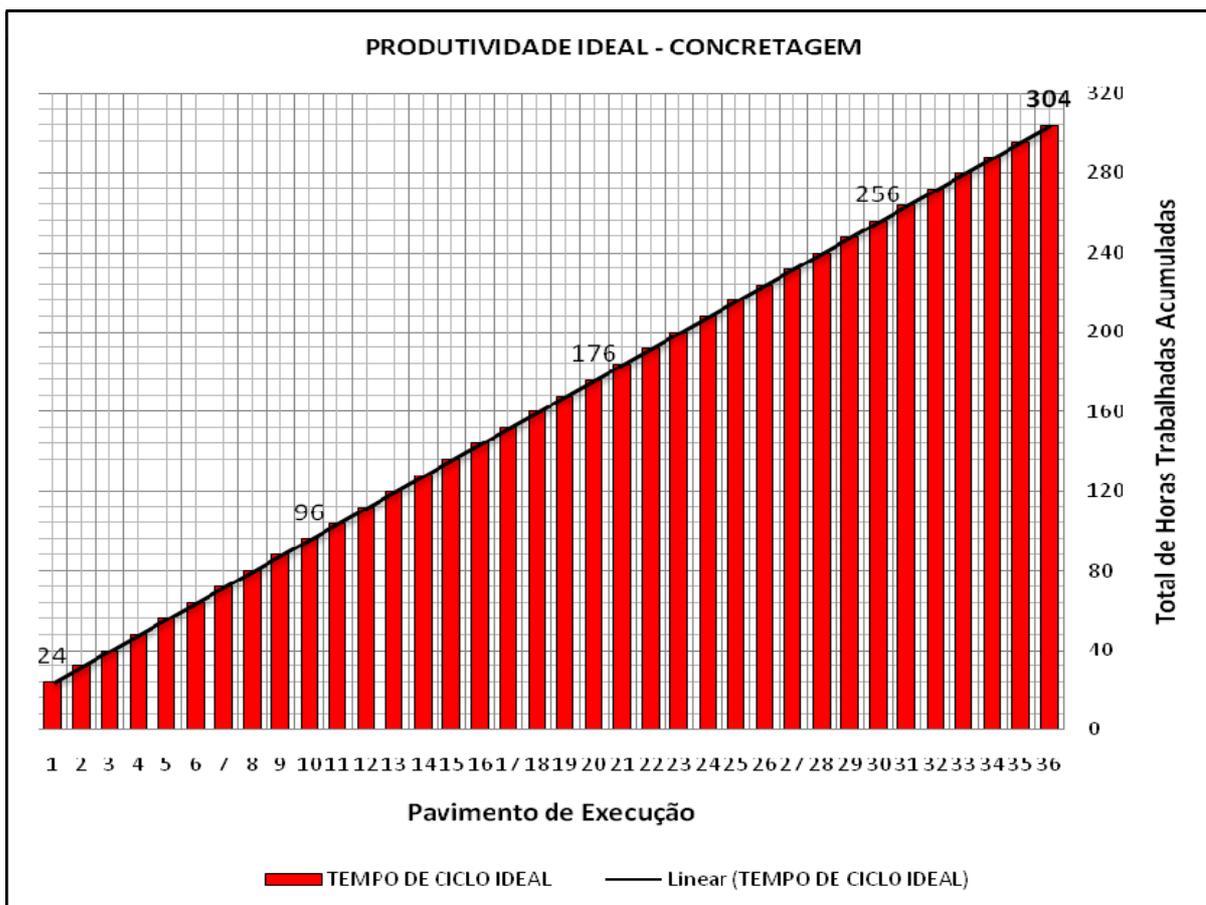


Figura 5.3: Tempo de ciclo ideal concretagem.

Na verdade percebe-se que, por se tratar de uma situação ideal, onde não há atrasos ou esperas, a conclusão da atividade concretagem se encerrará sempre 8 horas após a conclusão da armação, ou seja, se encerrará de acordo com o tempo de ciclo ideal estabelecido para a atividade em execução (1º pavimento = 24h = 16h + 8h / 2º pavimento = 32h = 24h + 8h / 36º pavimento = 304h = 296h + 8h).

5.2. Tempo de ciclo ideal x hora de término

A Figura 5.4 mostra a sobreposição de dados extraída de uma possível amostra da tabela de simulação, onde as barras em azul correspondem à hora de término do *steel deck* oriundas da tabela.

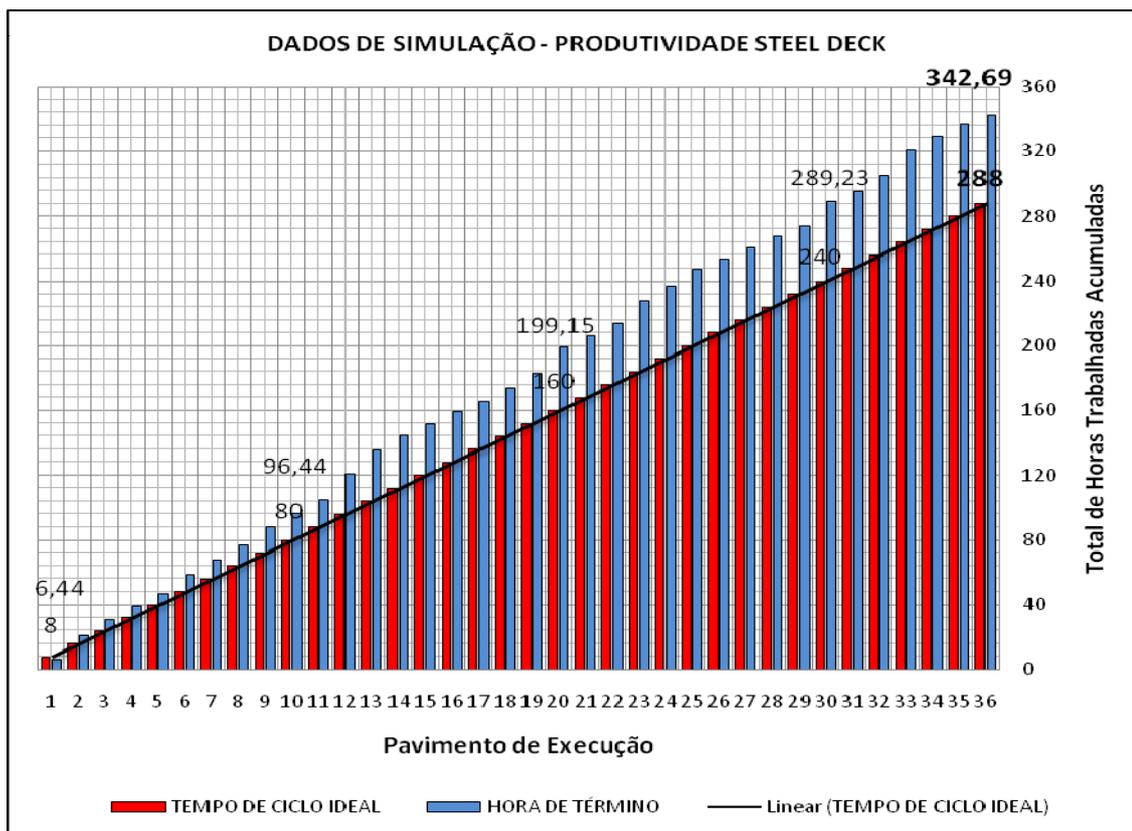


Figura 5.4: Tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck*.

O gráfico apresentado na Figura 5.4 permite que seja visualizado o que seria uma distribuição ideal sobreposta por uma distribuição simulada. Neste exemplo, os dados gerados em simulação indicam que a partir da execução do 5º pavimento as medidas de atrasos começaram a ser mais frequentes e ainda que esta perda seja compensada pela ocorrência eventual de esperas, esta não foi suficiente para compensar a baixa produtividade.

Desta forma, ao finalizar a execução do 36º pavimento se percebe claramente o afastamento da margem ideal (reta de inclinação determinada pela produtividade ideal) estipulada para o tempo de execução da atividade por pavimento.

Para este exemplo o que se chama de tempo de ciclo ideal estipula forçosamente que o 36º pavimento seja terminado em 288 (duzentas e oitenta e oito) horas, mas o que ocorre é um acúmulo de atrasos e esperas por pavimento que resulta em uma medida final considerada apenas como atraso compensado.

Esta diferença é percebida por barras que ultrapassam a reta limite e apresenta valor total no pavimento 36 de 342,69 horas, o que equivale a 342 horas e 41 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso

compensado de 54,69 horas (71,09 horas referentes a atrasos e – 16,40 horas referentes a esperas), o que equivale a 54 horas e 41 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso no cronograma de aproximadamente 7 dias durante a execução do *steel deck*.

PAVIMENTO	Atividade 1 - STELL DECK								
	TEMPO DE EXECUÇÃO STEEL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. STELL DECK	ESPERA ACUMUL. STELL DECK
1	6,44	0,00	1	6,44	1	0	0,00	0,00	-1,56
2	14,80	6,45	1	21,24	3	2	5,24	6,80	-1,56
36	6,01	336,69	43	342,69	43	42	6,69	71,09	-16,40

Quadro 5.1: Dados de referência do gráfico da Figura 5.4 - tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck*.

A seqüência de atrasos impacta diretamente na atividade posterior, pois, como mencionado anteriormente, é necessário que a atividade anterior termine para que a atividade seguinte seja iniciada. Deste modo, o atraso na execução do *steel deck* pode gerar atrasos na execução da armação caso esta perda não seja compensada pela ocorrência de esperas. Entretanto deve-se atentar que, apesar da medida final no cronograma ser reconhecida como atraso compensado (neste exemplo 54,69 horas), houve a ocorrência de atrasos e esperas.

Os atrasos foram responsáveis por uma perda de 71,09 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda de 16,40 horas. Estas perdas são medidas de maneira isolada uma da outra e refletem o conceito de perdas acumuladas, que não deve ser ignorado no processo.

Apesar da medida final de atrasos ter sido compensada pelas esperas, apresentando um resultado geral inferior ao atraso acumulado ($54,69h < 71,09h$) ocorreram dois tipos de perdas diferentes, que ocasionam efeitos diferentes na atividade seguinte.

É comum no processo construtivo real avaliar apenas o conceito de perdas compensadas, onde o foco se mantém sobre o efeito final sobre o cronograma, ou seja, o impacto das 54,69 horas de atrasos compensados dentro do conceito de

perdas compensadas. Este trabalho chama atenção para as perdas acumuladas no processo, seus efeitos e os possíveis custos envolvidos no processo construtivo, que ficam sombreados pela compensação dos índices de produtividade individuais de cada atividade.

Desta maneira, a ocorrência de atraso na atividade em execução sinaliza atraso no início da execução da atividade seguinte e a ocorrência de espera na atividade em execução sinaliza adiantamento do início da atividade seguinte. Isto não quer dizer que a atividade posterior imitará o comportamento da atividade em execução, pois esta possui índice de produtividade própria, mas reflete um cenário que deveria ser administrado pela gerência do empreendimento de modo mais criterioso.

A lógica seguida pela distribuição ideal permite afirmar no exemplo do Quadro 5.1 que (em uma condição onde não há ocorrência de atrasos ou esperas entre as atividades) o tempo de ciclo ideal para a execução dos 36 pavimentos para cada atividade está definido. Ou seja, assim como a atividade de *steel deck* consumiria 288 horas de execução de obra para ser concluída em 36 pavimentos, a atividade de armação seria concluída 8 horas mais tarde, aumentando o tempo total para 296 horas de execução de obra e a atividade de concretagem seria concluída 16 horas após a finalização do *steel deck*, aumentando o tempo total para 304 horas de execução de obra.

Seguindo o exemplo da Figura 5.4, seja a Figura 5.5 representativa do impacto das perdas ocorridas na execução do *steel deck* e na execução da armação.

O gráfico apresentado na Figura 5.5 mostra o que seria uma distribuição ideal sobreposta por uma distribuição simulada, onde a distribuição simulada está representada pela cor laranja. Nesta seqüência de execução de atividades, os dados gerados em simulação indicam que a partir da execução do pavimento 2 as medidas de atrasos começaram a ser mais freqüentes e ainda que esta perda seja compensada pela ocorrência eventual de esperas, esta não foi suficiente para compensar a baixa produtividade.

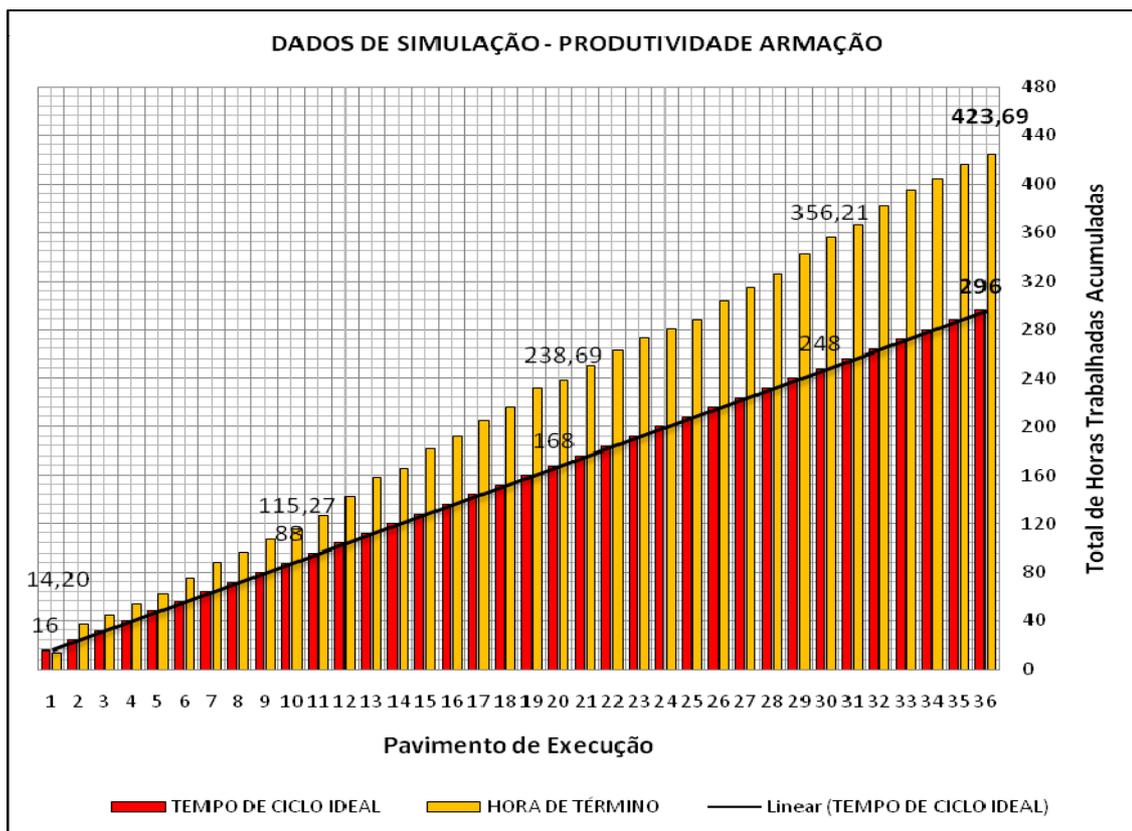


Figura 5.5: Tempo de ciclo ideal x hora de término: armação.

Ao finalizar a execução do 36º pavimento se percebe claramente o afastamento da margem (reta de inclinação determinada pela produtividade ideal) ideal estipulada para o tempo de execução da atividade por pavimento, assim como na análise da atividade anterior *steel deck*.

Para a atividade de armação o tempo de ciclo ideal estipula forçosamente que o pavimento 36 seja terminado em 296 horas, mas o que ocorre é um acúmulo de atrasos e esperas por pavimento que resulta em uma medida final considerada apenas como atraso (equivocadamente). A diferença indicada por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total de tempo de execução no 36º pavimento de 423,69 horas, o que equivale a 423 horas e 41 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado total de 127,69 horas o que equivale a 127 horas e 41 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 16 dias durante a execução do *steel deck* e da armação.

PAV	Atividade 2 - ARMAÇÃO									SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. ARMAÇÃO	ESPERA ACUMUL. ARMAÇÃO	ATRASO ACUMUL. TOTAL	ESPERA ACUMUL. TOTAL
1	7,75	6,45	1	14,20	2	1	6,20	0,00	-0,25	0,00	-1,81
2	16,00	21,25	3	37,25	5	4	5,25	8,00	-0,25	14,80	-1,81
36	7,09	416,6	53	423,69	53	52	7,69	126,84	-4,98	197,93	-21,39

Quadro 5.2: Dados de referência do gráfico da Figura 5.5 - tempo de ciclo ideal x hora de término: armação.

De acordo com a Figura 5.5, a atividade armação foi finalizada no 36º pavimento em 423,69 horas e o atraso compensado total foi de 127,69 horas. A Figura 5.4 indica que a atividade *steel deck* foi finalizada no 36º pavimento em 342,69 horas. Esses números indicam que após a conclusão do *steel deck* no pavimento 36, todo o atraso gerado foi decorrente da execução da armação, ou seja, caso apenas a atividade *steel deck* estivesse sujeita a perdas e a atividade armação fosse executada em condições ideais, o tempo total de execução do 36º pavimento da atividade armação seria de 350,69 horas (342,69 horas + 8 horas).

Desta maneira, segue o cálculo referente aos atrasos decorrentes da execução da armação após a finalização da execução do *steel deck*:

- Tempo de execução do 36º pavimento da atividade armação - tempo de execução do 36º pavimento da atividade *steel deck* = 423,69 horas – 350,69 horas = 73 horas.

Isto quer dizer que finalizada a atividade *steel deck*, quando é concluído o 36º pavimento, a atividade armação prossegue ainda por 73 horas.

De posse deste valor, calcula-se também a parcela referente às perdas ocorridas durante a execução das duas atividades juntas.

- Valor das perdas indicado pelo gráfico após a finalização da armação (423,69 – 296 = 127,69) – atraso referente à execução da armação após a finalização do *steel deck* = 127,69 horas – 73 horas = 54,69 horas (valor atribuído ao somatório das perdas ocorridas durante a execução do *steel deck* e armação).

Do total de horas trabalhadas relativas à execução da armação obtidas da tabela, 126,84 horas são referentes a atrasos e – 4,98 horas são referentes a esperas, logo, o somatório das perdas nesta atividade é de 121,86 horas (126,84 horas - 4,98 horas). Subtraindo o valor atribuído como perda indicada unicamente da atividade de armação tem-se: 121,86 horas - 73 horas = 48,86 horas, que equivalem a perdas ocorridas simultaneamente à execução da atividade *steel deck* e armação.

Considerando que o valor apresentado como o atraso compensado após a execução do *steel deck* é de 54,69 horas e que 48,86 horas representam perdas ocorridas simultaneamente entre a execução da atividade *steel deck* e a atividade armação, percebe-se que a diferença entre esses dois valores corresponde às perdas ocorridas exclusivamente pelo *steel deck* quando esta atividade é executada

Esta diferença de 5,83 horas (54,69 horas – 48,86 horas) já é percebida no início da execução do 2º pavimento quando a hora de término da execução de armação no pavimento 1 aconteceu às 14,20 horas e o início da execução da armação no pavimento 2 só pôde acontecer às 21,25 horas, por um atraso decorrente da execução do *steel deck*.

Este valor também é indicado quando subtrai-se o valor correspondente ao somatório das perdas ocasionadas pela armação do valor correspondente ao somatório das perdas de todo o processo:

- Atraso decorrente da execução das atividades de *steel deck* e armação – atraso referente à execução da armação = 127,69 horas – 121,86 horas = 5,83 horas (valor atribuído apenas às perdas ocorridas durante a execução do *steel deck*).

Seja o atraso acumulado formado pelas seguintes parcelas: atraso isolado *STEEL DECK* + atraso isolado *ARMAÇÃO* + atraso conjunto *STEEL DECK* e *ARMAÇÃO*.

- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 5,83 horas (4,57%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 54,69 horas;
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 73 horas (57,17%);
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 121,86 horas;

- Atraso entre as atividades *steel deck* e armação (obtido através de cálculo) = 48,86 horas (38,26%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) = 127,69 horas (5,83 horas + 73 horas + 48,86 horas)

O atraso compensado no cronograma após a execução do *steel deck* e da armação pode ser descrito como a soma das seguintes parcelas: **SD + AR + (SD & AR)**.

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da armação seja de 127,69 horas e 38,26% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, a contabilidade dos custos inerentes a estas perdas deve ser feito de maneira isolada, por atividade, ou seja, para efeito das perdas devem-se analisar as perdas acumuladas no processo, onde os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 197,93 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 21,39 horas.

Analisar as perdas de maneira pontual e de maneira global auxilia as fases de planejamento e gerenciamento do empreendimento. A visão pontual (perdas acumuladas) determina os custos envolvidos no processo quando uma atividade não se comporta como o “planejado”. É possível determinar a confiabilidade dos parâmetros envolvidos diretamente com o índice de produtividade determinado como ideal tais como, número de pessoas envolvidas nas equipes da frente de trabalho, área especificada como plataforma de trabalho, etc. Já a visão global (perdas compensadas) determina o comportamento do processo como um todo ou o comportamento da produtividade da atividade, por exemplo, se produtividade está abaixo ou acima dos índices determinados como parâmetros do processo e que medidas devem ser tomadas para corrigir os índices de produtividade.

Pode-se dizer que a visão das perdas acumuladas indica qual atividade é parte crítica do processo, pois este tipo de perda indica o índice real de atrasos e esperas por atividade dentro do empreendimento de maneira pontual.

Como seqüência, seja a Figura 5.6 representativa do impacto das perdas ocorridas na execução da armação e na execução da concretagem.

O gráfico apresentado na Figura 5.6 mostra o que seria uma distribuição ideal sobreposta por uma distribuição simulada, onde a distribuição simulada está representada pela cor verde. Nesta seqüência do exemplo anterior, os dados gerados em simulação indicam que a partir da execução do pavimento 1 as medidas

de atrasos começaram a ser mais freqüentes e ainda que esta perda seja compensada pela ocorrência eventual de esperas, esta não foi suficiente para compensar a baixa produtividade.

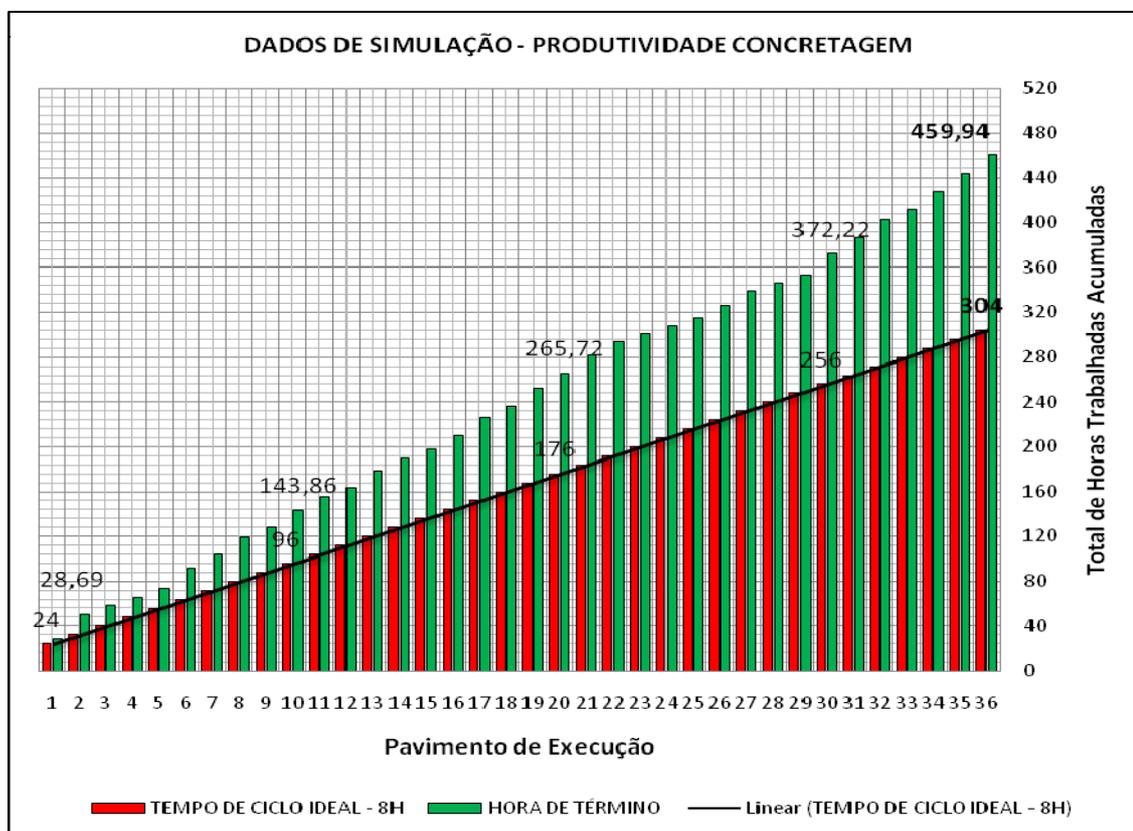


Figura 5.6: Tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem.

Ao finalizar a execução do 36º pavimento se percebe claramente o afastamento da margem ideal (reta de inclinação determinada pela produtividade ideal) estipulada para o tempo de execução da atividade por pavimento.

Para a atividade de concretagem o tempo de ciclo ideal estipula forçosamente que o pavimento 36 seja terminado em 304 horas, mas o que ocorre é um acúmulo de atrasos e esperas por pavimento que resulta em uma medida final considerada apenas como atraso (equivocadamente).

A diferença indicada por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 459,94 horas, o que equivale a 459 horas e 56 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado total de 155,94 horas o que equivale a 155 horas e 56 minutos.

PAV	Atividade 3 - CONCRETAGEM									SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAG	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASSO ACUMUL. CONCRETAG	ESPERA ACUMUL. CONCRETAG	ATRASSO ACUMUL. TOTAL	ESPERA ACUMUL. TOTAL
1	7,45	21,25	3	28,69	4	3	4,69	0,00	-0,55	0,00	-2,36
2	13,52	37,26	5	50,77	7	6	2,77	5,52	-0,55	20,31	-2,36
36	16,00	443,94	56	459,94	58	57	3,94	143,56	-6,56	341,50	-27,95

Quadro 5.3: Dados de referência do gráfico da Figura 5.6 - tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem.

A diferença indicada por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 459,94 horas, o que equivale a 459 horas e 56 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado total de 155,94 horas o que equivale a 155 horas e 56 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 20 dias durante a execução do *steel deck*, da armação e da concretagem.

De acordo com a Figura 5.6, a atividade concretagem foi finalizada no 36º pavimento em 459,94 horas e o atraso compensado total foi de 155,94 horas. A Figura 5.5 indica que a atividade armação foi finalizada no 36º pavimento em 423,69 horas. Esses números indicam que após a conclusão da armação no pavimento 36, todo o atraso gerado foi decorrente da execução da concretagem, ou seja, caso apenas as atividades *steel deck* e armação estivessem sujeitas a perdas e a atividade concretagem fosse executada em condições ideais, o tempo total de execução do 36º pavimento da atividade concretagem seria de 431,69 horas (423,69 horas + 8 horas).

Desta maneira, segue o cálculo referente aos atrasos decorrentes da execução da concretagem após a finalização da execução da armação:

- Tempo de execução do 36º pavimento da atividade concretagem - tempo de execução do 36º pavimento da atividade armação = 459,94 horas – 431,69 horas = 28,25 horas.

Isto quer dizer que finalizada a atividade armação, quando é concluído o 36º pavimento, a atividade concretagem prossegue ainda por 28,25 horas.

De posse deste valor, calcula-se também a parcela referente às perdas ocorridas durante a execução das duas atividades juntas.

- Valor das perdas indicado pelo gráfico após a finalização da armação ($459,94 - 304 = 155,94$) – atraso referente à execução da concretagem após a finalização da armação = $155,94 \text{ horas} - 28,25 \text{ horas} = 127,69$ horas (valor atribuído ao somatório das perdas ocorridas durante a execução da armação e concretagem).

Do total de horas trabalhadas relativas à execução da concretagem obtidas da tabela, 143,56 horas são referentes a atrasos e – 6,56 horas são referentes a esperas, logo, o somatório das perdas nesta atividade é de 137 horas ($143,56 \text{ horas} - 6,56 \text{ horas}$). Subtraindo o valor atribuído como perda indicada unicamente da atividade de concretagem tem-se: $137 \text{ horas} - 28,25 \text{ horas} = 108,75 \text{ horas}$, que equivalem a perdas ocorridas simultaneamente à execução das atividades *steel deck*, armação e concretagem.

Considerando que o valor apresentado como o atraso compensado após a execução da armação é de 121,86 horas e que 108,75 horas representam perdas ocorridas simultaneamente entre a execução das atividades *steel deck*, armação e a atividade concretagem, percebe-se que a diferença entre esses dois valores corresponde às perdas ocorridas exclusivamente pela armação quando esta atividade é executada

Esta diferença de 13,11 horas ($121,86 \text{ horas} - 108,75 \text{ horas}$) já é percebida no início da execução da concretagem no 1º pavimento quando a hora de término da execução de armação no 1º pavimento aconteceu às 14,20 horas e o início da execução da concretagem no 1º pavimento só pôde acontecer às 21,25 horas.

O início da seqüência de atrasos tem origem na execução do 2º pavimento, quando a atividade *steel deck* atrasa sua finalização. O término da execução de armação no 1º pavimento aconteceu às 14,20 horas e o início da execução da armação no 2º pavimento só pôde acontecer às 21,25 horas.

Apesar da atividade armação não ter sido a origem do atraso, ela impacta sobre a atividade concretagem de maneira indireta. Esta atividade é o elo entre as atividades *steel deck* e concretagem e por meio dela as perdas são propagadas

(atrasos e esperas) de uma atividade à outra, mesmo que estas não estejam ligadas diretamente.

Esta ação indireta por muitas vezes oculta a origem da perda, tornando difícil a identificação do ponto onde o processo se afasta das taxas de produtividade ideais estipuladas ainda na fase de planejamento. Desta forma, agrupar atividades aos pares torna a análise do processo mais clara, pois neste caso, por exemplo, pôde-se identificar a perda associada à atividade concretagem originada ainda na atividade *steel deck*, por meio de uma atividade em comum: a armação.

Seja o atraso acumulado formado pelas seguintes parcelas: atraso isolado *STEEL DECK* + atraso isolado *ARMAÇÃO* + atraso isolado *CONCRETAGEM* + atraso conjunto *STEEL DECK*, *ARMAÇÃO* e *CONCRETAGEM*.

- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 5,83 horas (3,74%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 13,11 horas (8,40%);
- Atraso isolado da concretagem (obtido através de cálculo) = 28,25 horas (18,12%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 54,69 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 121,86 horas;
- Atraso compensado da concretagem (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 137 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck*, armação e concretagem (obtido através de cálculo) = 108,75 horas (69,74%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck*, armação e concretagem (indicado no gráfico) = 155,94 horas (5,83 horas + 13,11 horas + 28,25 horas + 108,75 horas)

O atraso compensado no cronograma após a execução do *steel deck* e da armação pode ser descrito como a soma das seguintes parcelas: **SD + AR + CC (SD & AR & CC)**.

A análise dos saldos extraídos do exemplo citado remetem ao seguinte cenário:

- Desperdício isolado do *STEEL DECK*: 5,83 horas / 01 dia.
- Desperdício medido ao final da execução do *STEEL DECK*: 54,69 horas / 07 dias.
- Desperdício isolado da ARMAÇÃO: 13,11 horas / 2 dias.
- Desperdício medido ao final da execução da ARMAÇÃO: 127,69 horas / 16 dias.
- Desperdício isolado da CONCRETAGEM: 28,25 horas / 4 dias.
- Desperdício gerado ao final da execução da CONCRETAGEM: 155,94 horas / 20 dias.

Isto quer dizer que das três atividades analisadas no exemplo, a atividade que apresentou maior atraso acumulado foi a atividade concretagem, seguida da armação. A atividade que apresentou maior atraso isolado também foi a atividade concretagem.

A compensação entre as atividades foi tamanha que o atraso acumulado final foi medido em 155,94 horas, o que significa que, neste caso, a ocorrência de esperas entre as três atividades não foi suficiente para cobrir os atrasos ocorridos na execução das atividades por pavimento e este atraso acumulado representa 51,30% do tempo ideal estipulado para finalização da obra.

Os dados obtidos e confrontados entre as atividades indicam a medida final de atraso acumulado, pois esta análise engloba o tempo de execução da atividade, logo, apesar da ocorrência de esperas durante a execução das atividades, os dados extraídos na análise refletem uma perda compensada de maior proporção na execução da concretagem. Embora a concretagem tenha se encerrado apenas 36,25 horas (459,94 horas – 423,69 horas) após o encerramento da armação, esta apresenta maior ocorrência de atrasos e esperas, conforme dados fornecidos pela tabela.

Desta forma, significa dizer que a execução da atividade *steel deck* manteve índices de produtividade mais equilibrados com o tempo estabelecido como tempo de ciclo ideal para esta atividade, o oposto ao ocorrido com a execução da atividade da concretagem.

5.2.1. Outras análises: tempo de ciclo ideal x hora de término

O exemplo anterior direciona a apenas um caso entre as várias possibilidades de apresentação do problema, uma vez que os tempos de execução de cada pavimento são dados extraídos através de simulação em planilha que utiliza a função qui-quadrado como ferramenta auxiliar.

Este estudo não visa direcionar seu foco apenas a análise de atrasos acumulados, mas antes procura focar as perdas ocorridas no processo, sejam estas atrasos ou esperas. Ainda propõe analisar estas perdas pontualmente por atividade e a maneira como se comportam no processo.

Para tanto, foram selecionados cinco casos aleatórios com dados gerados através de simulação da planilha elaborada nos capítulos anteriores e para cada um será feita uma breve análise de resultados, buscando descrever o comportamento de cada atividade caso os dados utilizados nesta situação ideal fossem dados recolhidos de campo, ou seja, como se fossem dados extraídos de uma situação real ligados ao processo construtivo convencional. As cinco planilhas correspondentes podem ser visualizadas no Anexo C.

Para cada caso serão utilizados três gráficos de dados interligados entre si: Atividade 1 – *Steel Deck*, Atividade 2 – Armação e Atividade 3 – Concretagem.

➤ **Caso 01:**

PAVIMENTO	Atividade 1 - STELL DECK								
	TEMPO DE EXECUÇÃO STEEL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. STELL DECK	ESPERA ACUMUL. STELL DECK
1	16,00	0,00	1	16,00	3	2	0,00	8,00	0,00
2	9,67	16,01	3	25,67	4	3	1,67	9,67	0,00
36	15,58	389,56	49	405,13	51	50	5,13	123,37	-6,24

Quadro 5.4: Dados de referência do gráfico da Figura 5.7 – Caso 1.

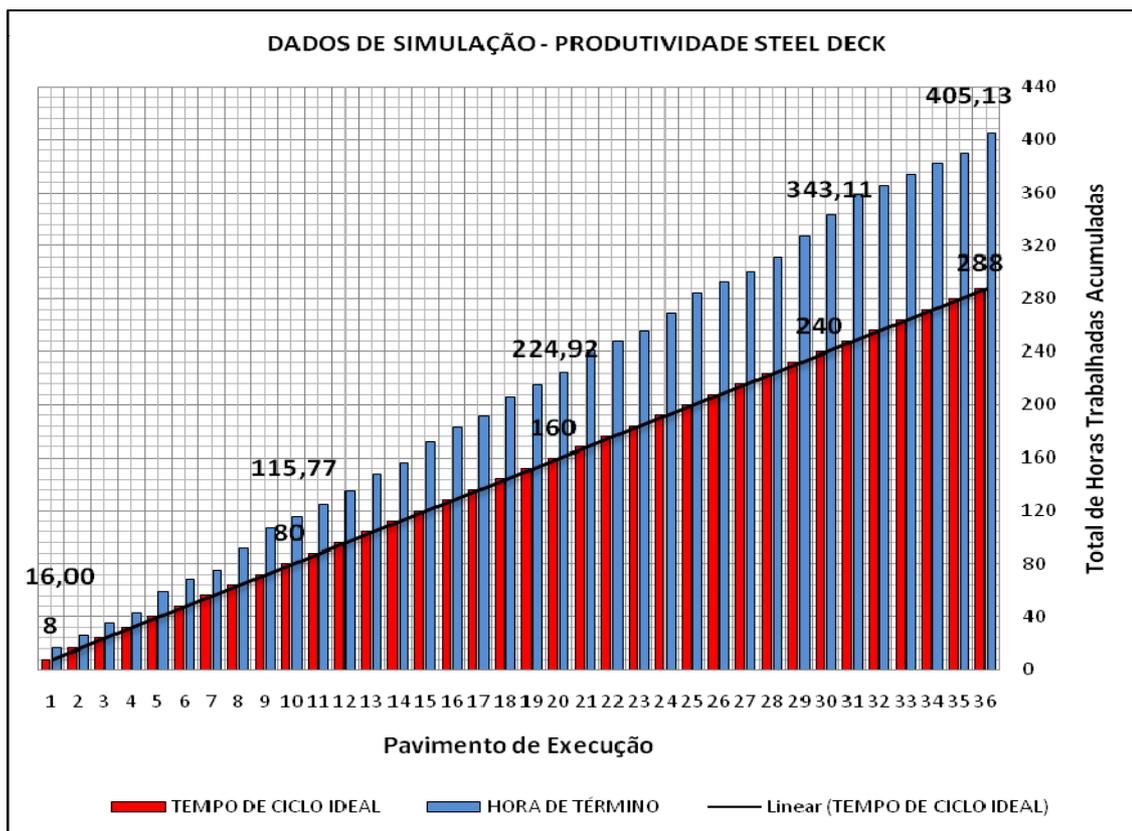


Figura 5.7: Tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck* – Caso 01.

Tempo Total de Execução: 405,13 horas, **Atrasos:** 123,37 horas e **Esperas:** - 6,24 horas.

Análise de resultados caso 1 após a finalização do 36º pavimento de *steel deck*:

- ✓ Tempo de execução total Atividade 1 – *Steel Deck*: 405,13 horas.
- ✓ Atrasos: 123,37 horas.
- ✓ Esperas: - 6,24 horas.
- ✓ Tempo ideal estimado: 288,00 horas.
- ✓ Cálculo: $288,00 + 123,37 - 6,24 = 405,13$ horas.

No gráfico referente à atividade *steel deck* a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 405,13 horas, o que equivale a 405 horas e 8 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 117,13 horas ($123,37 - 6,24$), o que equivale a 117 horas e 8 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 15 dias.

Atividade 2 - ARMAÇÃO										SALDO	
PAV	TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMUL. ARMAÇÃO	ESPERA ACUMUL. ARMAÇÃO	ATRASO ACUMUL. TOTAL	ESPERA ACUMUL. TOTAL
1	9,12	16,01	3	25,13	4	3	1,13	1,12	0,00	9,12	0,00
2	7,34	25,68	4	33,02	5	4	1,02	1,12	-0,66	10,79	-0,66
36	8,70	424,34	54	433,04	55	54	1,04	94,23	-8,56	217,60	-14,80

Quadro 5.5: Dados de referência do gráfico da Figura 5.8 – Caso 1.

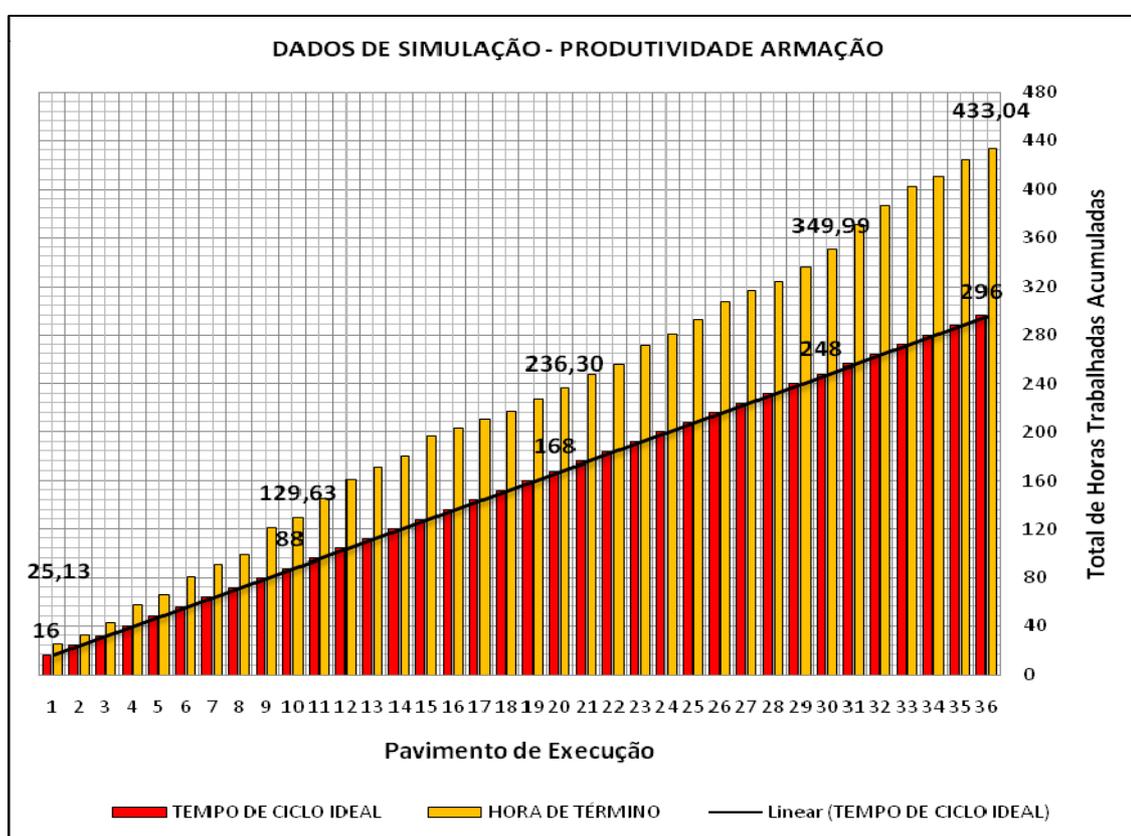


Figura 5.8: Tempo de ciclo ideal x hora de término: armação – Caso 01.

Tempo Total de Execução: 433,04 horas, **Atrasos:** 94,23 horas e **Esperas:** - 8,56 horas.

Análise de resultados caso 1 após a finalização do 36º pavimento de armação:

✓ Tempo de execução total Atividade 2 – Armação: 433,04 horas.

- ✓ Atrasos: 94,23 horas.
- ✓ Esperas: - 8,56 horas.
- ✓ Tempo ideal estimado: 296,00 horas.
- ✓ Cálculo: $296,00 + 94,23 - 8,56 = 381,67$ horas.

No gráfico referente à atividade armação a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 433,04 horas, o que equivale a 433 horas e 3 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 137,04 horas ($433,04 - 296$), o que equivale a 137 horas e 3 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 18 dias.

O valor calculado de 381,67 horas difere do valor apresentado pelo gráfico, que indica 433,04 horas, sendo esta diferença de 51,37 horas.

A diferença apresentada tem um significado importante, pois estas 51,37 horas representam a influência direta da execução do *steel deck* sobre a armação, ou seja, é o tempo contabilizado quando a frente de trabalho da armação está preparada para iniciar a execução do pavimento, mas é impedida pela frente de trabalho do *steel deck*, que atrasou a execução do mesmo.

Este mesmo cálculo pode ser apresentado de maneira semelhante ao exemplo analisado no item 5.2 onde se analisam as perdas decorrentes da execução da armação após a finalização da execução do *steel deck*:

- ❖ **1º Passo:** Tempo de execução do 36º pavimento da atividade armação - tempo de execução do 36º pavimento da atividade *steel deck* = $433,04$ horas - $(405,13+8)$ horas = $19,91$ horas. Isto quer dizer que finalizada a atividade *steel deck*, quando é concluído o 36º pavimento, a atividade armação prossegue ainda por $19,91$ horas.
- ❖ **2º Passo:** Valor das perdas indicado pelo gráfico após a finalização da armação ($433,04 - 296 = 137,04$) - atraso referente à execução da armação após a finalização do *steel deck* = $137,04$ horas - $19,91$ horas = $117,13$ horas (valor atribuído ao somatório das perdas ocorridas durante a execução do *steel deck* e armação).
- ❖ **3º Passo:** Do total de horas trabalhadas relativas à execução da armação obtidas da tabela, $94,23$ horas são referentes a atrasos e $- 8,56$ horas são referentes a esperas, logo, o somatório das perdas nesta atividade

é de 85,67 horas (94,23 horas – 8,56 horas). Subtraindo o valor atribuído como perda indicada unicamente da atividade de armação tem-se: 85,67 horas – 19,91 horas = 65,76 horas, que equivalem a perdas ocorridas simultaneamente à execução da atividade *steel deck* e armação.

❖ **4º Passo:** Considerando que o valor apresentado como o atraso compensado após a execução do *steel deck* é de 117,13 horas e que 65,76 horas representam perdas ocorridas simultaneamente entre a execução da atividade *steel deck* e a atividade armação, percebe-se que a diferença entre esses dois valores corresponde às perdas ocorridas exclusivamente pelo *steel deck* quando esta atividade é executada, ou seja, 51,37 horas.

Seja o atraso acumulado formado pelas seguintes parcelas: atraso isolado *STEEL DECK* + atraso isolado *ARMAÇÃO* + atraso conjunto *STEEL DECK* e *ARMAÇÃO*.

- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 51,37 horas (37,49%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 117,13 horas;
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 19,91 horas (14,53%);
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 85,67 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck* e armação (obtido através de cálculo) = 65,76 horas (47,98%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + (SD & AR)** = 137,04 horas (51,37 horas + 19,91 horas + 65,76 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da armação seja de 137,04 horas e 47,98% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 217,60 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 14,80 horas.

PAV	Atividade 3 - CONCRETAGEM									SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAG	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASSO ACUMUL. CONCRETAG	ESPERA ACUMUL. CONCRETAG	ATRASSO ACUMUL. TOTAL	SPERA ACUMUL. TOTAL
1	9,25	25,68	4	34,93	5	4	2,93	1,25	0,00	10,37	,00
2	11,46	34,94	5	46,40	6	5	6,40	4,71	0,00	15,50	0,66
36	6,66	434,04	55	440,69	56	55	0,69	97,93	-5,60	315,53	

Quadro 5.6: Dados de referência do gráfico da Figura 5.9 – Caso 1.

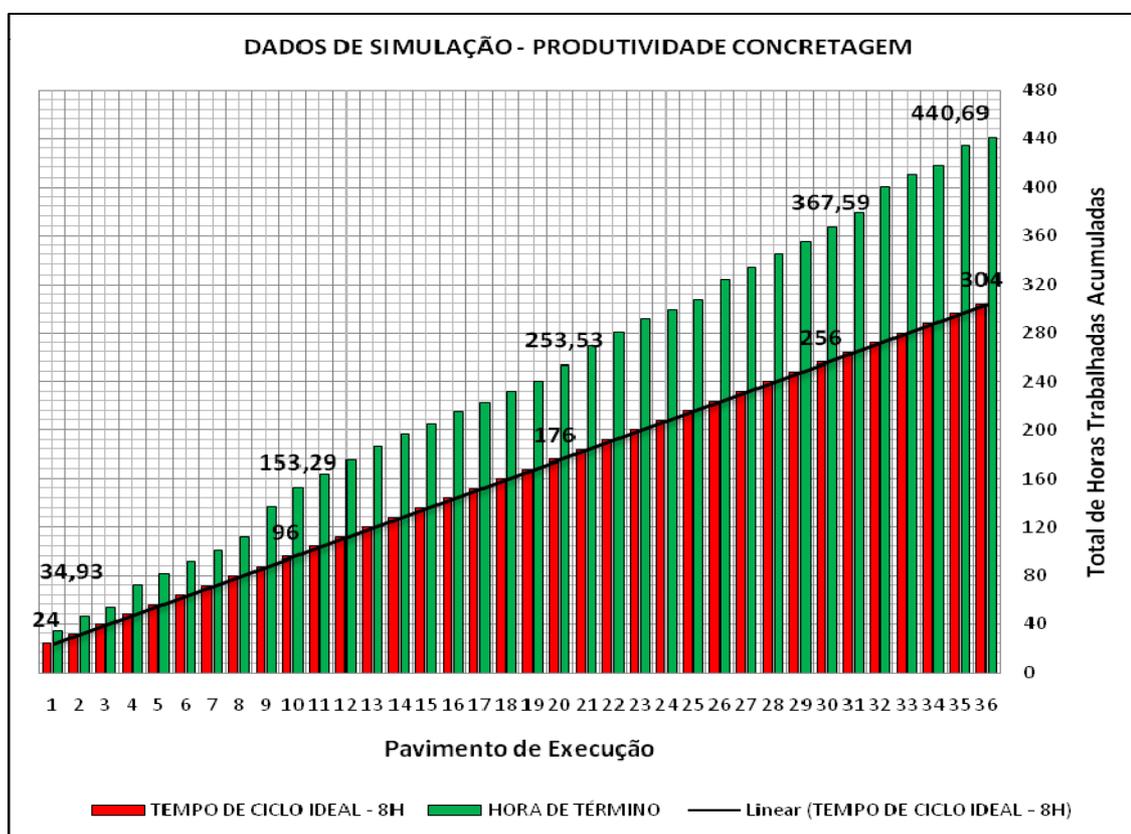


Figura 5.9: Tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem – Caso 01.

Tempo Total de Execução: 440,69 horas, **Atrassos:** 97,93 horas e **Esperas:** - 5,60 horas.

Análise de resultados caso 1 após a finalização do 36º pavimento de concretagem:

✓ Tempo de execução total Atividade 3 – Concretagem: 440,69 horas.

- ✓ Atrasos: 97,93 horas.
- ✓ Esperas: - 5,60 horas.
- ✓ Tempo ideal estimado: 304,00 horas.
- ✓ Cálculo: $304,00 + 97,93 - 5,60 = 396,33$ horas.

No gráfico referente à atividade concretagem a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 440,69 horas, o que equivale a 440 horas e 42 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 136,69 horas ($440,69 - 304$), o que equivale a 136 horas e 42 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 18 dias.

O valor calculado de 396,33 horas difere do valor apresentado pelo gráfico, que indica 440,69 horas, sendo esta diferença de 44,36 horas.

A diferença apresentada tem um significado importante, pois estas 44,36 horas representam a influência direta da execução da armação sobre a concretagem, ou seja, é o tempo contabilizado quando a frente de trabalho da concretagem está preparada para iniciar a execução do pavimento, mas é impedida pela frente de trabalho da armação, que atrasou a execução do mesmo.

Este mesmo cálculo pode ser apresentado de maneira semelhante ao exemplo analisado no item 5.2 onde se analisam as perdas decorrentes da execução da concretagem após a finalização da execução da armação:

- ❖ **1º Passo:** Tempo de execução do 36º pavimento da atividade concretagem - tempo de execução do 36º pavimento da atividade armação = $440,69 \text{ horas} - (433,04 + 8) \text{ horas} = -0,35 \text{ horas}$. Isto quer dizer que finalizada a atividade armação, quando é concluído o 36º pavimento, a atividade concretagem é finalizada logo em seguida. Como esta é finalizada antes do tempo de ciclo ideal de 8 horas (ver dados do Quadro 5.6), há uma espera de 0,35 horas.
- ❖ **2º Passo:** Valor das perdas indicado pelo gráfico após a finalização da concretagem ($440,69 - 304 = 136,69$) – atraso referente à execução da armação após a finalização do *steel deck* = $136,69 \text{ horas} - (-0,35) \text{ horas} = 137,04 \text{ horas}$ (valor atribuído ao somatório das perdas ocorridas durante a execução da armação e da concretagem).

❖ **3º Passo:** Do total de horas trabalhadas relativas à execução da concretagem obtidas da tabela, 97,93 horas são referentes a atrasos e – 5,60 horas são referentes a esperas, logo, o somatório das perdas nesta atividade é de 92,33 horas (97,93 horas – 5,60 horas). Subtraindo o valor atribuído como perda indicada unicamente da atividade de armação tem-se: 92,33 horas – (-035) horas = 92,68 horas, que equivalem a perdas ocorridas simultaneamente à execução das atividades *steel deck*, armação e concretagem.

❖ **4º Passo:** Considerando que o valor apresentado como o atraso compensado após a execução da armação é de 85,67 horas e que 92,68 horas representam perdas ocorridas simultaneamente entre a execução da atividade *steel deck*, armação e a atividade concretagem, percebe-se que a diferença entre esses dois valores corresponde às perdas ocorridas exclusivamente pela armação quando esta atividade é executada, ou seja, - 7,01 horas. Este valor negativo pode ser entendido pelo atraso acumulado da atividade armação ser menor que o atraso acumulado da atividade *steel deck*.

Seja o atraso acumulado formado pelas seguintes parcelas: atraso isolado *STEEL DECK* + atraso isolado *ARMAÇÃO* + atraso isolado *CONCRETAGEM* + atraso conjunto *STEEL DECK*, *ARMAÇÃO* e *CONCRETAGEM*.

- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 51,37 horas (37,58%);
- Espera isolada da armação (obtido através de cálculo) = -7,01 horas (-5,13%);
- Espera isolada da concretagem (obtido através de cálculo) = -0,35 horas (-0,25%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 117,13 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 85,67 horas;
- Atraso compensado da concretagem (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 92,33 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck*, armação e concretagem (obtido através de cálculo) = 92,68 horas (67,80%).

- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck*, armação e concretagem (indicado no gráfico) **SD + AR + CC +(SD & AR & CC) = 136,69 horas (51,37 horas -7,01 horas – 0,35 horas + 92,68 horas)**

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da concretagem seja de 136,69 horas e 67,80% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 315,53 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 20,40 horas.

➤ **Caso 02:**

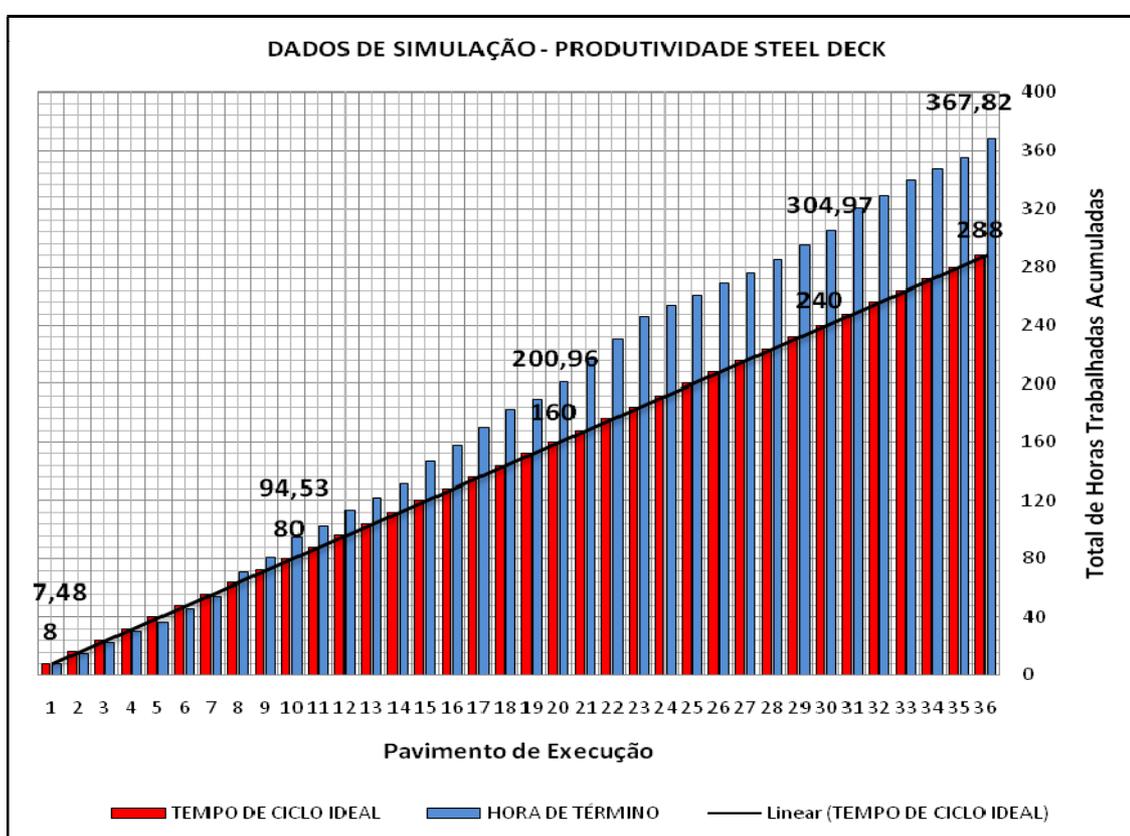


Figura 5.10: Tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck* – Caso 02.

Tempo Total de Execução: 367,82 horas, **Atrasos:** 86,55 horas e **Esperas:** - 6,73 horas.

Análise de resultados caso 2 após a finalização do 36º pavimento de *steel deck*:

- Tempo de execução total Atividade 1 – *Steel Deck*: 367,82 horas.

- Atrasos: 86,55 horas.
- Esperas: - 6,73 horas.
- Tempo ideal estimado: 288,00 horas.
- Cálculo: $288,00 + 86,55 - 6,73 = 367,82$ horas.

No gráfico referente à atividade *steel deck* a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 367,82 horas, o que equivale a 367 horas e 49 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 79,82 horas ($85,55 - 6,73$), o que equivale a 79 horas e 49 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 10 dias.

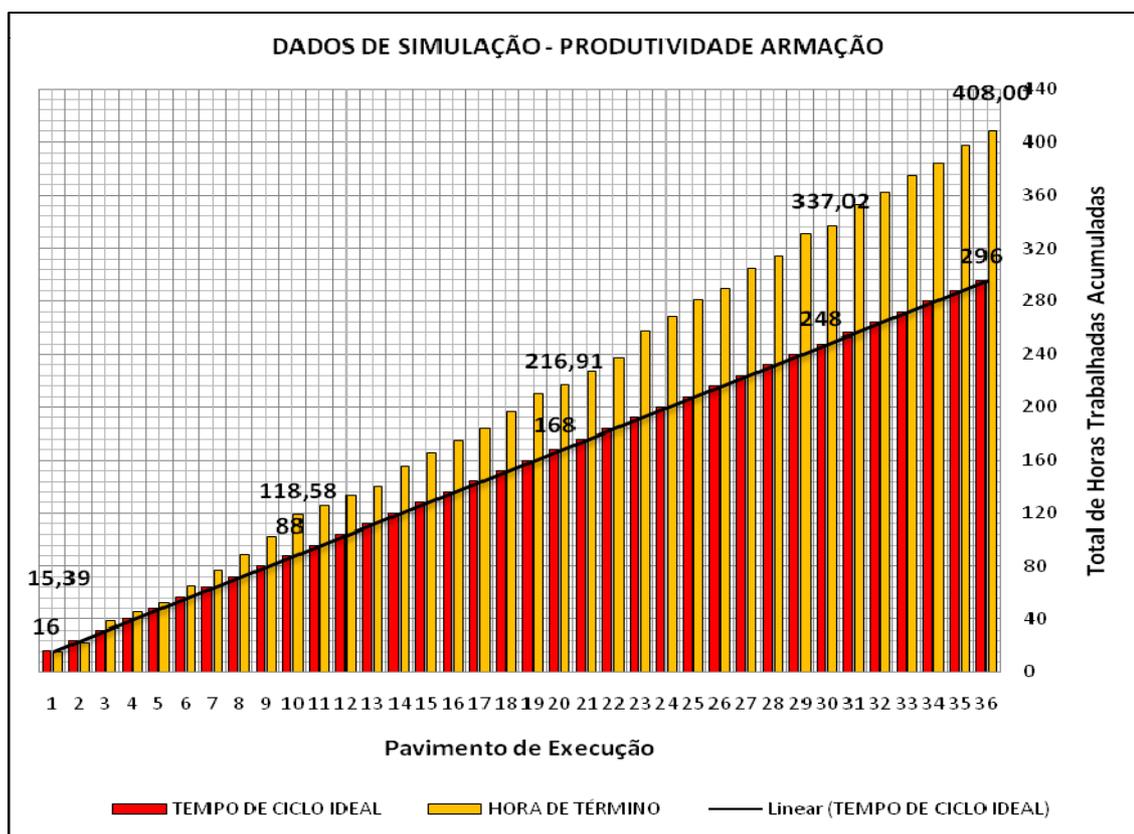


Figura 5.11: Tempo de ciclo ideal x hora de término: armação – Caso 02.

Tempo Total de Execução: 408,00 horas, **Atrasos:** 110,26 horas e **Esperas:** - 10,43 horas.

Análise de resultados caso 2 após a finalização do 36º pavimento de armação:

- Tempo de execução total Atividade 2 – Armação: 408,00 horas.
- Atrasos: 110,26 horas.
- Esperas: - 10,43 horas.
- Tempo ideal estimado: 296,00 horas.
- Cálculo: $296,00 + 110,26 - 10,43 = 395,83$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 12,17 horas (10,87%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 32,18 horas (28,73%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 79,82 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 99,83 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck* e armação (obtido através de cálculo) = 67,65 horas (60,40%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + CC +(SD & AR & CC)** = 112,00 horas (12,17 horas + 32,18 horas + 67,65 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da armação seja de 112,00 horas e 60,40% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 196,81 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 17,16 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 14 dias.

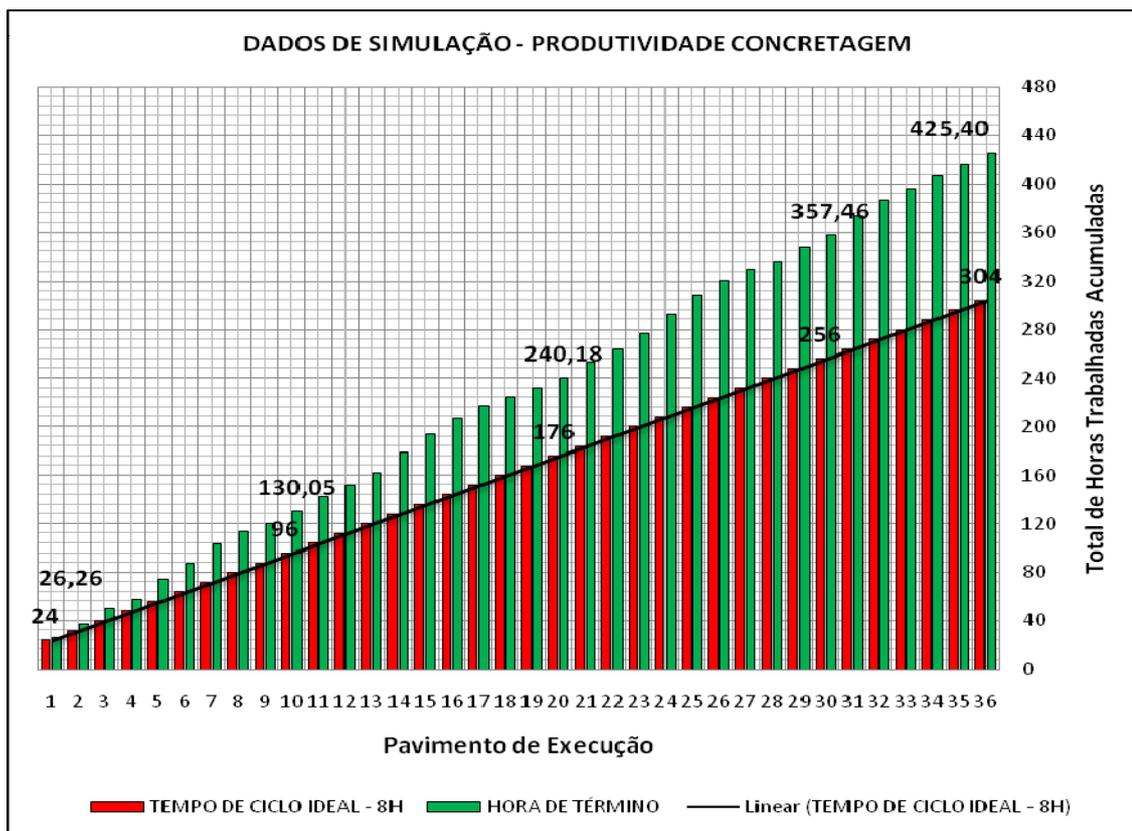


Figura 5.12: Tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem – Caso 02.

Tempo Total de Execução: 425,40 horas, **Atrasos:** 123,79 horas e **Esperas:** - 3,80 horas.

Análise de resultados caso 2 após a finalização do 36º pavimento de concretagem:

- Tempo de execução total Atividade 3 – Concretagem: 425,40 horas.
- Atrasos: 123,79 horas.
- Esperas: - 3,80 horas.
- Tempo ideal estimado: 304,00 horas.
- Cálculo: $304,00 + 123,79 - 3,80 = 423,99$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 12,17 horas (10,02%);
- Espera isolada da armação (obtido através de cálculo) = -10,76 horas (- 8,86%);
- Atraso isolado da concretagem (obtido através de cálculo) = 9,40 horas (7,74%);

- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 79,82 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 99,83 horas;
- Atraso compensado da concretagem (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 119,99 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck*, armação e concretagem (obtido através de cálculo) = 110,59 horas (91,10%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + (SD & AR)** = 121,40 horas (12,17 horas -10,76 horas + 9,40 horas + 110,59 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da concretagem seja de 121,40 horas e 91,10% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 320,60 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 20,96 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 16 dias.

➤ **Caso 03:**

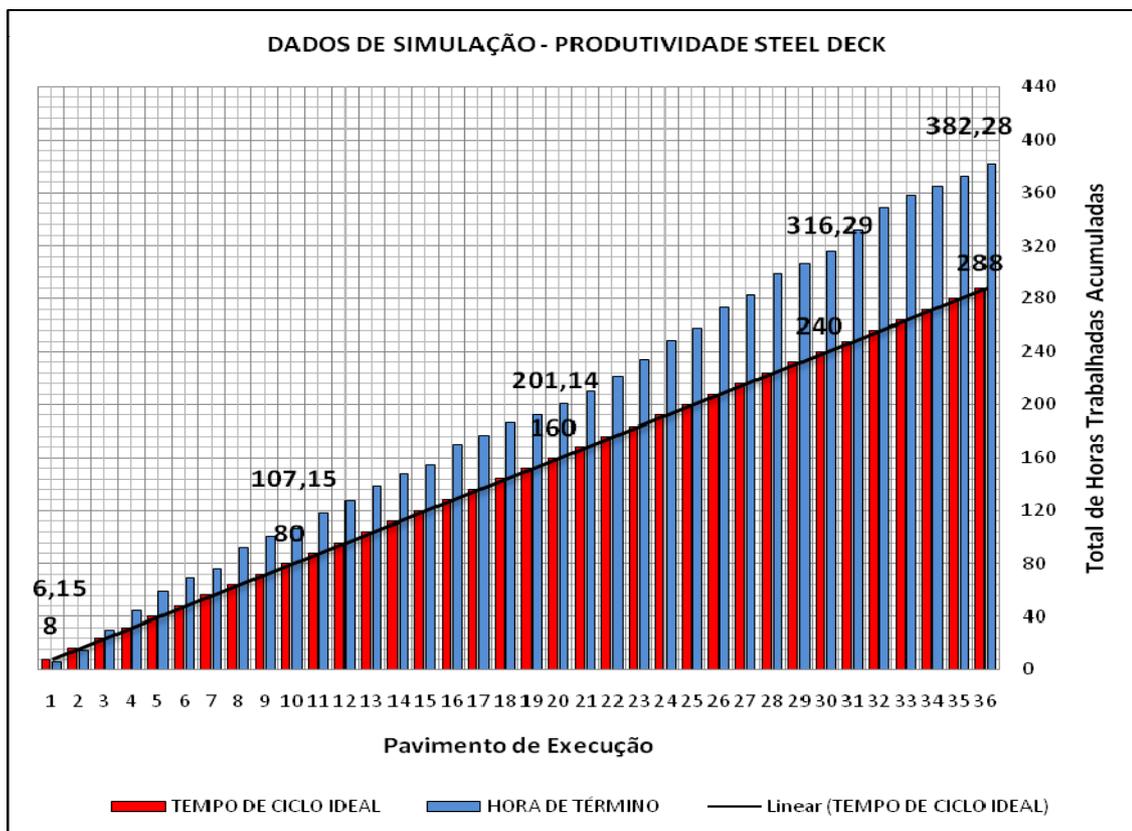


Figura 5.13: Tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck* – Caso 03.

Tempo Total de Execução: 382,28 horas, **Atrasos:** 106,26 horas e **Esperas:** - 11,98 horas.

Análise de resultados caso 3 após a finalização do 36º pavimento de *steel deck*:

- Tempo de execução total Atividade 1 – *Steel Deck*: 382,28 horas.
- Atrasos: 106,26 horas.
- Esperas: - 11,98 horas.
- Tempo ideal estimado: 288,00 horas.
- Cálculo: $288,00 + 106,26 - 11,98 = 382,28$ horas.

No gráfico referente à atividade *steel deck* a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 382,28 horas, o que equivale a 382 horas e 17 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 94,28 horas ($106,26 - 11,98$), o que equivale a 94 horas e 17 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 12 dias.

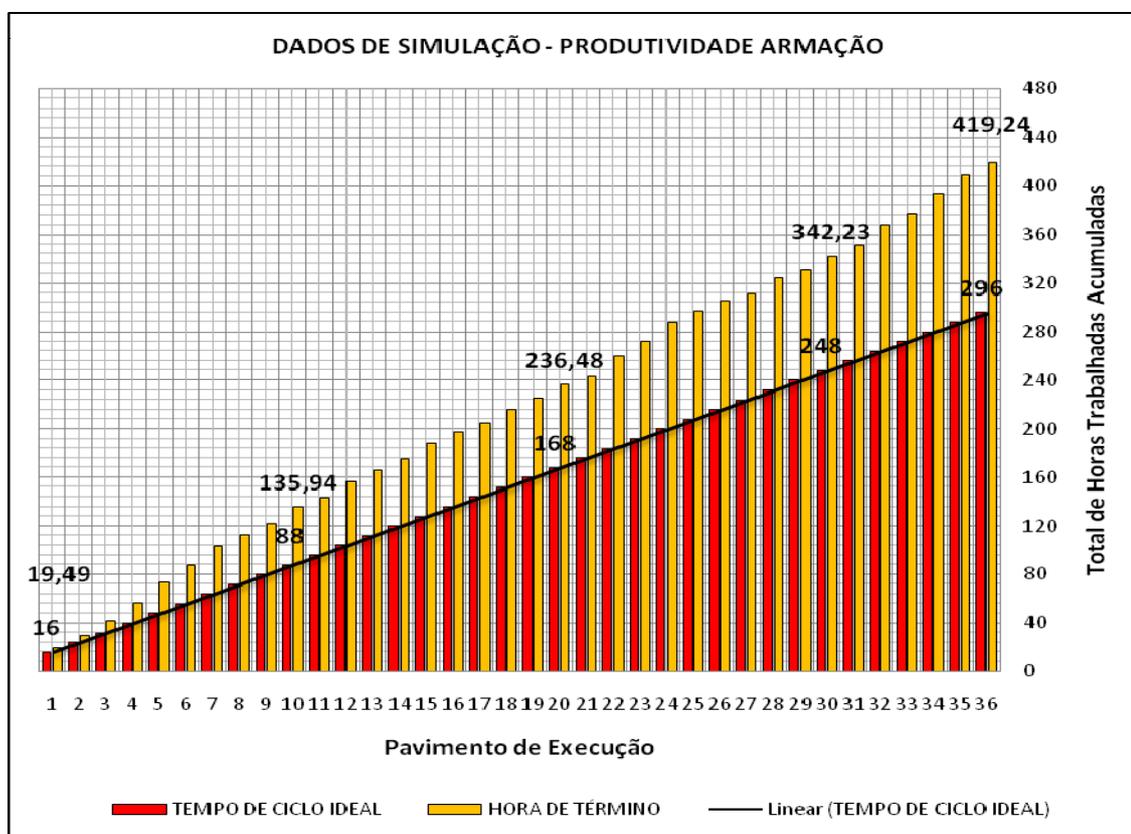


Figura 5.14: Tempo de ciclo ideal x hora de término: armação – Caso 03.

Tempo Total de Execução: 419,24 horas, **Atrasos:** 125,01 horas e **Esperas:** - 3,99 horas.

Análise de resultados caso 3 após a finalização do 36º pavimento de armação:

- Tempo de execução total Atividade 2 – Armação: 419,24 horas.
- Atrasos: 125,01 horas.
- Esperas: - 3,99 horas.
- Tempo ideal estimado: 296,00 horas.
- Cálculo: $296,00 + 125,01 - 3,99 = 417,02$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 2,22 horas (1,80%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 28,96 horas (23,50%);

- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 94,28 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 121,02 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck* e armação (obtido através de cálculo) = 92,06 horas (74,70%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + CC +(SD & AR & CC)** = 123,24 horas (2,22 horas + 28,96 horas + 92,06 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da armação seja de 123,24 horas e 74,70% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 231,28 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 15,97 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 16 dias.

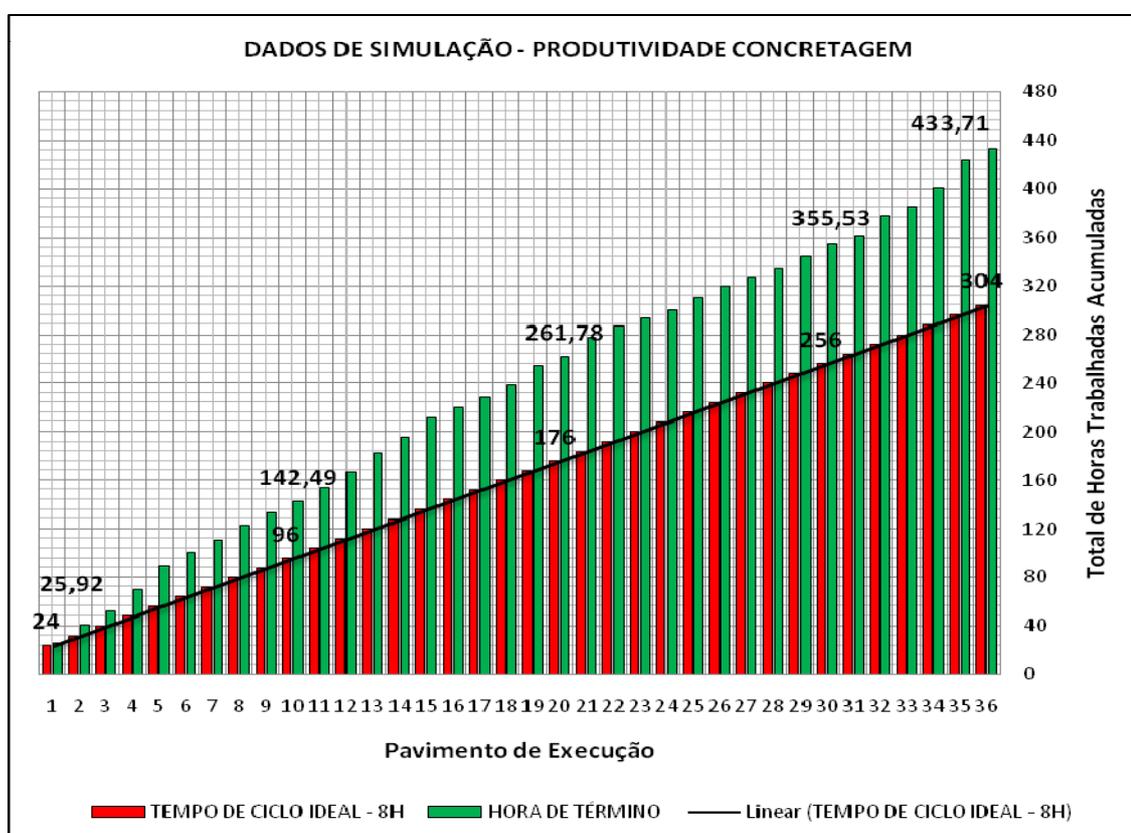


Figura 5.15: Tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem – Caso 03.

Tempo Total de Execução: 476,86 horas, **Atrasos:** 123,29 horas e **Esperas:** - 4,87 horas.

Análise de resultados caso 3 após a finalização do 36º pavimento de concretagem:

- Tempo de execução total Atividade 3 – Concretagem: 433,71 horas.
- Atrasos: 90,36 horas.
- Esperas: - 11,85 horas.
- Tempo ideal estimado: 304,00 horas.
- Cálculo: $304,00 + 90,36 - 11,85 = 382,51$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 2,22 horas (1,71%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 48,98 horas (37,76%);
- Atraso isolado da concretagem (obtido através de cálculo) = 6,47 horas (4,99%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 94,28 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 121,02 horas;
- Atraso compensado da concretagem (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 78,51 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck*, armação e concretagem (obtido através de cálculo) = 72,04 horas (55,54%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + (SD & AR)** = 129,71 horas (2,22 horas + 48,98 horas + 6,47 horas + 72,04 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da concretagem seja de 129,71 horas e 55,54% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 321,64 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 27,82 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 17 dias.

➤ **Caso 04:**

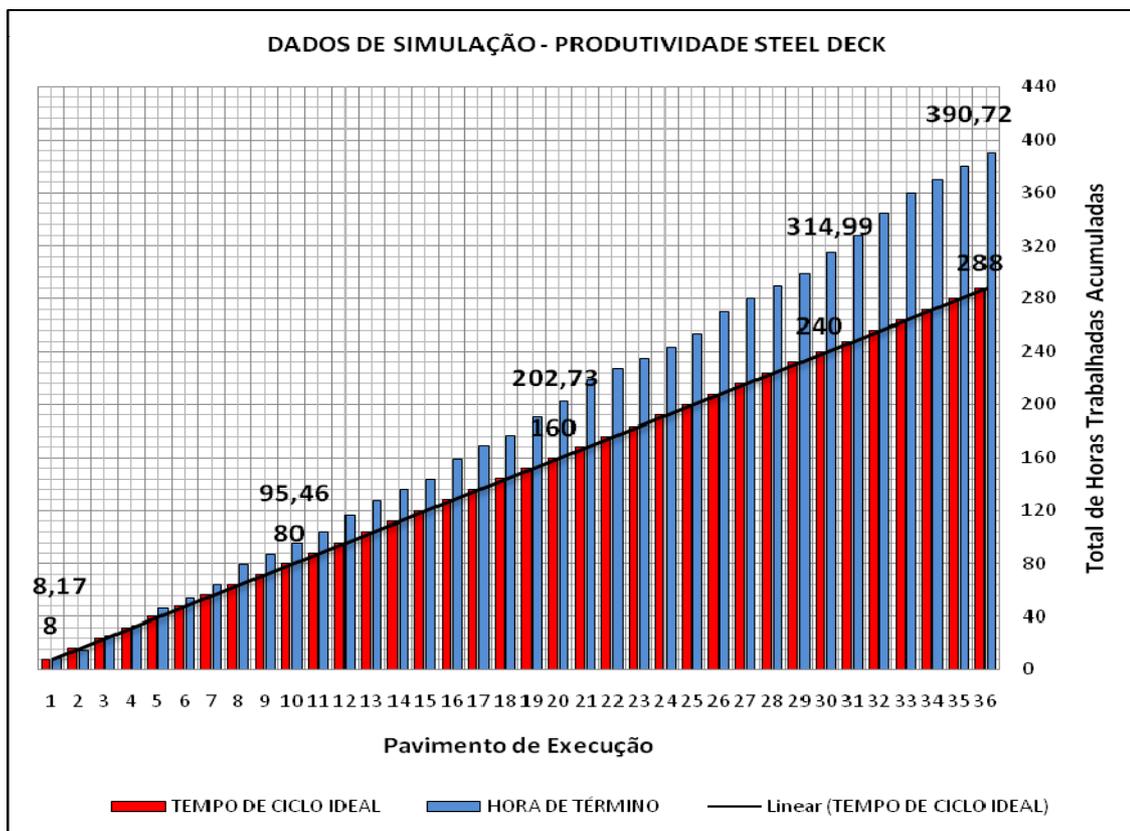


Figura 5.16: Tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck* – Caso 04.

Tempo Total de Execução: 390,72 horas, **Atrasos:** 106,07 horas e **Esperas:** - 3,35 horas.

Análise de resultados caso 4 após a finalização do 36º pavimento de *steel deck*:

- Tempo de execução total Atividade 1 – *Steel Deck*: 390,72 horas.
- Atrasos: 106,07 horas.
- Esperas: - 3,35 horas.
- Tempo ideal estimado: 288,00 horas.
- Cálculo: $288,00 + 106,07 - 3,35 = 390,72$ horas.

No gráfico referente à atividade *steel deck* a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 390,72 horas, o que equivale a 390 horas e 43 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 102,72 horas ($106,07 - 3,35$), o que equivale a 102 horas e 43 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 13 dias.

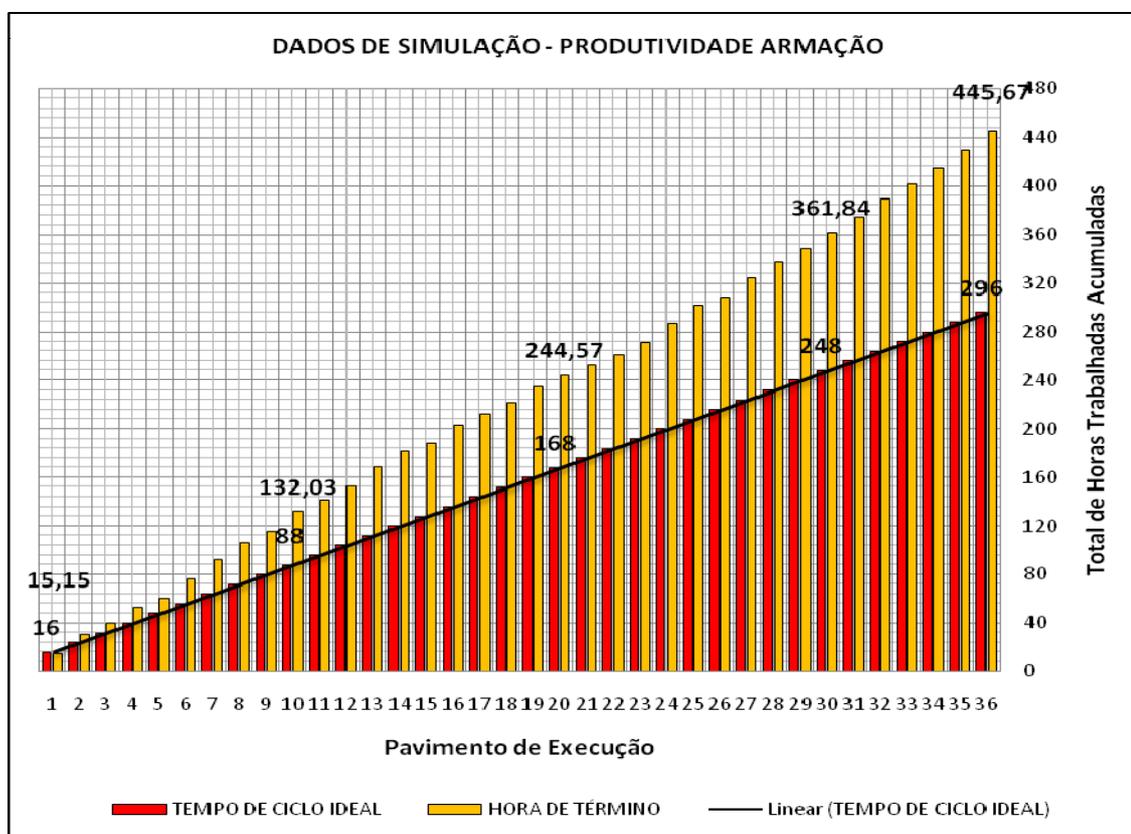


Figura 5.17: Tempo de ciclo ideal x hora de término: armação – Caso 04.

Tempo Total de Execução: 445,67 horas, **Atrasos:** 152,87 horas e **Esperas:** - 3,73 horas.

Análise de resultados caso 4 após a finalização do 36º pavimento de armação:

- Tempo de execução total Atividade 2 – Armação: 445,67 horas.
- Atrasos: 152,87 horas.
- Esperas: - 3,73 horas.
- Tempo ideal estimado: 296,00 horas.
- Cálculo: $296,00 + 152,87 - 3,73 = 445,14$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 0,53 horas (0,35%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 46,95 horas (31,37%);

- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 102,72 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 149,14 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck* e armação (obtido através de cálculo) = 102,19 horas (68,28%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + CC** +(SD & AR & CC) = 149,67 horas (0,53 horas + 46,95 horas + 102,19 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da armação seja de 149,67 horas e 68,28% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 258,93 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 7,08 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 19 dias.

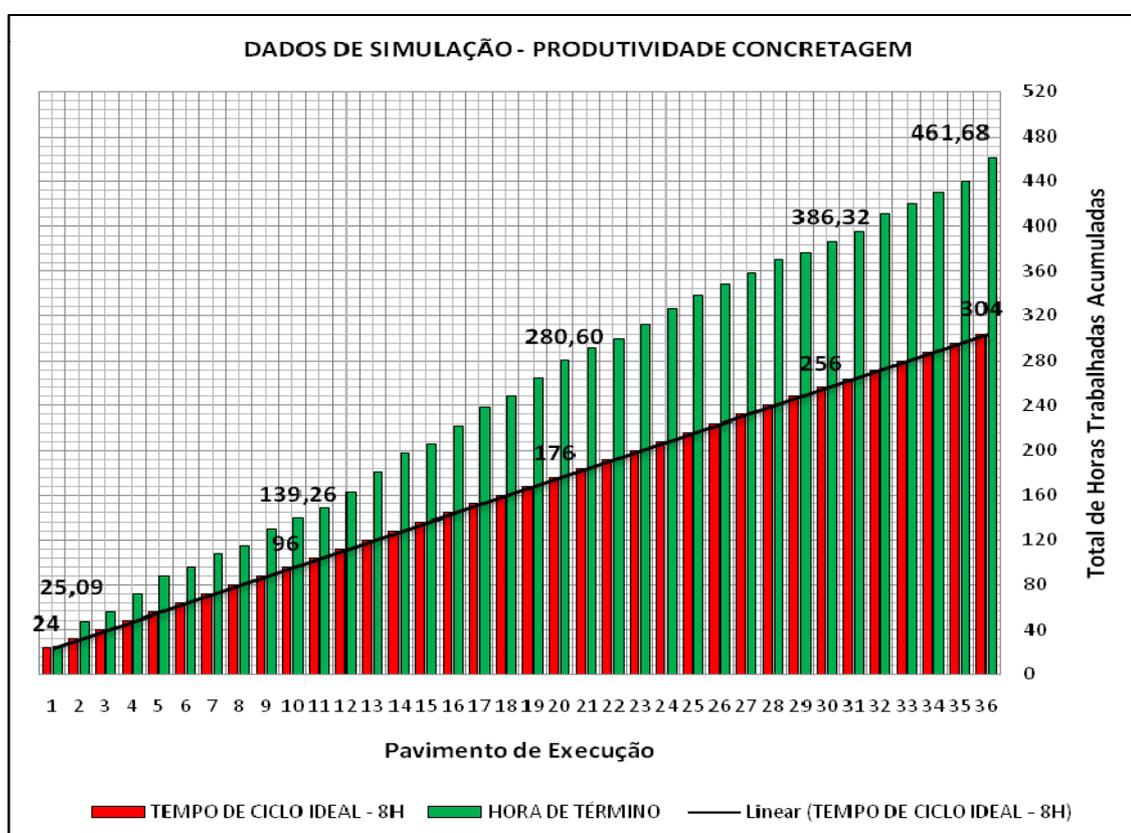


Figura 5.18: Tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem – Caso 04.

Tempo Total de Execução: 461,68 horas, **Atrasos:** 134,40 horas e **Esperas:** - 3,94 horas.

Análise de resultados caso 4 após a finalização do 36º pavimento de concretagem:

- Tempo de execução total Atividade 3 – Concretagem: 461,68 horas.
- Atrasos: 134,40 horas.
- Esperas: - 3,94 horas.
- Tempo ideal estimado: 304,00 horas.
- Cálculo: $304,00 + 134,40 - 3,94 = 424,46$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 0,53 horas (0,33%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 26,69 horas (16,93%);
- Atraso isolado da concretagem (obtido através de cálculo) = 8,01 horas (5,08%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 102,72 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 149,14 horas;
- Atraso compensado da concretagem (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 130,46 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck*, armação e concretagem (obtido através de cálculo) = 122,45 horas (77,66%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + (SD & AR)** = 157,68 horas (0,53 horas + 26,69 horas + 8,01 horas + 122,45 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da concretagem seja de 157,68 horas e 77,66% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 393,34 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 11,02 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 20 dias.

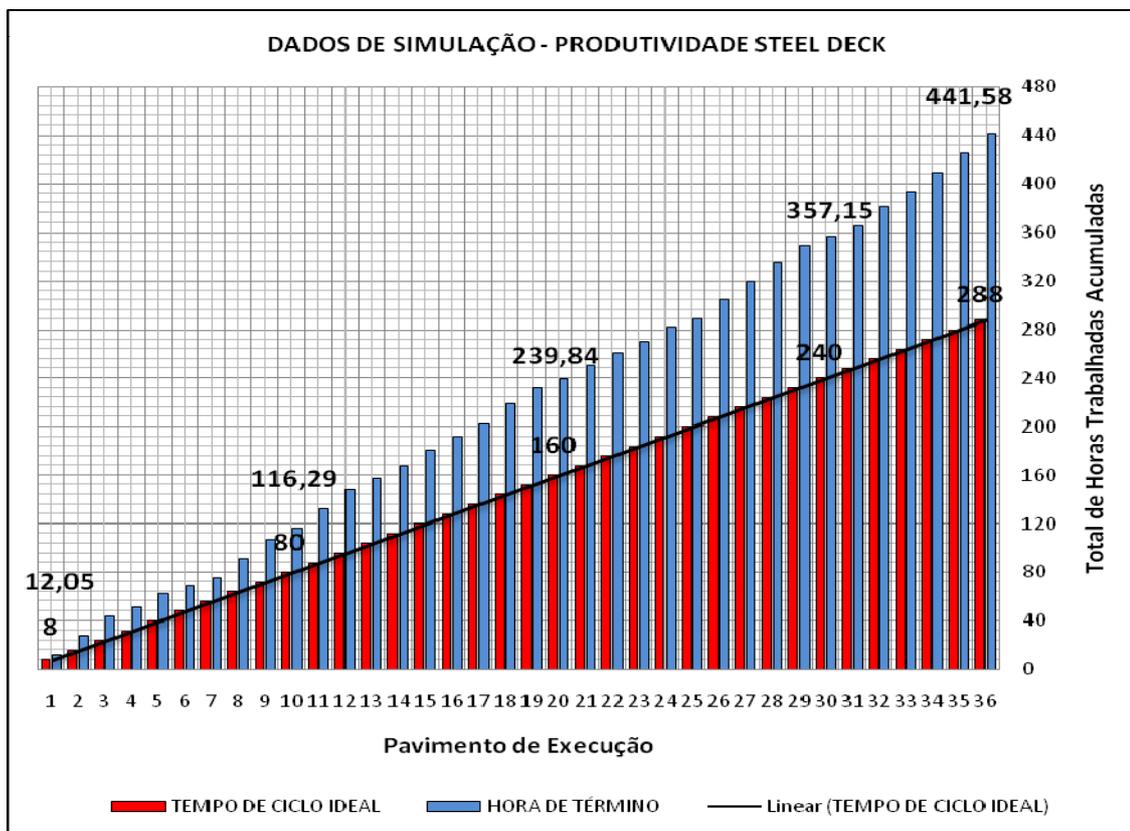
➤ **Caso 05:**

Figura 5.19: Tempo de ciclo ideal x hora de término: *steel deck* – Caso 05.

Tempo Total de Execução: 441,58 horas, Atrasos: 158,61 horas e Esperas: - 5,03 horas.

Análise de resultados caso 5 após a finalização do 36º pavimento de *steel deck*:

- Tempo de execução total Atividade 1 – *Steel Deck*: 441,58 horas.
- Atrasos: 158,61 horas.
- Esperas: - 5,03 horas.
- Tempo ideal estimado: 288,00 horas.
- Cálculo: $288,00 + 158,61 - 5,03 = 441,58$ horas.

No gráfico referente à atividade *steel deck* a diferença percebida por barras que ultrapassam a reta limite apresenta valor total no 36º pavimento de 441,58 horas, o que equivale a 441 horas e 35 minutos necessários à execução de 36 pavimentos, ou seja, um atraso compensado de 153,58 horas ($158,61 - 5,03$), o que equivale a 153 horas e 35 minutos.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 19 dias.

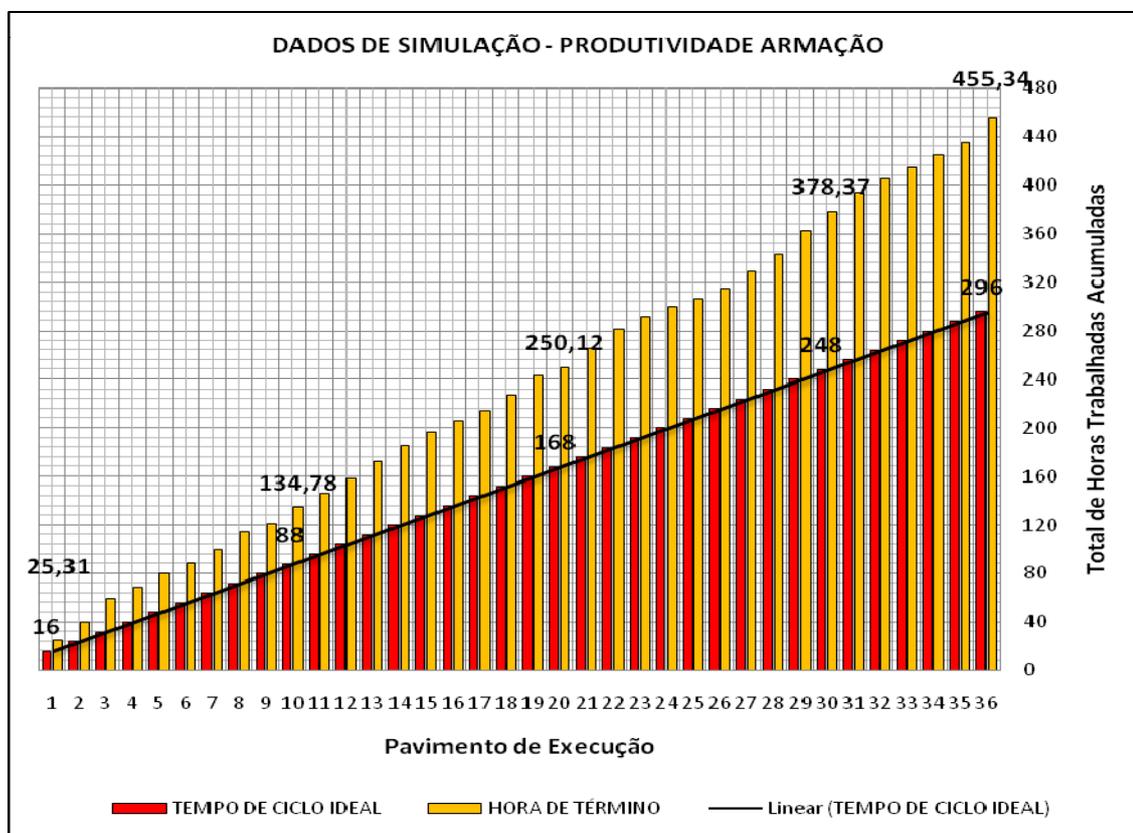


Figura 5.20: Tempo de ciclo ideal x hora de término: armação – Caso 05.

Tempo Total de Execução: 455,34 horas, **Atrasos:** 116,10 horas e **Esperas:** - 4,35 horas.

Análise de resultados caso 5 após a finalização do 36º pavimento de armação:

- Tempo de execução total Atividade 2 – Armação: 455,34 horas.
- Atrasos: 116,10 horas.
- Esperas: - 4,35 horas.
- Tempo ideal estimado: 296,00 horas.
- Cálculo: $296,00 + 116,10 - 4,35 = 407,75$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 47,59 horas (29,87%);
- Atraso isolado da armação (obtido através de cálculo) = 5,76 horas (3,61%);

- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 153,58 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 111,75 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck* e armação (obtido através de cálculo) = 105,99 horas (66,52%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + CC** +(SD & AR & CC) = 159,34 horas (47,59 horas + 5,76 horas + 105,99 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da armação seja de 159,34 horas e 66,52% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 274,71 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 9,37 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 20 dias.

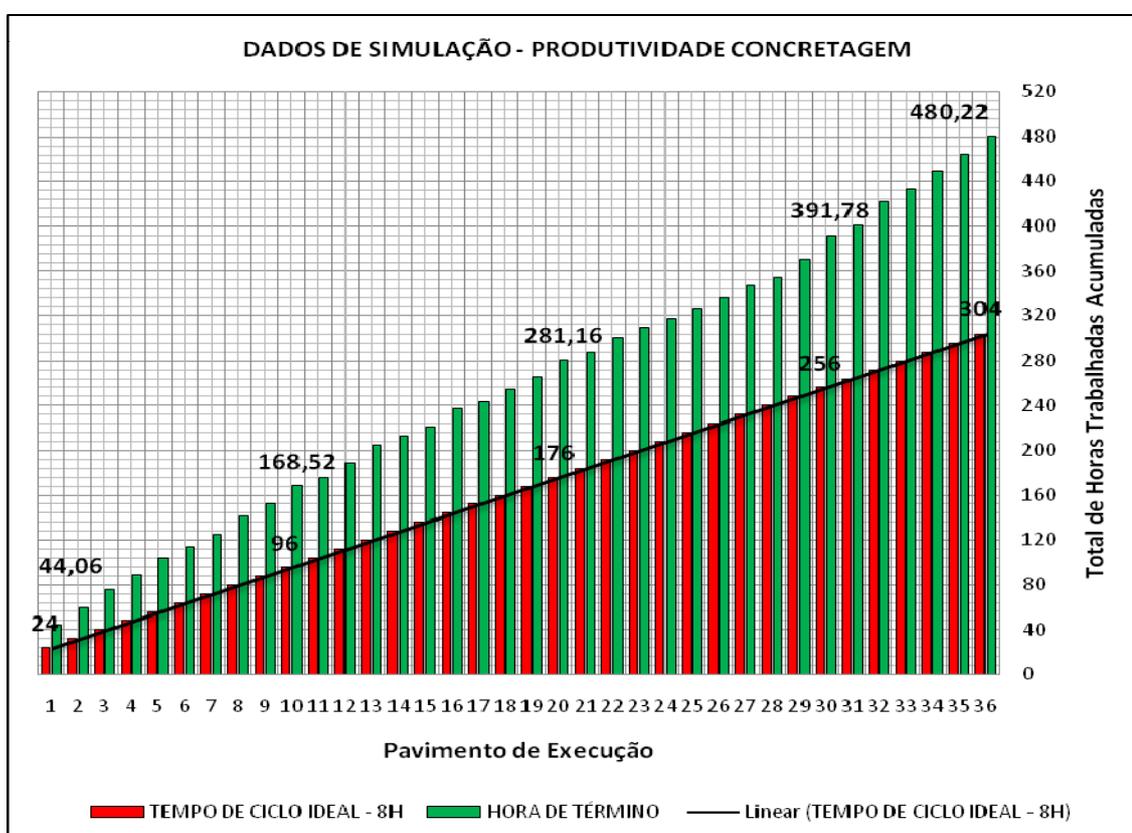


Figura 5.21: Tempo de ciclo ideal x hora de término: concretagem – Caso 05.

Tempo Total de Execução: 480,22 horas, **Atrasos:** 148,42 horas e **Esperas:** - 8,32 horas.

Análise de resultados caso 5 após a finalização do 36º pavimento de concretagem:

- Tempo de execução total Atividade 3 – Concretagem: 480,22 horas.
- Atrasos: 148,42 horas.
- Esperas: - 8,32 horas.
- Tempo ideal estimado: 304,00 horas.
- Cálculo: $304,00 + 148,42 - 8,32 = 444,10$ horas.
- Atraso isolado do *steel deck* (obtido através de cálculo) = 47,59 horas (27,00%);
- Espera isolada da armação (obtido através de cálculo) = -11,47 horas - 6,50%);
- Atraso isolado da concretagem (obtido através de cálculo) = 16,88 horas (9,58%);
- Atraso compensado do *steel deck* (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 153,58 horas;
- Atraso compensado da armação (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 111,75 horas;
- Atraso compensado da concretagem (obtido através de planilha) considerando a atividade em isolado = 140,10 horas;
- Atraso entre as atividades *steel deck*, armação e concretagem (obtido através de cálculo) = 123,22 horas (69,92%).
- Atraso do cronograma após a execução do *steel deck* e armação (indicado no gráfico) **SD + AR + (SD & AR)** = 176,22 horas (47,59 horas – 11,47 horas + 16,88 horas + 123,22 horas)

Embora o impacto direto sobre o cronograma após a execução da concretagem seja de 176,22 horas e 69,92% dessas perdas ocorram de maneira simultânea entre as atividades, os atrasos foram responsáveis por uma perda acumulada de 423,13 horas e as esperas foram responsáveis por uma perda acumulada de 17,69 horas.

Em quantitativo de dias trabalhados pode-se dizer que houve um atraso compensado no cronograma de aproximadamente 23 dias.

5.2.2. Análises de desperdício

Caso 1:

- Tempo total de execução de 440,69 horas (55 dias e 0,69 horas).
- Atraso acumulado total: 315,53 horas (39 dias e 3,53 horas).
- Espera acumulada total: 20,40 horas (2 dias e 4,40 horas).
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 2: 27,91 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 2 e a Atividade 3: 7,65 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 3: 35,56 horas.
- Perdas simultâneas entre as três atividades de 92,68 horas = 67,80% do total de perdas compensadas.

No caso 1 a Atividade 2 – Armação apresenta comportamento singular, pois durante a sua execução observa-se a menor ocorrência de atrasos (94,23 horas) e a maior ocorrência de esperas (-8,56 horas). Este comportamento é devido a um índice de produtividade com maior compensação enquanto execução da atividade e reflete o menor acúmulo de horas entre a finalização desta atividade e a Atividade 3 – Concretagem do que entre esta atividade e a Atividade 1 – *Steel Deck*.

A Atividade 3 – Concretagem, foi responsável pela menor ocorrência de esperas acumuladas (-5,60 horas) e pela maior porcentagem de esperas compensadas (-5,13%).

A Atividade 1 – *Steel Deck* foi responsável pela maior ocorrência de atrasos acumulados (123,37 horas) e pela maior porcentagem de atrasos compensados (37,58%).

Embora a Atividade 1 – *Steel Deck* tenha gerado um grande atraso acumulado durante sua execução, o índice de produtividade da Atividade 2 – Armação foi capaz de compensar esta perda amenizando os efeitos indiretos da Atividade 1 – *Steel Deck* sobre a Atividade 3 – Concretagem.

Caso 2:

- Tempo total de execução de 425,40 horas (53 dias e 1,40 horas).
- Atraso acumulado total: 320,60 horas (40 dias e 0,60 horas).
- Espera acumulada total: 20,96 horas (2 dias e 4,96 horas).

- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 2: 40,18 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 2 e a Atividade 3: 17,40 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 3: 57,58 horas.
- Perdas simultâneas entre as três atividades de 110,59 horas = 91,10% do total de perdas compensadas.

No caso 2 a Atividade 3 – Concretagem apresenta durante a sua execução a menor ocorrência de esperas (-3,80 horas) e a maior ocorrência de atrasos (123,79 horas). Este comportamento é devido a um índice de produtividade menos equilibrado.

Ainda que a Atividade 3 – Concretagem tenha apresentado maior atraso acumulado durante sua execução, esta atividade apresenta o menor acúmulo de horas entre sua finalização e a Atividade 2 – Armação do que entre a Atividade 2 – Armação e a Atividade 1 – *Steel Deck*. Isto ocorre porque a Atividade 2 – Armação também apresenta baixo índice de produtividade, ocasionando atrasos.

A Atividade 1 – *Steel Deck* foi responsável pela menor ocorrência de atrasos acumulados (86,55 horas) e pela maior porcentagem de atrasos compensados (10,02%).

A Atividade 2 – Armação, foi responsável pela maior ocorrência de esperas acumuladas (-10,43 horas) e pela maior porcentagem de esperas compensadas (-8,86%).

Embora a Atividade 2 – Armação e a Atividade 3 – Concretagem tenham gerado um grande atraso acumulado durante suas execuções, este atraso ocorreu quase que em sua totalidade simultaneamente entre as três atividades (91,10%).

Caso 3:

- Tempo total de execução de 433,71 horas (53 dias e 1,40 horas).
- Atraso acumulado total: 321,64 horas (40 dias e 0,60 horas).
- Espera acumulada total: 27,82 horas (2 dias e 4,96 horas).
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 2: 36,96 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 2 e a Atividade 3: 14,47 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 3: 51,43 horas.
- Perdas simultâneas entre as três atividades de 72,04 horas = 55,54% do total de perdas compensadas.

No caso 3 a Atividade 2 – Armação apresenta durante a sua execução a menor ocorrência de esperas (-3,99 horas) e a maior ocorrência de atrasos (125,01 horas). Este comportamento é devido a um índice de produtividade menos equilibrado.

Em um efeito oposto a Atividade 1 – *Steel Deck* apresenta durante a sua execução a menor ocorrência de atrasos (106,26 horas) e a maior ocorrência de esperas (-11,98 horas). Este comportamento é devido a um índice de produtividade mais equilibrado.

A Atividade 3 – Concretagem foi responsável pela menor porcentagem de atrasos compensados (4,99%).

A Atividade 2 – Armação, foi responsável pela menor ocorrência de esperas acumuladas (-3,99 horas) e pela maior porcentagem de atrasos compensados (37,76%).

Embora a Atividade 2 – Armação e a Atividade 3 – Concretagem tenham gerado um grande atraso acumulado durante suas execuções, este atraso representa apenas uma diferença de 14,47 horas entre as duas atividades.

Caso 4:

- Tempo total de execução de 461,68 horas (57 dias e 5,68 horas).
- Atraso acumulado total: 393,34 horas (49 dias e 1,34 horas).
- Espera acumulada total: 11,02 horas (1 dia e 3,02 horas).
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 2: 54,95 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 2 e a Atividade 3: 16,01 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 3: 70,96 horas.
- Perdas simultâneas entre as três atividades de 122,45 horas = 77,66% do total de perdas compensadas.

No caso 4 a Atividade 1 – *Steel Deck* apresenta durante a sua execução a menor ocorrência de esperas (-3,35 horas) e a menor ocorrência de atrasos (106,07 horas). Este comportamento é devido a um índice de produtividade mais equilibrado.

A Atividade 2 – Armação, foi responsável pela maior ocorrência de atrasos acumulados (152,87 horas) e pela maior porcentagem de atrasos compensados (-26,69%). Este comportamento reflete o maior acúmulo de horas entre a finalização

desta atividade e a Atividade 1 – *Steel Deck* do que entre esta atividade e a Atividade 3 – Concretagem.

A Atividade 3 – Concretagem foi responsável pela maior ocorrência de esperas acumuladas (-3,94 horas).

Embora a Atividade 2 – Armação e a Atividade 3 – Concretagem tenham gerado um grande atraso acumulado durante suas execuções, este atraso representa apenas uma diferença de 16,01 horas entre as duas atividades.

Caso 5:

- Tempo total de execução de 480,22 horas (60 dias e 0,22 horas).
- Atraso acumulado total: 423,13 horas (52 dias e 7,13 horas).
- Espera acumulada total: 17,69 horas (2 dias e 1,69 horas).
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 2: 13,76 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 2 e a Atividade 3: 24,88 horas.
- Acúmulo de horas entre a Atividade 1 e a Atividade 3: 38,64 horas.
- Perdas simultâneas entre as três atividades de 123,22 horas = 69,92% do total de perdas compensadas.

No caso 5 a Atividade 2 – Armação apresenta durante a sua execução a menor ocorrência de esperas (-4,35 horas) e a menor ocorrência de atrasos (116,10 horas). Este comportamento é devido a um índice de produtividade mais equilibrado.

A Atividade 1 – *Steel Deck* foi responsável pela maior ocorrência de atrasos acumulados (158,61 horas) e pela maior porcentagem de atrasos compensados (27,00%).

A Atividade 3 – Concretagem foi responsável pela maior ocorrência de esperas acumuladas (-8,32 horas).

Embora na Atividade 1 – *Steel Deck* possa se observar a maior ocorrência de atrasos, o tempo de execução entre as atividades *Steel Deck* e Armação é menor que entre as atividades Armação e Concretagem.

Dos cinco casos analisados, cada caso, por ser uma distribuição aleatória de dados, tem sua particularidade.

O caso 5 é o caso que apresenta maior tempo de execução, um total de 480,22 horas e o caso 2 é o caso que apresenta menor tempo de execução, em um total de 425,40 horas.

Ainda que o caso 2 seja o caso que tenha levado o menor tempo de execução, o caso 3 é o caso em que as atividades *steel deck*, armação e concretagem apresentam a menor perda gerada por atividades simultâneas, 72,04 horas, em comparação às 110,52 horas geradas no caso 2, ou seja, uma grande diferença.

O caso 3 é o caso que apresenta a maior perda referente a esperas (-11,98 horas – *steel deck*) e o caso 4 é o caso que apresenta a maior perda referente a atrasos (152,87 horas – armação).

O caso 2 apresenta a maior taxa de perdas compensadas simultâneas entre as atividades – 91,10% quando as atividades são executadas juntas.

O caso 4 é o caso que apresenta a menor perda referente a esperas (-3,35 horas – *steel deck*) e o caso 2 é o caso que apresenta a menor perda referente a atrasos (86,55 horas – armação).

Considerando que cada caso pode ser visto como um empreendimento diferente, a análise dos cinco casos citados como exemplo poderia ser considerada como comparação de cinco empreendimentos distintos, embora de características similares, onde a análise das perdas geradas em cada processo deveriam ser estudadas e confrontadas de modo que se pudesse perceber se as falhas ocorridas foram geradas ainda na fase de planejamento ou na fase de execução.

As falhas de planejamento, por uma questão lógica, deveriam ser comuns aos estudos dos cinco casos ou pelo menos de sua maioria e as falhas na execução demonstrariam mais claramente quais os pontos negativos da execução das atividades, pontos estes que deveriam ser corrigidos para assim evitarem-se novas perdas no processo.

5.3. Superposição de efeitos

O nível de análise do desperdício gerado pelos atrasos e esperas varia conforme o foco a que se destina. O desperdício pode ser analisado pontualmente (por atividade), pois a tabela fornece informações claras sobre as perdas acumuladas pavimento a pavimento, ou o desperdício pode ser avaliado em conjunto quando se deseja obter informações relativas ao atraso geral do cronograma.

De qualquer maneira, é importante ressaltar que existe a ocorrência de perdas simultâneas e que a soma total do desperdício gerado não significa a medida final de atrasos ou esperas.

Cada atividade apresentará uma medida real de ocorrência de atrasos e esperas e esta base de informações norteará o comportamento da atividade dentro do processo construtivo. É possível saber se a atividade manteve a índice de produtividade mais próxima ao padrão estabelecido ou se esta taxa se distanciou do esperado, impactando diretamente na atividade posterior, que depende de seu encerramento para ser iniciada.

A ocorrência de atrasos em determinada atividade mostra que o desperdício criado embute uma quantidade de horas ao tempo total de execução da atividade posterior que só pode ser percebido em uma análise pontual das atividades.

Desta maneira, é necessário que o estudo das perdas acumuladas seja detalhado quando se deseja saber o real custo gerado e de que maneira este custo muitas vezes é “escondido” ou embutido entre as atividades.

Por este trabalho se tratar da análise de apenas três atividades, fica mais fácil visualizar pequenas perdas do processo, entretanto, em uma cadeia construtiva de atividades seqüenciais de grande número, se faz necessário conhecer as possíveis ferramentas utilizadas para análise das perdas, uma vez que o desperdício se acumula entre as atividades.

Outra maneira de se visualizar as perdas acumuladas no processo de maneira rápida é comparando-se o efeito criado por um simples gráfico de rendimento.

Como exemplo, considere-se a soma das perdas acumuladas apenas pelos atrasos pavimento a pavimento, ou pelas esperas pavimento a pavimento. A soma total por pavimento gera um valor qualquer representado por 100%, onde cada atividade gera uma parcela deste atraso diário.

Nos gráficos representativos de atrasos e esperas, as perdas da atividade *steel deck* são representadas pela cor azul, as perdas da atividade armação são representadas pela cor vermelha e as perdas da atividade concretagem são representadas pela cor verde.

Foram criados dois gráficos, um para visualização dos atrasos e outro para visualização das esperas. Em ambos estão indicados 36 pavimentos.

No caso 01 observa-se que a Atividade 1 – *Steel Deck* apresenta um índice de produtividade menos equilibrado durante a execução dos três primeiros pavimentos e que a Atividade 2 – Armação indica que a ocorrência de atrasos foi pequena nestes três pavimentos.

A Atividade 3 – Concretagem, também manteve índices de produtividade mais baixos durante sua execução, ainda que a medida final de atrasos tenha se aproximado do valor medido pela Atividade 2 – Armação.

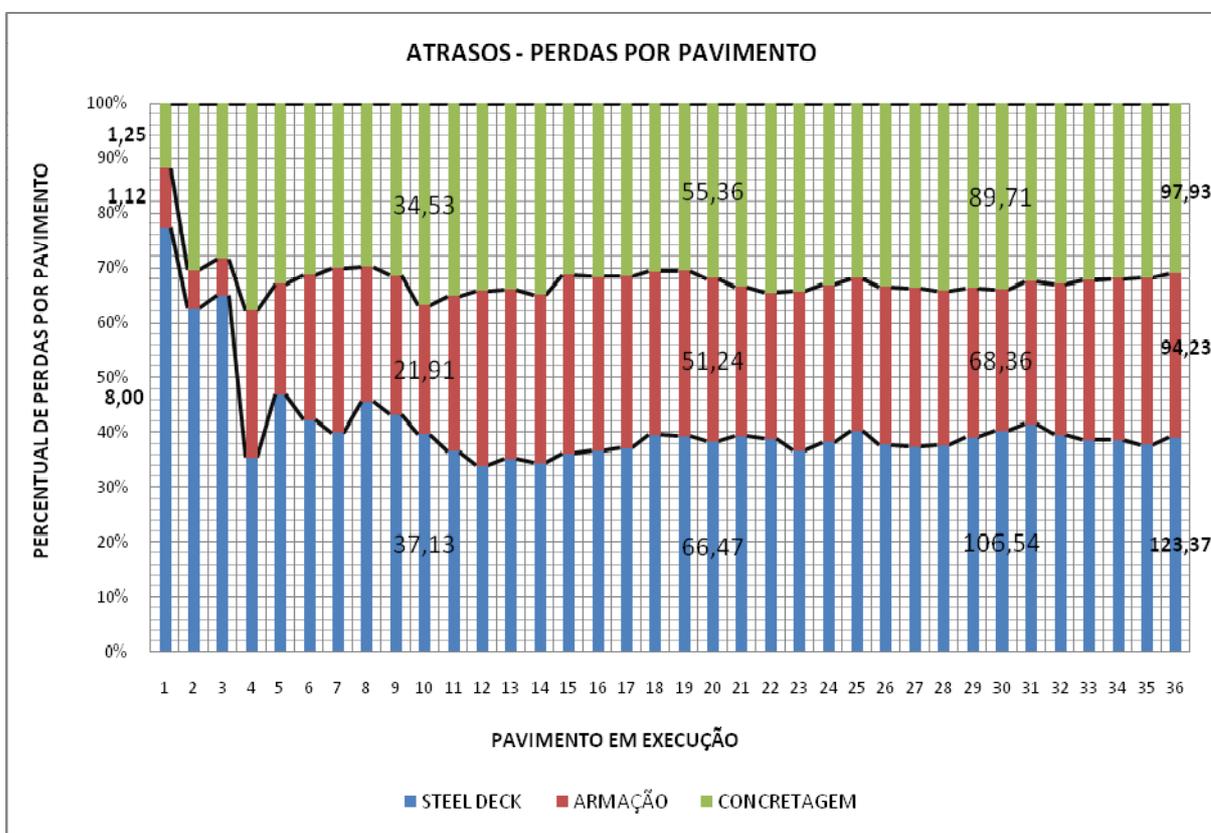


Figura 5.22: Perdas diárias (atrasos) – Caso 01.

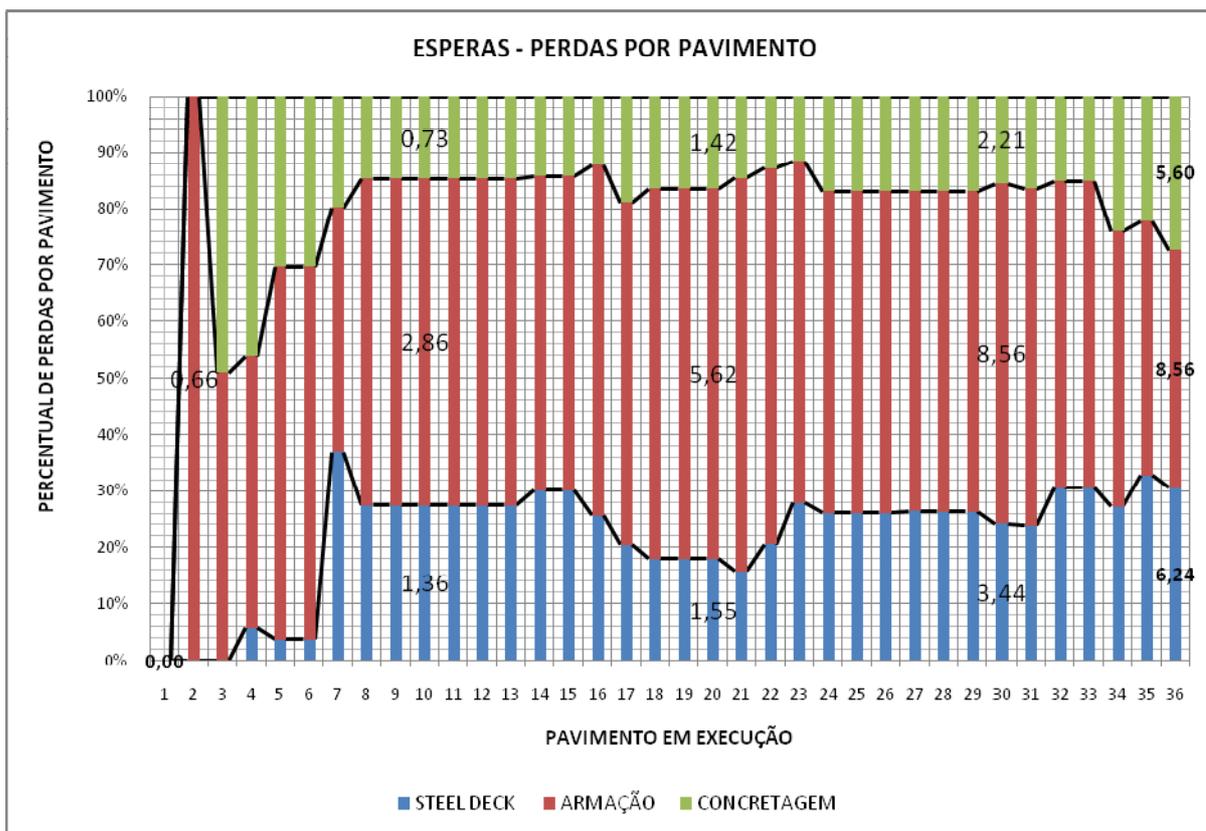


Figura 5.23: Perdas diárias (esperas) – Caso 01.

Observa-se no gráfico de esperas que a Atividade 2 – Armação mantém a maior concentração de medidas de esperas durante toda a sua execução, o que pode ser claramente percebido por meio do contraste de cores.

Percebe-se ainda que não houve ocorrência de esperas no primeiro pavimento em nenhuma das atividades em execução.

Os dados do gráfico podem ser confrontados com os dados da tabela, entretanto, o exame visual proporciona ao observador identificar em que ponto de execução do empreendimento as perdas influenciam de maneira mais objetiva. Desta maneira pode-se dizer que o par de gráficos de atrasos e esperas deixa evidente a superposição de efeitos das atividades após a sua execução, permitindo uma análise pontual do problema e, conseqüentemente, melhor discussão sobre as possíveis práticas a serem adotadas pelo gerenciamento para contorná-lo.

A seguir será mostrado o par de gráficos indicativos de atrasos e esperas dos demais casos analisados anteriormente (caso 02, caso 03, caso 04 e caso 05).

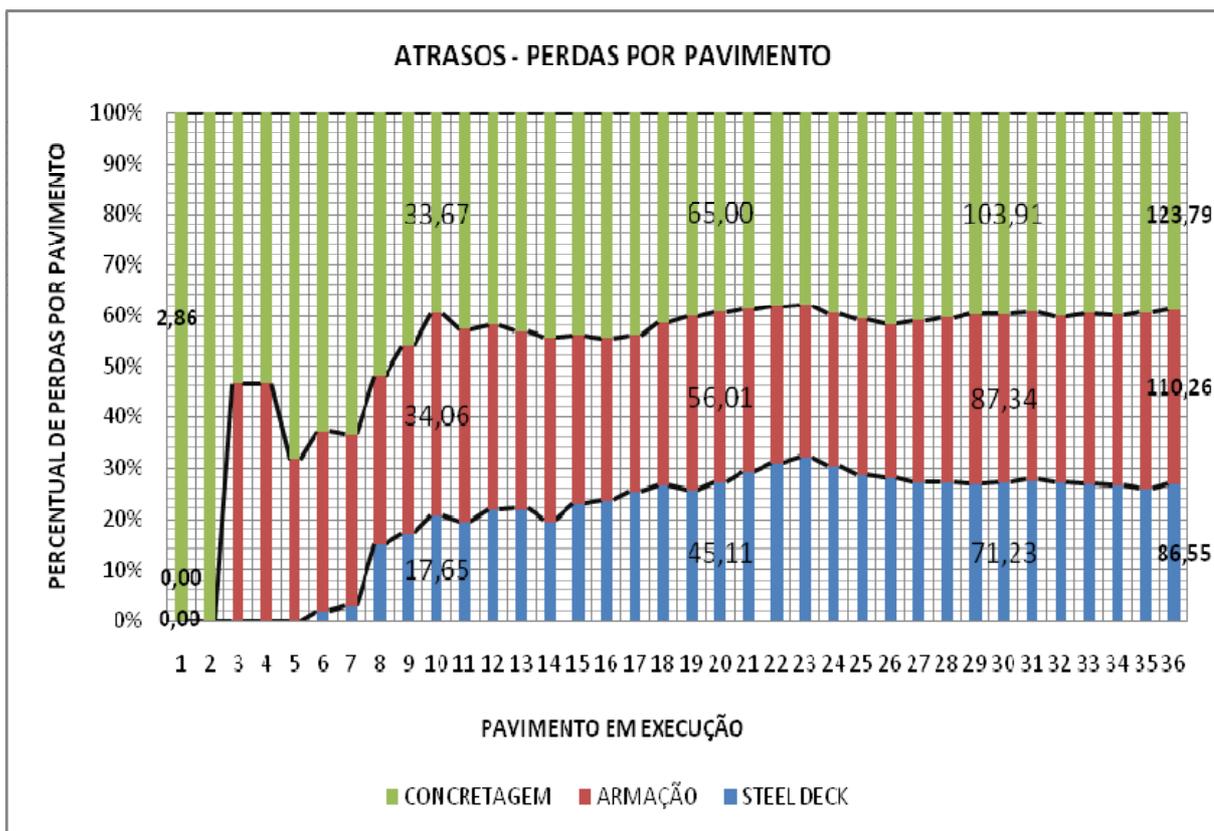


Figura 5.24: Perdas diárias (atrasos) – Caso 02.

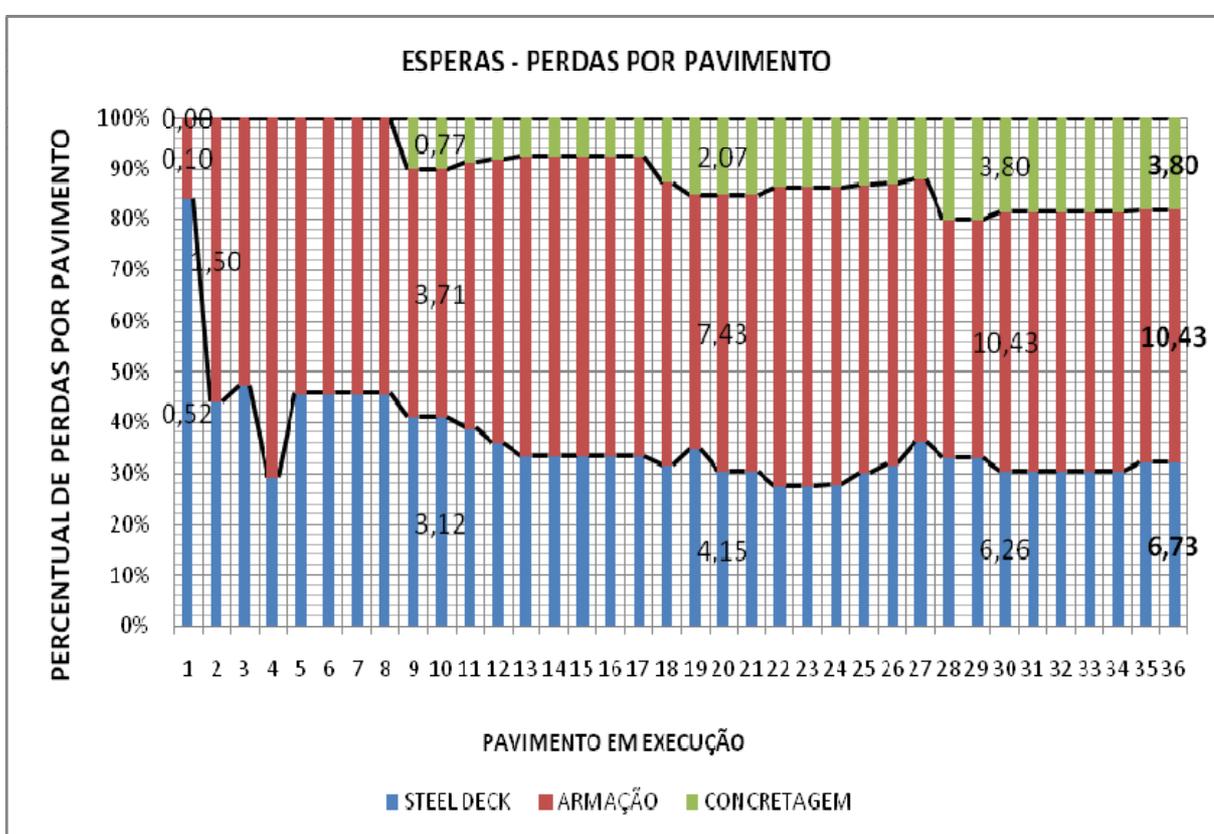


Figura 5.25: Perdas diárias (esperas) – Caso 02.

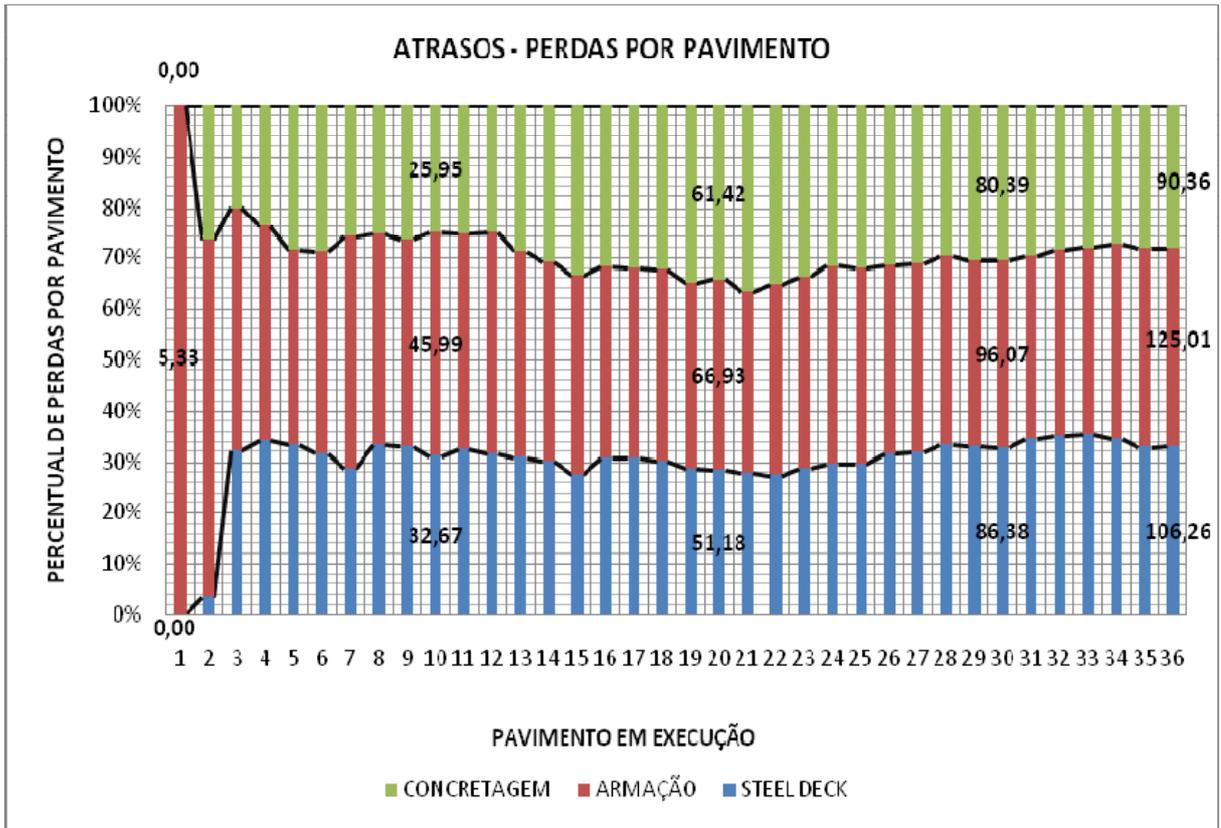


Figura 5.26: Perdas diárias (atrasos) – Caso 03.

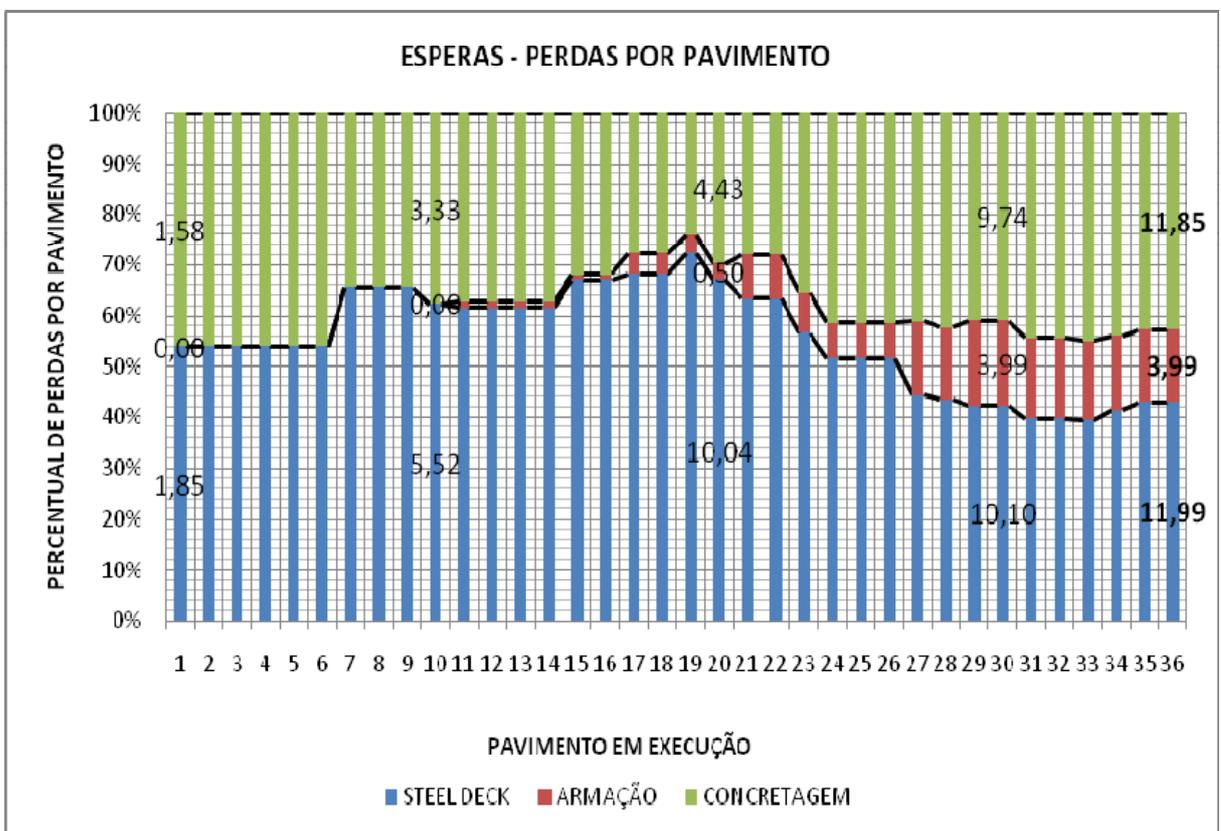


Figura 5.27: Perdas diárias (esperas) – Caso 03.

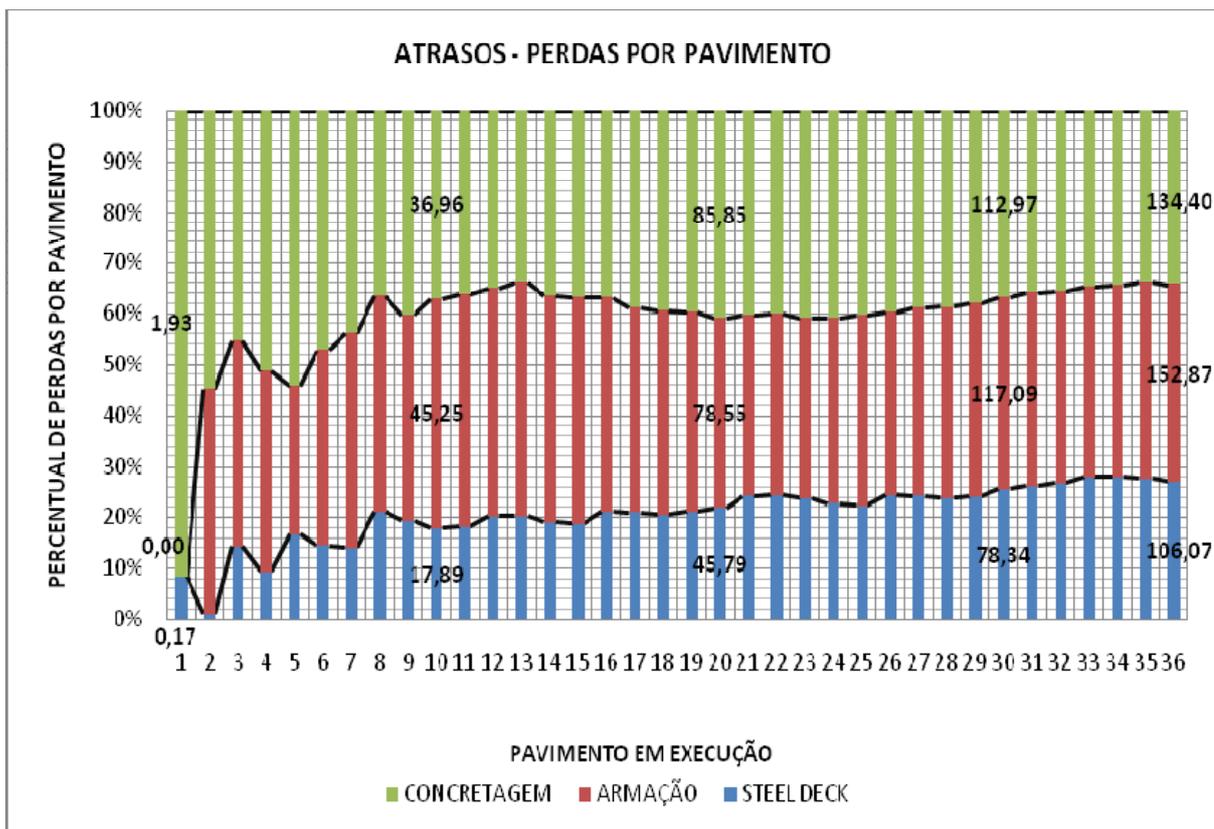


Figura 5.28: Perdas diárias (atrasos) – Caso 04.

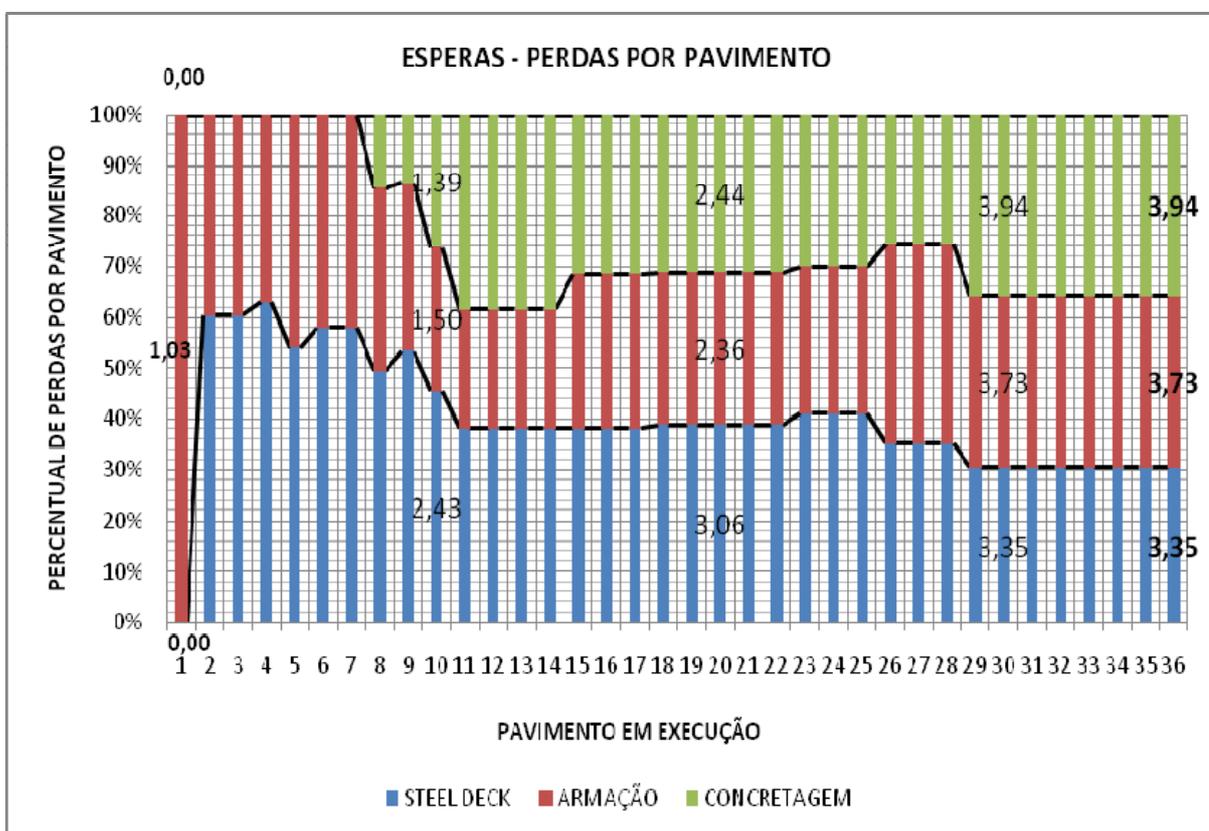


Figura 5.29: Perdas diárias (esperas) – Caso 04.

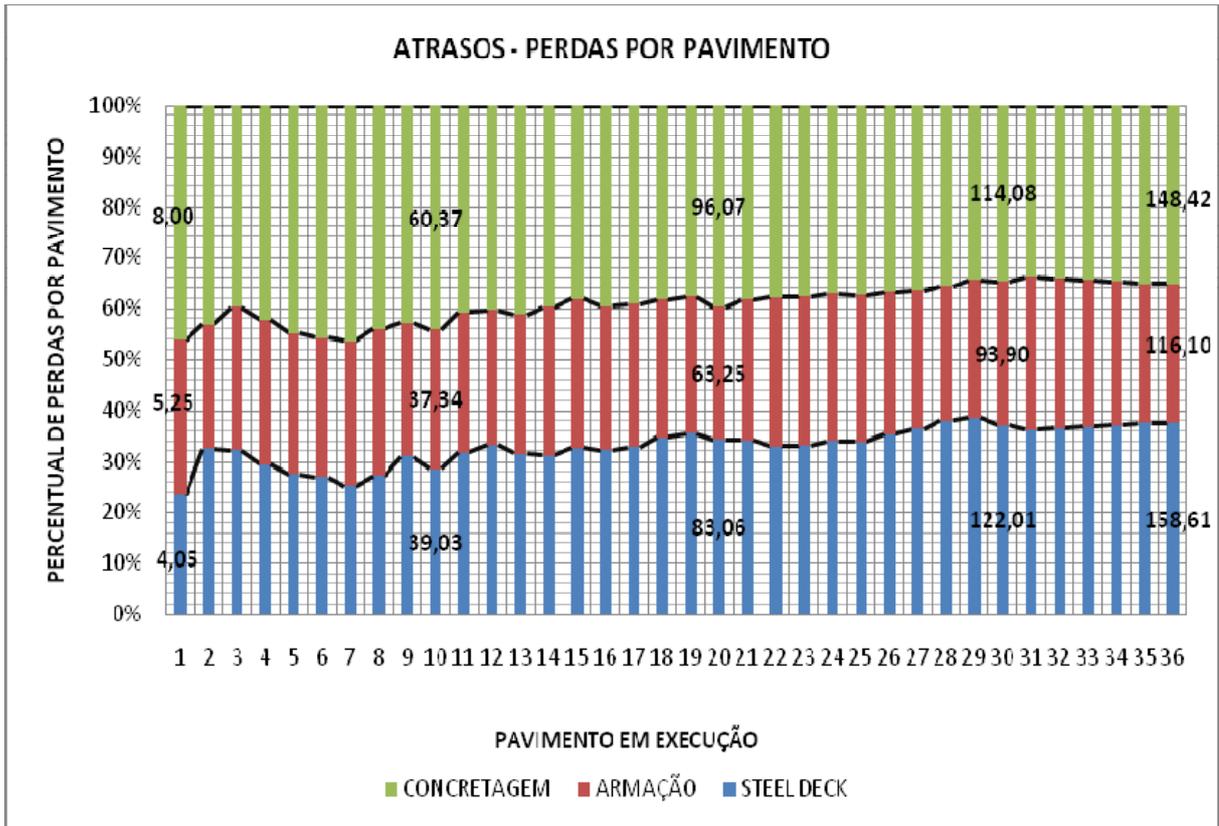


Figura 5.30: Perdas diárias (atrasos) – Caso 05.

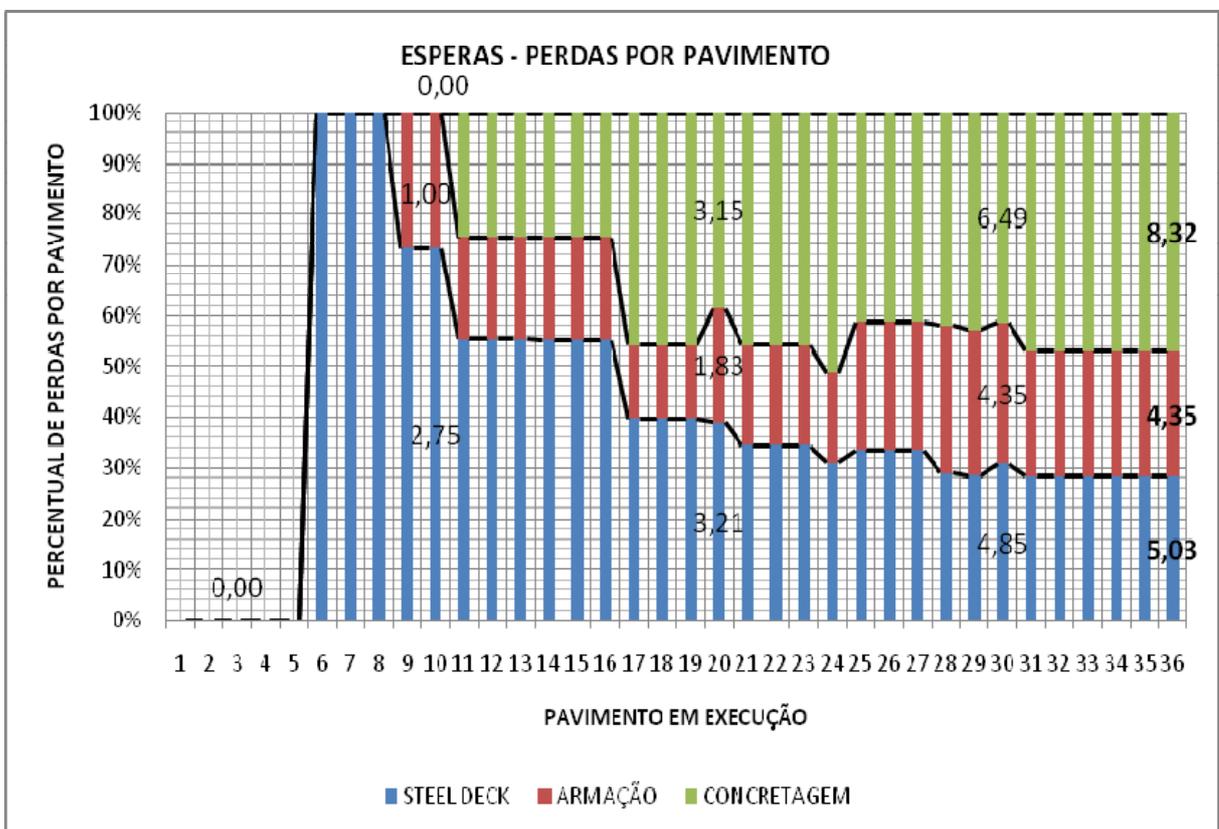


Figura 5.31: Perdas diárias (esperas) – Caso 05.

6. CONCLUSÃO

Com o propósito de auxiliar o entendimento da implantação dos conceitos enxutos à construção civil, ainda que modo discreto, este trabalho visa iniciar este processo de compreensão do problema através da análise das perdas. Inicialmente estruturado sobre o trabalho de Oliveira (2007), trata da análise das perdas ocorridas na execução de três atividades fundamentais para a execução de lajes em *steel deck*.

Com o evoluir do trabalho foi possível estabelecer conceitos como atrasos, esperas, perdas acumuladas e perdas compensadas. Todos comumente classificados apenas como atraso. Estabelecer estes conceitos foi fundamental para compreender de que maneira o desperdício gerado por taxas de produtividade desequilibradas influi na execução das atividades e atinge o cronograma da obra.

A ferramenta enxuta utilizada neste processo pode ser descrita como a identificação dos tipos de perda associadas às taxas de produtividade. Um dos cinco princípios do pensamento enxuto que rege esta premissa é a idéia de fluxo contínuo. Primeiro é necessário compreender de que modo se deseja que a atividade se comporte e em um segundo momento é necessário compreender o modo como a variação desta taxa impacta nas atividades associadas à mesma.

É comum identificar que o fluxo foi interrompido, mas é necessário saber o modo como isso ocorre e o que pode ser feito para minimizar os danos. Uma vez que o fluxo é interrompido, ou seja, a taxa de produtividade de uma determinada atividade sofre uma variação, é preciso saber a dimensão do problema e como combatê-lo. Ainda, é necessário saber medir os custos gerados por esta interrupção de fluxo.

Um modo prático de visualização dos desperdícios associados à execução das atividades foi a elaboração de planilha em Excel, pois é um software de fácil acesso e utilização. Nesta planilha em Excel é simulada a execução de três atividades – *steel deck*, armação e concretagem – e são medidas as perdas ocorridas no processo, identificando-as como atrasos e esperas. Se consegue visualizar também como as perdas são compensadas e o acúmulo destas de modo separado.

6.1. Consistência

A idéia de se utilizar a análise das perdas como ferramenta de planejamento neste trabalho derivou de uma extensa revisão bibliográfica sobre os princípios enxutos aplicados à construção civil, onde o foco foi estabelecido na idéia de fluxo contínuo. Nesta revisão bibliográfica procurou se indicar de maneira objetiva a opinião dos autores mais relevantes, depurando o que existe de proveitoso na literatura pertinente ao planejamento e seqüenciamento das atividades pertencentes ao processo construtivo.

A idéia de se utilizar a simulação em Excel parte do princípio da antevisão do que pode ocorrer durante a execução das atividades. Após uma análise criteriosa de que função matemática melhor representaria o processo, chegou-se à função qui-quadrado. Por meio das características fundamentais desta função é possível visualizar o comportamento das taxas de produtividade das atividades dentro dos parâmetros estabelecidos como tempo de ciclo mínimo e tempo de ciclo máximo adotados por atividade. A curva que representa demais adequada este comportamento é a curva de grau de liberdade igual a três.

É possível utilizar outro grau de liberdade se é desejo alterar o tempo de ciclo mínimo ou máximo de execução da atividade, assim como é possível alterar o tempo de ciclo ideal. A função qui-quadrado permite que sejam alterados estes dados de *input* e seja analisada a curva que mais se adequa ao processo de execução.

Como resultado mais relevante deste trabalho destaca-se a contribuição acadêmica quanto aos conceitos de perdas compensadas e perdas acumuladas dentro do processo construtivo por meio da definição de atrasos e esperas.

Estes conceitos são descritos de modo objetivo no sentido de servir de esboço para implantação de ferramentas enxutas no processo construtivo, de modo prático pelo gerente do empreendimento. A escolha de se elaborar a planilha de modelo de análise e simulação em Excel corrobora com este ideal prático.

Aproximar a possibilidade de reprodução da situação diária encontrada durante a execução das atividades na obra leva o gerente a planejar de forma otimizada as atividades, prevendo possíveis picos de alternância nas taxas de produtividade estabelecidas, conforme pode ser observado nos exemplos citados neste trabalho como casos 1, 2, 3, 4 e 5.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

A não consolidação de um modelo enxuto aplicado à construção civil abre espaço para um amplo campo de pesquisa a ser explorado. Este trabalho visa marcar um ponto complementar para a análise das perdas no processo construtivo e durante a evolução do mesmo pôde-se perceber que há diversas vertentes que podem ser aprofundadas.

Um dos aspectos a serem evoluídos é reprojeter os dados do trabalho com confiabilidade. Uma vez que a tabela utiliza dados aleatórios, não é possível duplicar resultados obtidos. Deste modo identificou-se a necessidade de se utilizar uma função ou artifício que permita reutilizar dados analisados e descartados.

Outra necessidade seria o refinamento dos dados de simulação para que seja aplicável ao meio acadêmico. Ou seja, além de replicar os valores em outros estudos, seria interessante que o gerador de números aleatórios “rodasse” um número maior de vezes.

Ainda assim, sugere-se que a tabela utilizada neste estudo possa ser elaborada sobre a plataforma de outro programa similar ao Microsoft Excel, a fim de se observar o comportamento das atividades por meio de outro banco de dados.

Um estudo singular deve ser feito sobre a Atividade 3 – Concretagem. A tabela é hipotética e gera dados de esperas que não condizem com a realidade da concretagem, pois esta atividade depende diretamente da variável tempo para evitar a hidratação precoce do concreto.

Não é correto afirmar que há esperas nesta atividade inferiores ao tempo de ciclo ideal da concretagem, pois não se pode adiantar a concretagem em porcentagem de execução por pavimento. Sabe-se que esta é uma atividade que deve ser programada com antecedência devido às peculiaridades que a envolvem.

Do mesmo modo, não pode haver atrasos na concretagem que sejam projetados para uma porcentagem do dia seguinte à execução da atividade, pois uma vez iniciada a concretagem, esta deve terminar quando todo o concreto for despejado e trabalhado no pavimento.

Sendo assim, é feita a proposta para elaboração do estudo da concretagem e seus efeitos sobre as demais atividades a que está ligada, de maneira que se compreenda em plenitude como se comporta esta atividade.

Uma outra sugestão de estudo prática seria o planejamento dos recursos necessários à execução das atividades, tais como: equipamentos, logística, equipes, insumos, etc. A verificação destes dados aliada às condições existentes em campo sinalizará as condições de contorno e os dados de *input* a serem inseridos na tabela, demonstrando a situação real do processo construtivo.

A simulação é uma ferramenta interessante enquanto análise do comportamento das atividades, porém seria importante verificar sua extensão a atividades simultâneas, assim como a execução de um número maior de atividades, verificando a extensão ou potencialidade desta ferramenta. Desta maneira seria possível analisar o processo construtivo sob uma ótica menos pontual e verificar se este modelo é melhor aplicado a pequenos grupos de atividades, ou se encaixa de modo a analisar o processo construtivo de forma global.

Como o estudo das perdas parece não estar bem definido enquanto análise de esperas, sugere-se um estudo mais aprofundado dos efeitos deste tipo de perda na construção.

Espera-se que este estudo teórico possa ser verificado como estudo de caso, onde a verificação dos dados simulados em planilha e os dados colhidos em campo apresenta-se de maneira consistente, pois o conflito dos dados permite delinear de forma mais clara as perdas do processo e suas implicações diretas e indiretas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T.C.L. ***Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso.*** 2000. 139 f. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ALVES, T.C.L.; TOMMELEIN, I.D.; BALLARD, G. ***Value stream mapping for make-to order products in a job shop environment.*** Construction Research Congress 2005. San Diego, CA, 5-7 April. 2005.

AL-SUDAIRI, A. ***Simulation as an aid tool to the best utilization of lean principles.*** Proc. 12th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Construction IGLC-12, Helsingor, Denmark. 2004.

AL-SUDAIRI, A. ***Evaluating the effect of construction process characteristics to the applicability of lean principles.*** Construction Innovation Journal. Vol. 7, No. 1, UK. 2007.

ARBULU,R.; BALLARD,G. ***Lean supply systems in construction.*** Proc. 12th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Construction IGLC-12, Helsingor, Denmark. 2004.

AZEVEDO, V.S.; ROSEMBLUM, A.; ALVES BORGES, C.Jr.; TAVARES. M.E.N. ***Avaliação da mentalidade enxuta (lean thinking) na construção civil : uma visão estratégica de implantação.*** SEGET 2007.

BALLARD, G.; HOWELL, G. ***What kind of production is construction?*** Proc. 6th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Construction IGLC-6, Sao Paulo, Brazil, Aug 13-15. 1998b.

BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE,T. ***Learning to see work flow: an application of lean concepts to precast concrete fabrication.*** Engineering,

Construction and Architectural Management, Vol. 10, Number 1, 2003 , pp. 6-14(9).

BEISCHEL, M E. *Improving production with process value analysis*. Journal of Accountancy, Sept 1999.

Central jurídica. Disponível em <[http:// www.centraljuridica.com](http://www.centraljuridica.com)>. Acesso em 09 de dezembro de 2009.

Centro de informação metal mecânica. Disponível em <<http://www.cimm.com.br/.../imagem/Image/ciser-1.jpg>>. Disponível Acesso em 15 Dez 2009.

Consultoria em qualidade e confiabilidade metrológica para laboratórios de calibrações, ensaios físicos e análises químicas. <http://www.jcolivieri.sites.uol.com.br/.../2_2_probab.htm>. Disponível em Acesso em 09 Dez 2009.

DUGGAN, K.J. *Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand*. Productivity Press, New York, NY, 206 pp. Elfving, J.A. 2002.

FEARNE, A.; FOWLER, N. *Efficiency versus effectiveness in construction supply chains: dangers of lean thinking in isolation*. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 11 No.4, 283-287. 2006.

HIROTA, E.H.; FORMOSO, C.T. *O processo de aprendizagem na transferência dos conceitos e princípios da produção enxuta para a construção*. 3º Simp. Bras. de Gest. e Econ. na Constr. SIBRAGEC 2003.

HOPP, W.J.; SPEARMAN, M.L. *Factory physics*. Second Edition. McGraw-Hill. International Editions, Boston, 698 pp. (First Edition 1996). 2000.

HOWELL, G.; BALLARD, G. **Lean production theory: moving beyond can-do**. Proc. 2 nd Ann. Conf. Intl. Group for Lean Construction IGLC-2, Santiago, Chile, pp. 17-24. 1994.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report No. 72, CIFE, Stanford University. 1992.

KOSKELA, L. **We need a theory of construction**. Berkeley-Stanford CE & M Workshop. Stanford, 26-28 Aug 1999.

KOSKELA, L. **Moving-on – beyond lean thinking**. Lean Construction Journal, v.1, p.24-37, Oct. 2004b.

KRAEMER,K.; HENRICH,G.; KOSKELA,L.; KAGIOGLOU,M. **How construction flows have been understood in lean**. Disponível em http://www.headsoft.com.br/web/ghenrich/index_files/Henrich13.pdf. Acesso em 25/08/08.

NAZARENO, R.R.; RENTES, A. F.; SILVA A. L. **Implantando técnicas e conceitos da produção enxuta integradas à dimensão de análise de custos**. XXI Enc. Nac.de Eng. de Prod., Salvador, BA, Brasil. 2003.

OLIVEIRA, D.G.S. **Uma metodologia de avaliação de concretagens de lajes prediais na ótica da construção lean**. 2007. 142 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

PICCHI, F.A. **Oportunidades da aplicação do lean thinking na construção**. Revista Eletrônica Ambiente Construído, Porto Alegre, v.3, n.1, p.7-23, jan/mar. 2003.

Presidência da República – Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos.
Decreto Lei 5452. Disponível em <http://>

www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del5452>. Acesso em 09 de dezembro de 2009.

RAWABDEH, I.A. ***A model for the assessment of waste in job shop environments***. Inter. Journal of Operations & Production Management, Vol. 25 No.8, pp.800-22. 2005.

Revista eletrônica Metálica – arquitetura e construção. Disponível em <http://www.metalicashopping.com.br/lajes-steel-deck> >. Acesso em 15 Dez 2009.

ROTHER, M.; SHOOK, J. ***Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício***. São Paulo: Lean Institute, 2002.

SHANK, J.K.; GOVINDARAJAN, V. ***A revolução dos custos***. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus. 1997.

TOMMELEIN, I.D. ***Discrete event simulation of lean construction processes***. Proc. 5 nd Ann. Conf. Intl. Group for Lean Construction IGLC-5, pp. 121-135. 1997.

Universidade Federal do Pará. Dicas de biometria Disponível em <http://www.ufpa.br/dicas/biome/bionor.htm>. Acesso em 09 Dez 2009.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. ***A mentalidade enxuta nas empresas***. Nova ed. rev. Rio de Janeiro, Editora Elsevier, 2004.

ANEXO B – Cronologia dos principais argumentos utilizados para a concepção das idéias enxutas expostas no estudo

ANO	AUTOR	TÍTULO	FOCO DO ESTUDO
1992	KOSKELA	APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION. APLICAÇÃO DA NOVA FILOSOFIA DE PRODUÇÃO À CONSTRUÇÃO.	APRESENTAÇÃO DOS PRINCIPAIS ARGUMENTOS QUE VISAM ESTABELECE A ASSOCIAÇÃO DE UM PADRÃO DE ATIVIDADES EXISTENTES NO PROCESSO CONSTRUTIVO. ESTUDO SEMINAL DO TEMA
1994	HOWELL / BALLARD	LEAN PRODUCTION THEORY: MOVING BEYOND CAN-DO. TEORIA DA PRODUÇÃO ENXUTA: MOVENDO ALÉM DO PODER FAZER.	DESENVOLVIMENTO DA TEORIA DA CONSTRUÇÃO ENXUTA. EVOLUÇÃO DO TEMA
1997	TOMMELEIN	DISCRETE EVENT SIMULATION OF LEAN CONSTRUCTION PROCESSES. SIMULAÇÃO DE EVENTO DISCRETO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO ENXUTA.	INÍCIO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DAS ATIVIDADES DA CADEIA CONSTRUTIVA, ANÁLISE DE CADEIAS PRODUTIVAS NA CONSTRUÇÃO. INSERÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS AO PROCESSO
1998	BALLARD / HOWELL	WHAT KIND OF PRODUCTION IS CONSTRUCTION? QUE TIPO DE PRODUÇÃO É A CONSTRUÇÃO?	ESTUDO DO PROCESSO CONSTRUTIVO ATRAVÉS DAS TEORIAS DE PRODUÇÃO
1999	KOSKELA	WE NEED A THEORY OF CONSTRUCTION. NÓS PRECISAMOS DE UMA TEORIA DE CONSTRUÇÃO.	DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS FUNDAMENTAIS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA, SEUS PRINCÍPIOS BÁSICOS E DIRETIZES

1999	BEISCHEL	IMPROVING PRODUCTION WITH PROCESS VALUE ANALYSIS. MELHORANDO A PRODUÇÃO COM ANÁLISE DE PROCESSO DE VALOR.	ANÁLISE DAS CADEIAS DE VALOR E MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO
2000	ALVES	DIRETRIZES PARA A GESTÃO DOS FLUXOS FÍSICOS EM CANTEIROS DE OBRAS: PROPOSTA BASEADA EM ESTUDOS DE CASO.	ESTUDO DE CASO - APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS ENXUTAS AO GERENCIAMENTO DO PROCESSO CONSTRUTIVO. ESTUDO DE CASO PARA VERIFICAÇÃO DO USO DE FERRAMENTAS ENXUTAS
2002	ROTHER / SHOOK	LEARNING TO SEE VALUE STREAM MAPPING TO CREATE VALUE AND ELIMINATE MUDA. APRENDENDO A ENXERGAR: MAPEANDO O FLUXO DE VALOR PARA AGREGAR VALOR E ELIMINAR O DESPÉDIO.	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR NA CADEIA CONSTRUTIVA
2002	DUGGAN	CREATING MIXED MODEL VALUE STREAMS: PRACTICAL LEAN TECHNIQUES FOR BUILDING TO DEMAND. CRIANDO UM MODELO MISTO DE CADEIAS DE VALOR: TÉCNICAS PRÁTICAS ENXUTAS PARA DEMANDA DA CONSTRUÇÃO.	UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN - ANÁLISE DE MODELO DE UM MODELO CONSTRUTIVO MISTO
2003	PICCHI	OPORTUNIDADES DA APLICAÇÃO DO LEAN THINKING NA CONSTRUÇÃO.	APLICABILIDADE DE FERRAMENTAS LEAN NA CONSTRUÇÃO CIVIL
2003	BALLARD / HARPER / ZABELLE	LEARNING TO SEE WORK FLOW: AN APPLICATION OF LEAN CONCEPTS TO PRECAST CONCRETE FABRICATION. APRENDENDO A ENXERGAR O FLUXO DE TRABALHO: UMA APLICAÇÃO DE CONCEITOS LEAN PARA FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO.	APLICAÇÃO DE CONCEITOS LEAN PARA FABRICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO
2003	NAZARENO / RENTES / SILVA	IMPLANTANDO TÉCNICAS E CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA INTEGRADAS À DIMENSÃO DE ANÁLISE DE CUSTOS.	ANÁLISE DE CUSTOS ATRAVÉS DE CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA
2003	HIROTA / FORMOSO	O PROCESSO DE APRENDIZAGEM NA TRANSFERÊNCIA DOS CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA A CONSTRUÇÃO.	TRANSIÇÃO DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA CONSTRUÇÃO ENXUTA

2006	KRAEMER / HENRICH / KOSKELA / KAGIOGLOU	HOW CONSTRUCTION FLOWS HAVE BEEN UNDERSTOOD IN LEAN. COMO O FLUXO DA CONSTRUÇÃO PODE SER ENTENDIDO NO LEAN.	ANÁLISE DO FLUXO DA CONSTRUÇÃO NA ÓTICA LEAN
2007	AL-SUDAIRI	EVALUATING THE EFFECT OF CONSTRUCTION PROCESS CHARACTERISTICS TO THE APPLICABILITY OF LEAN PRINCIPLES. AVALIANDO OS EFEITOS DAS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO CONSTRUTIVO PARA A APLICABILIDADE DOS PRINCÍPIOS LEAN.	AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO PROCESSO CONSTRUTIVO NA ÓTICA LEAN
2007	AZEVEDO / ROSEMBLUM / ALVES BORGES / TAVARES	AVALIAÇÃO DA MENTALIDADE ENXUTA (LEAN THINKING) NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA VISÃO ESTRATÉGICA DE IMPLANTAÇÃO.	AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. ESTRATÉGIAS DE IMPLANTAÇÃO DO MEDELO ENXUTO À CONSTRUÇÃO PREDIAL MODULAR
2007	OLIVEIRA	UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CONCRETAGENS DE LAJES PREDIAIS NA ÓTICA DA CONSTRUÇÃO LEAN.	AVALIAÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO COM A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN

ANEXO C – Caso 1:

PAVIMENTO	Atividade 1 - STELL DECK										Atividade 2 - ARMAÇÃO										Atividade 3 - CONCRETAGEM										SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO STELL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO DE 8 H)	ATRASO ACUMULADO STELL DECK	ESPERA ACUMULADA STELL DECK	TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO DE 8 H)	ATRASO ACUMULADO ARMAÇÃO	ESPERA ACUMULADA ARMAÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAGEM	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO DE 8 H)	ATRASO ACUMULADO CONCRETAGEM	ESPERA ACUMULADA CONCRETAGEM	ATRASO ACUMULADO TOTAL	ESPERA ACUMULADA TOTAL						
1	6,44	0,00	1	6,44	1	0	0,00	-1,56	7,75	6,45	1	14,20	2	1	6,20	0,00	-0,25	7,45	21,25	3	28,69	4	3	4,69	0,00	-0,55	0,00	-2,96				
2	14,80	6,45	1	21,24	3	2	5,24	-6,80	16,00	21,25	3	37,25	5	4	5,25	8,00	-0,25	13,52	37,26	5	50,77	7	6	2,77	5,52	-0,55	20,31	-2,96				
3	9,40	21,25	3	30,63	4	3	6,63	-1,56	7,49	37,26	5	44,75	6	5	4,75	8,00	-0,76	7,32	50,78	7	58,10	8	7	2,10	5,52	-1,24	21,71	-3,56				
4	8,25	30,64	4	38,88	5	4	6,88	-1,56	9,51	44,76	6	54,27	7	6	6,27	9,61	-0,76	7,39	58,11	8	65,50	9	8	1,50	5,52	-1,85	23,47	-4,12				
5	7,95	38,89	5	46,83	6	5	6,83	-1,61	8,11	54,28	7	62,39	8	7	6,39	9,62	-0,76	8,02	65,51	9	73,52	10	9	1,52	5,53	-1,85	23,60	-4,22				
6	11,57	46,84	6	58,41	8	7	2,41	-1,61	13,54	62,40	8	75,94	10	9	3,94	15,16	-0,76	16,00	75,95	10	91,95	12	11	3,95	15,53	-1,85	40,71	-4,22				
7	9,49	58,42	8	67,89	9	8	3,89	-1,61	13,03	75,95	10	88,98	12	11	0,98	20,19	-0,76	11,65	91,96	12	103,61	13	12	7,61	17,19	-1,85	50,88	-4,22				
8	9,31	67,80	9	77,21	10	9	5,21	-1,61	7,79	88,99	12	96,78	13	12	0,78	20,19	-0,97	16,00	103,62	13	119,62	15	14	7,62	25,19	-1,85	60,19	-4,42				
9	11,07	77,22	10	88,27	12	11	0,27	-1,61	10,79	96,79	13	107,58	14	13	3,58	22,98	-0,97	8,22	119,63	15	127,85	16	15	7,85	25,40	-1,85	66,26	-4,42				
10	8,17	88,28	12	96,44	13	12	0,44	-1,61	7,68	107,59	14	115,27	15	14	3,27	22,98	-1,28	16,00	127,86	16	143,86	18	17	7,86	33,40	-1,85	74,43	-4,74				
11	8,75	96,45	13	105,19	14	13	1,19	-1,61	11,72	115,28	15	127,00	16	15	7,00	26,70	-1,28	11,54	143,87	18	155,41	20	19	3,41	36,94	-1,85	82,44	-4,74				
12	16,00	105,20	14	121,19	16	15	1,19	-1,61	15,69	127,01	16	142,70	18	17	6,70	34,38	-1,28	7,79	155,42	20	183,21	21	20	3,21	36,94	-2,05	96,13	-4,95				
13	14,74	121,20	16	135,94	17	16	7,94	-1,61	16,00	142,71	18	158,71	20	19	6,71	42,38	-1,28	16,00	163,22	21	179,22	23	22	3,22	44,94	-2,05	120,87	-4,95				
14	8,99	135,95	17	144,92	19	18	0,92	-1,61	7,47	158,72	20	166,19	21	20	6,19	42,38	-1,81	11,01	179,23	23	190,24	24	23	6,24	47,95	-2,05	124,87	-5,48				
15	6,65	144,93	19	151,58	19	18	7,58	-2,96	16,00	166,20	21	182,20	23	22	6,20	50,38	-1,81	8,14	190,25	24	198,39	25	24	6,39	48,09	-2,05	133,01	-6,83				
16	7,80	151,59	19	159,37	20	19	7,37	-3,16	10,03	182,21	23	192,24	25	24	0,24	52,42	-1,81	11,81	198,40	25	210,21	27	26	2,21	51,90	-2,05	138,86	-7,03				
17	6,30	159,38	20	165,67	21	20	5,67	-4,86	12,84	192,25	25	205,10	26	25	5,10	57,26	-1,81	16,00	210,22	27	226,22	29	28	2,22	59,80	-2,05	151,70	-8,73				
18	8,48	165,68	21	174,16	22	21	6,16	-4,86	10,68	205,11	26	215,78	27	26	7,78	59,94	-1,81	10,53	226,23	29	236,76	30	29	4,76	62,43	-2,05	157,39	-8,73				
19	9,00	174,17	22	183,15	23	22	7,15	-6,02	16,00	215,79	27	231,79	29	28	7,79	67,94	-1,81	16,00	236,77	30	252,77	32	31	4,77	70,43	-2,05	174,39	-8,73				
20	16,00	183,16	23	199,15	25	24	7,15	-4,02	6,89	231,80	29	238,69	30	29	6,69	67,94	-2,93	12,93	252,78	32	265,72	34	33	1,72	75,37	-2,05	187,33	-9,84				
21	7,32	199,16	25	206,48	26	25	6,48	-5,54	12,48	238,70	30	251,18	32	31	3,18	72,42	-2,93	12,25	281,55	36	293,80	37	36	5,80	87,43	-2,05	199,62	-10,52				
22	7,08	206,49	26	213,55	27	26	5,55	-4,46	11,71	251,19	32	262,90	33	32	6,90	76,13	-2,93	12,25	293,81	37	300,71	38	37	4,71	87,43	-3,15	207,58	-11,44				
23	14,07	213,56	27	227,63	29	28	3,63	-6,46	9,98	262,91	33	272,89	35	34	0,89	78,11	-2,93	6,90	308,81	37	300,71	38	37	4,71	87,43	-3,15	215,63	-12,54				
24	9,54	227,64	29	237,17	30	29	5,17	-6,46	7,44	272,90	35	280,35	36	35	0,35	78,11	-3,48	7,64	300,72	38	308,36	39	38	4,36	87,43	-3,52	217,17	-13,46				
25	10,05	237,18	30	247,22	31	30	7,22	-5,69	7,41	280,36	36	287,77	36	35	7,77	78,11	-4,07	6,34	308,37	39	314,71	40	39	2,71	87,43	-5,17	219,23	-15,71				
26	6,32	247,23	31	253,54	32	31	5,54	-8,10	16,00	287,78	36	303,78	38	37	7,78	86,11	-4,07	11,58	314,72	40	326,30	41	40	6,30	91,01	-5,17	230,80	-17,39				
27	7,14	253,55	32	260,68	33	32	4,68	-5,69	11,24	303,79	38	315,02	40	39	3,02	89,35	-4,07	12,90	326,31	41	339,21	43	42	3,21	95,91	-5,17	238,94	-18,25				
28	7,10	260,69	33	267,78	34	33	3,78	-9,91	11,07	315,03	40	326,10	41	40	6,10	92,42	-4,07	7,33	339,22	43	346,55	44	43	2,55	95,91	-5,85	242,01	-19,82				
29	6,08	267,79	34	273,86	35	34	1,86	-11,82	16,00	326,11	41	342,11	43	42	6,11	100,42	-4,07	7,28	346,56	44	353,84	45	44	1,84	95,91	-6,56	250,01	-22,46				
30	15,36	273,87	35	289,23	37	36	1,23	-11,82	14,09	342,12	43	356,21	45	44	4,21	106,51	-4,07	16,00	356,22	45	372,22	47	46	4,22	109,91	-6,56	274,47	-24,46				
31	6,30	289,24	37	295,52	37	36	7,52	-6,105	10,00	356,22	45	386,22	46	45	6,22	116,51	-4,07	14,72	372,23	47	386,95	49	48	2,95	110,63	-6,56	280,19	-24,16				
32	9,82	295,53	37	305,35	39	38	1,55	-6,287	16,00	386,23	46	382,23	48	47	6,23	116,51	-4,07	16,00	386,96	49	402,96	51	50	2,96	118,63	-6,56	298,01	-24,16				
33	15,47	305,36	39	320,82	41	40	0,82	-7,034	8,98	395,59	50	404,56	51	49	3,58	121,84	-4,07	8,91	402,97	51	411,91	52	51	3,91	119,56	-6,56	311,75	-24,16				
34	8,75	320,83	41	329,57	42	41	1,57	-7,109	12,02	404,57	50	416,59	53	50	4,56	122,82	-4,07	16,00	411,92	52	427,92	54	53	3,92	127,56	-6,56	321,47	-24,16				
35	7,11	329,58	42	336,68	43	42	0,68	-7,109	12,02	427,93	54	443,93	56	55	5,52	126,84	-4,07	16,00	427,93	54	443,93	56	55	3,93	135,56	-6,56	333,50	-25,05				
36	6,01	336,69	43	342,69	43	42	6,69	-16,40	7,09	443,94	53	423,69	53	52	7,69	126,84	-4,98	16,00	443,94	56	459,94	58	57	3,94	143,56	-6,56	341,50	-27,95				

ANEXO C – Caso 2:

PAVIMENTO	Atividade 1 - STELL DECK										Atividade 2 - ARMAÇÃO										Atividade 3 - CONCRETAGEM										SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO STEEL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO DE 8 H)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO STEEL DECK	ESPERA ACUMULADA STEEL DECK	TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO DE 8 H)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO ARMAÇÃO	ESPERA ACUMULADA ARMAÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAGEM	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO DE 8 H)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO CONCRETAGEM	ESPERA ACUMULADA CONCRETAGEM	ATRASO ACUMULADO TOTAL	ESPERA ACUMULADA TOTAL			
1	7,48	0,00	1	7,48	1	0	0,00	0,00	-0,52	7,90	7,49	1	15,39	2	1	7,39	0,00	-0,10	10,86	15,40	2	26,26	4	3	2,26	2,86	0,00	2,86	-0,62			
2	7,33	7,49	1	14,81	2	1	6,81	0,00	-1,19	6,60	15,40	2	22,00	3	2	6,00	0,00	-1,50	10,73	26,27	4	37,00	5	4	5,00	5,99	0,00	5,99	-2,69			
3	7,84	14,82	2	22,65	3	2	6,65	0,00	-1,35	16,00	22,66	3	38,66	5	4	6,66	8,00	-1,50	11,54	38,67	5	50,21	7	6	2,21	9,13	0,00	9,13	-2,86			
4	8,01	22,66	3	30,66	4	3	6,66	0,01	-1,35	6,23	38,67	5	44,90	6	5	4,90	8,00	-3,27	8,01	50,22	7	58,23	8	7	2,23	9,14	0,00	9,14	-4,63			
5	6,23	30,67	4	36,89	5	4	4,89	0,01	-3,12	7,56	44,91	6	52,47	7	6	4,47	8,00	-3,71	8,01	58,24	8	74,24	10	9	2,24	17,14	0,00	17,14	-6,83			
6	8,72	36,90	5	45,61	6	5	5,61	0,78	-3,12	12,52	52,48	7	65,00	9	8	1,00	12,52	-3,71	13,25	74,25	10	87,41	11	10	7,41	22,30	0,00	22,30	-8,83			
7	8,74	45,62	6	54,36	7	6	6,36	1,48	-3,12	11,65	65,01	9	76,67	10	9	4,67	16,18	-3,71	17,65	87,02	11	103,42	13	12	7,42	30,30	0,00	30,30	-6,83			
8	16,00	54,37	7	70,36	9	8	6,36	9,48	-3,12	12,42	76,68	10	89,09	12	11	1,09	20,59	-3,71	30,07	103,43	13	113,44	15	14	1,44	32,32	0,00	32,32	-6,83			
9	10,55	70,37	9	80,91	11	10	0,91	12,03	-3,12	13,47	89,10	12	102,57	13	12	6,57	26,06	-3,71	38,08	120,43	13	133,44	16	15	0,69	32,32	-0,77	32,32	-7,59			
10	13,63	80,92	11	94,53	12	11	6,53	17,65	-3,12	16,00	102,58	13	118,58	15	14	6,58	34,06	-3,71	51,71	133,45	15	150,69	16	16	2,05	33,67	-0,77	33,67	-7,59			
11	7,74	94,54	12	102,27	13	12	6,27	17,65	-3,38	7,16	118,59	15	125,75	16	15	5,75	34,06	-4,55	51,71	130,06	16	150,69	17	17	6,88	38,69	-0,77	38,69	-9,34			
12	10,89	102,28	13	113,17	15	14	1,17	20,55	-3,38	7,35	125,76	16	133,11	17	16	5,11	34,06	-5,20	54,61	132,82	17	142,88	18	17	6,88	39,07	-0,77	39,07	-9,34			
13	9,00	113,18	15	122,17	16	15	2,17	21,55	-3,38	7,25	133,12	17	140,37	18	17	4,37	34,06	-5,95	55,61	131,14	18	151,47	19	18	7,47	39,07	-0,77	39,07	-9,34			
14	8,75	122,18	16	130,92	17	16	2,92	22,30	-3,38	14,82	140,38	18	155,20	20	19	3,20	40,88	-5,95	63,18	131,14	18	151,47	21	20	2,62	40,21	-0,77	40,21	-10,10			
15	16,00	130,93	17	146,92	19	18	2,92	30,80	-3,38	10,94	155,21	20	166,15	21	20	6,15	48,82	-5,95	74,12	131,14	18	151,47	23	24	2,32	57,89	-0,77	57,89	-10,10			
16	10,95	146,93	19	157,87	20	19	5,87	33,25	-3,38	9,11	166,16	21	175,27	22	21	7,77	44,93	-5,95	78,18	131,14	18	151,47	25	26	7,18	62,74	-0,77	62,74	-10,10			
17	12,51	157,88	20	170,37	22	21	2,37	37,75	-3,38	8,51	175,28	22	183,79	23	22	7,79	45,45	-5,95	83,20	131,14	18	151,47	26	27	1,45	65,00	-1,37	65,00	-10,10			
18	11,99	170,38	22	182,36	23	22	6,36	41,74	-3,38	12,83	183,80	23	196,64	25	24	4,64	50,28	-5,95	92,02	131,14	18	151,47	28	28	0,86	65,00	-1,37	65,00	-10,10			
19	7,23	182,37	23	189,60	24	23	5,60	41,74	-4,15	13,73	196,65	25	210,38	27	26	2,38	56,01	-5,95	97,75	131,14	18	151,47	29	29	0,43	65,00	-1,81	65,00	-11,91			
20	11,37	189,61	24	200,96	26	25	0,96	45,11	-4,15	6,52	210,39	27	216,91	28	27	0,91	56,01	-7,43	101,12	131,14	18	151,47	30	30	0,18	65,00	-2,07	65,00	-13,65			
21	16,00	200,97	26	216,96	28	27	0,96	53,11	-4,15	10,67	216,97	28	227,65	29	28	3,65	58,69	-7,43	111,80	131,14	18	151,47	31	31	5,10	69,52	-2,07	69,52	-13,65			
22	14,07	216,97	28	231,03	29	28	7,03	59,18	-4,15	6,55	231,04	29	237,59	30	29	5,59	58,69	-8,89	117,86	131,14	18	151,47	32	32	7,33	72,13	-2,07	72,13	-15,11			
23	16,80	231,04	29	245,83	31	30	5,83	65,97	-4,15	10,96	245,84	31	256,79	33	32	0,79	61,64	-8,89	127,62	131,14	18	151,47	34	34	4,40	77,19	-2,07	77,19	-15,11			
24	7,95	245,84	31	253,78	32	31	5,78	65,97	-4,20	11,65	256,80	33	268,45	34	33	4,45	65,29	-8,89	131,27	131,14	18	151,47	35	36	4,41	85,19	-2,07	85,19	-15,16			
25	7,48	253,79	32	261,26	33	32	5,26	65,97	-4,71	11,65	268,46	34	281,22	36	35	1,22	70,05	-8,89	136,02	131,14	18	151,47	38	38	4,42	93,19	-2,07	93,19	-15,67			
26	7,61	261,27	33	268,87	34	33	4,87	65,97	-5,11	8,62	281,23	36	289,85	37	36	1,85	70,67	-8,89	136,04	131,14	18	151,47	39	40	0,47	97,23	-2,07	97,23	-16,06			
27	6,85	268,88	34	275,72	35	34	3,72	65,97	-6,26	14,93	289,86	37	300,79	39	38	0,79	77,60	-8,89	143,57	131,14	18	151,47	41	41	2,26	99,02	-2,07	99,02	-17,22			
28	9,05	275,73	35	284,77	36	35	4,77	67,03	-6,26	9,74	304,80	39	314,54	40	39	2,54	79,34	-8,89	146,37	131,14	18	151,47	42	42	0,55	99,02	-3,80	99,02	-18,94			
29	10,49	284,78	36	295,26	37	36	7,26	69,52	-6,26	16,00	314,55	40	330,55	42	41	2,55	87,34	-8,89	156,86	131,14	18	151,47	43	43	4,00	102,46	-3,80	102,46	-18,94			
30	9,71	295,27	37	304,97	39	38	6,97	71,23	-6,26	6,46	330,56	42	337,02	43	42	1,02	87,34	-10,43	158,56	131,14	18	151,47	44	44	5,46	103,91	-3,80	103,91	-20,48			
31	16,00	304,98	39	320,97	41	40	0,97	79,23	-6,26	16,00	337,03	43	353,03	45	44	1,03	95,34	-10,43	174,56	131,14	18	151,47	46	46	5,47	111,91	-3,80	111,91	-20,48			
32	8,32	320,98	41	329,28	42	41	1,28	79,54	-6,26	8,85	353,04	45	365,88	46	45	1,88	96,18	-10,43	175,73	131,14	18	151,47	48	48	3,15	117,58	-3,80	117,58	-20,48			
33	10,13	329,29	42	339,41	43	42	3,41	81,67	-6,26	13,52	365,89	46	375,41	47	46	7,11	101,70	-10,43	183,37	131,14	18	151,47	49	49	4,56	118,98	-3,80	118,98	-20,48			
34	8,11	339,42	43	347,52	44	43	3,52	81,78	-6,26	9,07	375,42	47	384,44	49	48	0,44	102,73	-10,43	184,51	131,14	18	151,47	50	50	6,99	121,40	-3,80	121,40	-20,48			
35	7,53	347,53	44	355,05	45	44	3,05	81,78	-6,73	13,47	384,45	49	397,92	50	49	5,92	102,73	-10,43	189,98	131,14	18	151,47	51	51	0,70	123,10	-3,80	123,10	-20,96			
36	12,77	355,06	45	367,82	46	45	7,82	86,55	-6,73	10,07	397,93	50	408,00	51	50	8,00	110,26	-10,43	196,81	131,14	18	151,47	53	53	1,40	123,79	-3,80	123,79	-20,96			

ANEXO C – Caso 3:

PAVIMENTO	Atividade 1 - STEEL DECK										Atividade 2 - ARMAÇÃO										Atividade 3 - CONCRETAGEM										SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO STEEL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO STEEL DECK	ESPERA ACUMULADA STEEL DECK	TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO ARMAÇÃO	ESPERA ACUMULADA ARMAÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAGEM	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS TRABALHADOS (SEM O RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO CONCRETAGEM	ESPERA ACUMULADA CONCRETAGEM	ATRASO ACUMULADO TOTAL	ESPERA ACUMULADA TOTAL			
1	6.15	0.00	1	6.15	1	0	0.00	0.00	-1.85	13.33	6.16	1	19.49	3	2	3.49	5.33	0.00	6.42	19.50	3	25.92	4	3	1.92	0.00	-1.58	5.33	-3.43			
2	8.40	6.16	1	14.54	2	1	6.54	0.40	-1.85	10.57	19.50	3	30.07	4	3	6.07	7.90	0.00	10.95	30.08	4	41.03	6	5	1.03	2.95	-1.58	11.25	-3.43			
3	15.54	14.55	2	30.09	4	3	6.09	7.94	-1.85	11.92	30.10	4	42.02	6	5	2.02	11.83	0.00	9.98	42.03	6	52.01	7	6	4.01	4.94	-1.58	24.71	-3.43			
4	13.97	30.10	4	44.06	6	7	1.26	17.82	-1.85	13.19	44.07	6	57.26	8	7	1.26	17.82	0.00	12.69	57.27	7	69.96	9	8	5.96	9.63	-1.58	40.56	-3.43			
5	14.86	44.07	6	58.92	8	7	2.92	20.77	-1.85	14.46	58.93	8	73.38	10	9	1.38	23.48	0.00	16.00	73.39	10	89.39	12	11	1.39	17.63	-1.58	61.88	-3.43			
6	10.67	58.93	8	69.59	9	8	5.59	23.44	-1.85	13.88	73.39	10	87.27	11	10	7.27	29.36	0.00	11.57	89.40	12	100.97	13	12	4.97	21.19	-1.58	74.00	-3.43			
7	6.30	69.60	9	75.90	10	9	3.90	23.44	-3.55	15.96	87.28	11	109.25	13	12	7.25	37.32	0.00	7.72	103.26	13	110.97	14	13	6.97	21.19	-1.86	81.96	-5.41			
8	16.00	75.91	10	91.90	12	11	3.90	31.44	-3.55	9.65	103.26	13	113.91	15	14	0.91	36.97	0.00	10.02	112.92	15	123.34	16	15	3.34	23.61	-1.86	94.03	-5.41			
9	9.23	91.91	12	101.12	13	12	5.12	32.67	-3.55	8.93	112.92	15	121.85	16	15	1.85	39.90	0.00	10.34	123.35	16	133.68	17	16	5.68	25.95	-1.86	96.52	-5.41			
10	6.03	101.13	13	107.15	14	13	3.15	32.67	-5.52	14.09	121.86	16	135.94	17	16	7.94	45.99	0.00	6.53	135.95	17	142.49	18	17	6.49	25.95	-3.33	104.60	-8.85			
11	10.54	107.16	14	117.70	15	14	5.70	35.21	-5.52	7.89	135.95	17	143.84	18	17	7.84	45.99	-0.11	9.47	143.85	18	153.32	20	19	1.32	27.42	-3.33	108.62	-8.96			
12	9.78	117.71	15	127.47	16	15	7.47	36.99	-5.52	12.93	143.85	18	156.78	20	19	4.78	50.92	-0.11	9.72	156.79	20	166.52	21	20	6.52	29.14	-3.33	117.05	-8.96			
13	11.04	127.48	16	138.52	18	17	2.52	40.03	-5.52	9.31	156.79	20	166.10	21	20	6.10	52.23	-0.11	15.06	166.53	21	182.53	23	22	6.53	37.14	-3.33	129.41	-8.96			
14	9.25	138.53	18	147.76	19	18	3.76	41.28	-5.52	9.08	166.11	21	175.19	22	21	7.19	58.31	-0.11	13.06	182.54	23	195.60	25	24	3.60	42.21	-3.33	136.80	-8.96			
15	6.51	147.77	19	154.27	20	19	2.27	41.28	-7.01	13.15	175.20	22	188.35	24	23	4.35	58.46	-0.11	16.00	195.61	25	211.61	27	26	3.61	50.21	-3.33	149.95	-10.45			
16	16.00	154.28	20	170.27	22	21	2.27	49.28	-7.01	9.39	188.36	24	197.75	25	24	5.75	59.85	-0.11	8.49	211.62	27	220.11	28	27	4.11	50.70	-3.33	159.83	-10.45			
17	6.74	170.28	22	177.00	23	22	1.00	49.28	-8.28	7.61	197.76	25	205.37	26	25	5.37	59.85	-0.50	8.35	220.12	28	228.48	29	28	4.48	51.05	-3.33	169.18	-12.10			
18	9.04	177.01	23	186.05	24	23	2.05	50.32	-8.28	10.48	205.38	26	215.86	27	26	7.86	62.33	-0.50	10.37	228.49	29	238.86	30	29	6.86	53.42	-3.33	166.07	-12.10			
19	6.24	186.06	24	192.28	25	24	0.28	50.32	-10.04	9.56	215.87	27	225.43	29	28	1.43	63.89	-0.50	16.00	238.87	30	254.87	32	31	6.87	61.42	-3.33	175.63	-13.87			
20	8.85	192.29	25	201.14	26	25	1.14	51.18	-10.04	11.04	225.44	29	236.48	30	29	4.48	66.93	-0.50	6.90	254.88	32	261.78	33	32	5.78	61.42	-4.43	179.53	-14.87			
21	9.42	201.15	26	210.55	27	26	2.55	52.69	-10.04	7.12	236.49	30	243.62	31	30	3.62	66.93	-1.38	16.00	261.79	33	277.79	35	34	5.79	69.42	-4.43	189.94	-15.85			
22	10.40	210.56	27	220.95	28	27	4.95	54.99	-10.04	16.00	243.63	31	259.63	33	32	3.63	74.93	-1.38	9.50	277.80	35	287.29	36	35	7.29	70.92	-4.43	200.84	-15.85			
23	13.28	220.96	28	234.23	30	29	2.23	60.27	-10.04	12.40	259.64	33	275.01	35	34	0.04	79.33	-1.38	6.17	287.30	36	293.48	37	36	5.46	70.92	-6.26	210.52	-17.67			
24	9.12	248.61	32	257.72	33	32	1.72	67.76	-10.04	16.00	272.05	35	288.05	37	36	0.05	87.33	-1.38	6.23	293.49	37	299.71	38	37	3.71	70.92	-8.03	224.89	-19.45			
25	9.12	248.61	32	257.72	33	32	1.72	67.76	-10.04	10.21	288.06	37	297.22	38	37	1.22	86.50	-1.38	10.21	299.72	38	309.93	39	38	5.93	78.13	-8.03	229.38	-19.45			
26	16.00	282.79	36	298.78	38	37	2.78	76.82	-10.04	8.41	297.23	38	305.64	39	38	1.64	86.91	-1.38	9.97	309.94	39	319.91	40	39	7.91	75.10	-8.03	239.76	-19.45			
27	9.07	273.73	35	282.78	36	35	2.78	76.82	-10.04	6.09	305.65	39	311.74	39	38	7.74	86.91	-3.29	6.77	319.92	40	326.69	41	40	6.69	75.10	-9.26	240.83	-22.59			
28	16.00	282.79	36	298.78	38	37	2.78	84.82	-10.04	12.26	311.75	39	324.01	41	40	4.01	93.16	-3.29	10.87	334.23	42	345.09	44	43	1.09	77.96	-9.74	253.09	-23.07			
29	7.94	298.79	38	306.73	39	38	2.73	84.82	-10.10	7.30	324.02	41	331.32	42	41	3.32	93.16	-3.99	177.99	334.23	42	345.09	44	44	3.53	80.39	-9.74	255.95	-23.83			
30	9.56	306.74	39	316.29	40	39	4.29	86.38	-10.10	10.90	331.33	42	342.23	43	42	6.23	96.07	-3.99	10.42	345.10	44	355.53	45	44	4.44	80.39	-9.74	262.84	-23.83			
31	16.00	316.30	40	332.29	42	41	4.29	94.38	-10.10	9.53	342.24	43	351.77	44	43	7.77	97.60	-3.99	6.54	355.54	45	362.08	46	45	2.08	80.39	-11.20	271.37	-25.29			
32	16.00	332.30	42	348.29	44	43	4.29	102.38	-10.10	16.00	351.78	44	367.78	46	45	7.78	105.60	-3.99	9.70	367.79	46	377.50	48	47	1.50	82.09	-11.20	280.07	-25.29			
33	9.92	348.30	44	358.20	45	44	6.20	104.30	-10.10	9.60	367.79	46	377.40	48	47	1.40	107.20	-3.99	7.74	377.51	48	385.24	49	48	1.24	82.09	-11.46	291.59	-25.55			
34	6.88	358.21	45	365.08	46	45	5.08	104.30	-11.22	16.00	377.41	48	399.41	50	49	1.41	115.20	-3.99	7.61	399.42	50	401.03	51	50	1.03	82.09	-11.85	301.59	-27.86			
35	7.24	365.09	46	372.32	47	46	4.32	104.30	-11.99	16.00	393.42	50	409.42	52	51	1.42	123.20	-3.99	14.50	409.43	52	423.93	53	52	7.93	88.59	-11.85	316.10	-27.86			
36	9.96	372.33	47	382.28	48	47	6.28	106.26	-11.99	9.81	409.43	52	419.24	53	52	3.24	125.01	-3.99	9.77	423.94	53	433.71	55	54	1.71	90.36	-11.85	321.61	-27.86			

ANEXO C – Caso 4:

PAVIMENTO	Atividade 1 - STELL DECK										Atividade 2 - ARMAÇÃO										Atividade 3 - CONCRETAGEM										SALDO	
	TEMPO DE EXECUÇÃO STELL DECK	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS (RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO	ESPERA ACUMULADA	TEMPO DE EXECUÇÃO ARMAÇÃO	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS (RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO	ESPERA ACUMULADA	TEMPO DE EXECUÇÃO CONCRETAGEM	HORA DE INÍCIO	DIA DE INÍCIO	HORA DE TÉRMINO	DIA DE TÉRMINO	TOTAL DE DIAS COMPLETOS (RESTO)	RESTO DE 8 H	ATRASO ACUMULADO	ESPERA ACUMULADA	ATRASO ACUMULADO TOTAL	ESPERA ACUMULADA TOTAL			
1	8,17	0,00	1	8,17	2	1	0,17	0,17	0,00	6,97	8,18	2	15,15	2	1	7,15	0,00	-1,03	6,97	8,18	2	15,16	2	3	1,09	1,93	0,00	2,10	-1,03			
2	6,42	8,18	2	14,59	2	1	6,59	0,17	-1,58	16,00	15,16	2	31,16	4	3	7,16	8,00	-1,03	16,00	15,16	2	31,17	4	5	7,17	9,93	0,00	18,10	-2,61			
3	11,11	14,60	2	25,71	4	3	1,71	3,28	-1,58	9,34	31,17	4	40,51	6	5	0,51	9,34	-1,03	8,45	47,18	6	55,63	7	6	7,63	10,38	0,00	23,01	-2,61			
4	7,81	25,72	4	33,52	5	4	1,52	3,28	-1,77	12,96	40,52	6	53,48	7	6	5,48	14,30	-1,03	16,00	55,64	7	71,64	9	8	7,64	18,38	0,00	35,97	-2,80			
5	12,87	33,53	5	46,39	6	5	6,39	8,15	-1,77	7,53	53,49	7	61,03	8	7	5,03	14,30	-1,50	16,00	71,65	9	87,65	11	10	7,65	26,38	0,00	48,84	-3,27			
6	7,70	46,40	6	54,08	7	6	6,08	8,15	-2,07	15,41	61,04	8	76,44	10	9	4,44	21,71	-1,50	8,29	87,66	11	99,95	12	11	7,95	36,67	0,00	56,53	-3,57			
7	9,59	54,09	7	63,67	8	7	7,67	9,74	-2,07	16,00	76,45	10	92,45	12	11	4,45	29,71	-1,50	7,39	95,96	12	107,87	14	13	3,87	30,58	0,00	70,03	-3,57			
8	16,00	63,68	8	79,67	10	9	7,67	17,74	-2,07	9,37	106,64	14	116,02	15	14	2,63	35,48	-1,50	14,39	116,03	15	130,41	17	16	2,41	36,96	-0,61	84,20	-4,18			
9	7,64	79,68	10	87,31	11	10	7,31	17,74	-2,43	16,00	116,03	15	132,03	17	16	4,03	45,25	-1,50	7,22	132,04	17	139,26	18	17	3,26	36,96	-1,39	100,10	-5,32			
10	8,15	87,32	11	95,46	12	11	7,46	17,89	-2,43	9,67	132,04	17	141,70	18	17	5,70	46,92	-1,50	6,95	141,71	18	148,67	19	18	4,67	36,96	-2,44	104,46	-6,37			
11	8,69	95,47	12	104,15	14	13	0,15	18,58	-2,43	11,03	141,71	18	152,74	20	19	0,74	49,95	-1,50	9,78	152,75	20	162,54	21	20	2,54	38,75	-2,44	111,21	-6,37			
12	11,94	104,16	14	116,08	15	14	4,08	22,51	-2,43	16,00	152,75	20	168,75	22	21	0,75	57,95	-2,36	11,98	168,76	22	180,74	23	22	4,74	42,72	-2,44	126,16	-6,37			
13	10,98	116,09	15	127,06	16	15	7,06	25,49	-2,43	12,64	168,76	22	181,40	23	22	5,40	62,59	-1,50	16,00	181,41	23	197,41	25	24	5,41	50,72	-2,44	139,73	-6,37			
14	8,93	127,07	16	136,00	17	16	8,00	26,42	-2,43	7,14	181,41	23	188,55	24	23	4,55	62,59	-2,36	8,93	188,56	24	206,55	26	25	6,35	51,65	-2,44	149,66	-7,76			
15	7,46	136,01	17	143,46	18	17	7,46	26,42	-2,97	14,61	188,56	24	203,17	26	25	3,17	69,19	-2,36	16,00	206,36	26	222,36	28	27	6,36	59,65	-2,44	163,07	-7,76			
16	15,80	143,47	18	159,26	20	19	7,26	34,23	-2,97	8,92	203,18	26	222,10	27	26	4,10	70,12	-2,36	15,56	222,37	28	237,93	30	29	5,93	67,21	-2,44	173,64	-7,76			
17	10,08	159,27	20	169,34	22	21	1,34	36,31	-3,06	9,89	212,11	27	222,00	28	27	6,00	72,00	-2,36	10,63	237,94	30	248,58	32	31	0,58	69,85	-2,44	178,15	-7,86			
18	12,93	172,36	23	180,17	24	23	6,17	41,23	-3,06	12,77	222,01	28	234,78	30	29	2,78	76,77	-2,36	16,00	248,59	32	264,59	34	33	0,59	77,85	-2,44	189,85	-7,86			
19	12,56	190,18	24	200,73	26	25	2,73	45,79	-3,06	9,78	234,79	30	244,57	31	30	4,57	78,55	-2,36	11,06	264,60	34	280,60	36	35	0,60	85,85	-2,44	210,19	-7,86			
20	15,60	202,74	26	218,33	28	27	2,33	53,89	-3,06	8,14	244,58	31	252,72	32	31	4,72	78,69	-2,36	11,06	280,61	36	291,67	37	36	3,67	88,91	-2,44	221,00	-7,86			
21	8,97	218,34	28	227,30	29	28	3,30	54,36	-3,35	8,44	252,73	32	261,17	33	32	5,17	79,13	-2,36	8,34	291,68	37	300,02	38	37	4,02	89,25	-2,44	222,75	-7,86			
22	7,71	227,31	29	235,01	30	29	3,01	54,86	-3,35	9,91	261,18	33	271,09	34	33	7,09	81,04	-2,36	12,12	300,03	38	312,15	40	39	0,15	93,37	-2,44	228,78	-8,15			
23	8,90	235,02	30	243,91	31	30	3,91	55,26	-3,35	16,00	271,10	34	287,10	36	35	7,10	89,04	-2,36	14,27	312,16	40	326,43	41	40	6,43	99,65	-2,44	243,95	-8,15			
24	9,85	243,92	31	253,76	32	31	5,76	57,11	-3,35	14,96	287,11	36	300,71	38	37	6,07	96,00	-2,36	11,62	326,44	41	338,06	43	42	2,06	103,27	-2,44	256,38	-8,15			
25	16,00	253,77	32	269,76	34	33	5,76	65,11	-3,35	6,63	300,08	38	308,71	39	38	4,71	96,00	-3,73	10,65	338,07	43	348,72	44	43	4,72	105,91	-2,44	267,03	-9,52			
26	10,22	269,77	34	279,98	35	34	7,98	67,34	-3,35	16,00	308,72	39	324,72	41	40	4,72	104,00	-3,73	9,96	348,73	44	358,69	45	44	6,69	107,87	-2,44	279,21	-9,52			
27	9,35	279,99	35	289,34	37	36	1,34	68,69	-3,35	12,44	324,73	41	337,17	43	42	1,17	108,45	-3,73	11,54	358,70	45	370,24	47	46	2,24	111,41	-2,44	288,54	-9,52			
28	9,65	289,35	37	298,99	38	37	2,99	70,34	-3,35	11,04	337,18	43	348,22	44	43	4,64	111,48	-3,73	6,50	370,25	47	376,75	48	47	0,75	111,41	-3,94	293,23	-11,02			
29	16,00	299,30	38	314,99	40	39	2,99	78,34	-3,35	13,61	348,23	44	365,84	46	45	1,64	117,09	-3,73	9,56	376,76	48	386,32	48	48	2,32	112,97	-3,94	308,40	-11,02			
30	13,09	315,00	40	328,08	42	41	0,08	83,43	-3,35	12,68	361,85	46	374,53	47	46	6,53	121,77	-3,73	8,97	386,33	49	395,31	50	49	3,31	113,95	-3,94	319,15	-11,02			
31	16,00	318,09	42	344,08	44	43	0,08	91,48	-3,35	14,95	374,54	47	389,49	49	48	5,49	128,73	-3,73	16,00	395,32	50	411,32	52	51	3,32	121,95	-3,94	342,10	-11,02			
32	15,47	344,09	44	359,54	45	44	7,54	98,89	-3,35	11,92	389,50	49	401,43	51	50	1,43	132,65	-3,73	9,10	411,33	52	420,43	53	52	4,43	123,05	-3,94	354,59	-11,02			
33	10,34	359,55	45	369,89	47	46	1,89	101,24	-3,35	13,49	401,44	51	415,93	52	51	6,93	138,14	-3,73	9,58	420,44	53	430,01	54	53	6,01	124,62	-3,94	364,00	-11,02			
34	10,29	369,90	47	380,18	48	47	4,18	103,53	-3,35	14,73	414,94	52	429,66	54	53	5,66	144,67	-3,73	9,78	430,02	54	439,80	55	54	7,80	126,40	-3,94	374,79	-11,02			
35	10,54	380,19	48	390,72	49	48	6,72	106,07	-3,35	16,00	429,67	54	445,67	56	55	5,67	152,07	-3,73	16,00	445,68	55	461,68	58	57	5,68	134,40	-3,94	393,34	-11,02			

