



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Damasia Gonzalez dos Santos Oliveira

**Uma metodologia de avaliação de concretagens de lajes prediais
na ótica da construção Lean**

**Rio de Janeiro
2007**

Damasia Gonzalez dos Santos Oliveira

**Uma metodologia de avaliação de concretagens de lajes prediais
na ótica da construção Lean**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre, ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de
concentração: Estruturas e Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Cyro Alves Borges Junior

Co-orientador (es): Prof. Dr. Francisco José da Cunha Pires Soeiro

Prof. Dr. Assed Naked Haddad

Prof. Dr. José Rodrigues de Farias Filho

Rio de Janeiro

2007

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/NPROTEC

- O48 Oliveira, Damásia Gonzales dos Santos.
Uma metodologia de avaliação de concretagens de lajes prediais na ótica da construção Lean / Damásia Gonzáles dos Santos Oliveira.- 2007.
147 f. : il.
- Orientador: Cyro Alves Borges Junior.
Co-orientadores: Francisco José da Cunha Pires Soeiro, Assed Naked Haddad, José Rodrigues de Farias Filho.
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
1. Construção civil – Controle de produção – Teses. 2. Logística empresarial - Teses. 3. Engenharia civil – Teses. I. Borges Junior, Cyro Alves. II. Soeiro, Francisco José da Cunha Pires. III. Haddad, Assed Naked. IV. Farias Filho, José Rodrigues de. V. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia. VI. Título.

CDU 69:658.5

Uma Metodologia de Avaliação de Concretagens de Lajes Prediais na Ótica da Construção Lean

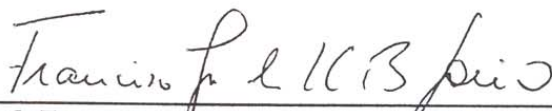
Damasia Gonzalez dos Santos Oliveira

Dissertação apresentada ao PGECIV - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil 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



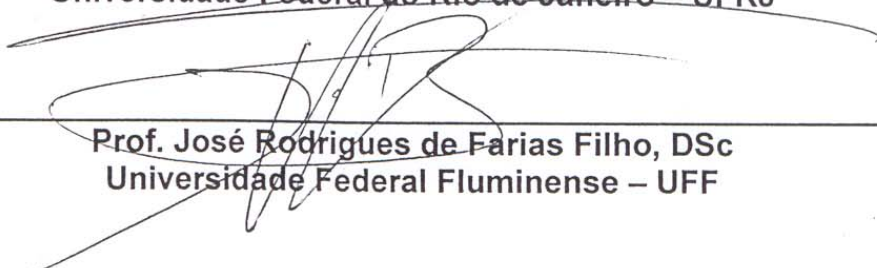
**Prof. Cyro Borges Junior, DSc – Presidente
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ**



**Prof. Francisco José da Cunha Pires Soeiro, PhD
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ**



**Prof. Assed Naked Haddad, DSc
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ**



**Prof. José Rodrigues de Farias Filho, DSc
Universidade Federal Fluminense – UFF**

A Deus, por ter iluminado meu caminho ao longo de todos estes anos, aos meus pais e aos meus irmãos pelo carinho e incentivo, ao meu amado esposo e aos meus filhos que sempre estiveram ao meu lado nessa caminhada.

Agradecimentos

A todos os professores membros do PGECIV, pela oportunidade e suporte. Ao meu orientador Prof. Cyro Borges, pela confiança, generosidade e receptividade, por toda a ajuda e amizade fortalecida durante a realização deste trabalho. Aos meus queridos colegas mestrando em especial Wisner, Mariana e Marcela parceiros de jornada, por todo auxílio e compreensão... meu sincero muito obrigado.

Resumo

OLIVEIRA, Damasia Gonzalez dos Santos. **Uma metodologia de avaliação de concretagens de lajes prediais na ótica da construção Lean**. 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

Esse estudo exploratório investiga e identifica como diferentes ferramentas de planejamento podem ser utilizadas para controle, manutenção e melhoria da produtividade. A revisão de literatura nos sugere a construção Lean como vanguarda do sistema produtivo e este trabalho verifica à luz de seus princípios (Lean) quais são as condições necessárias à sua implementação num ambiente construtivo. O processo de execução das lajes de um edifício em estrutura metálica, envolve três grandes categorias de insumos: o steel deck, a armação e o concreto. O detalhamento da execução das atividades envolvidas nesse processo possibilitou aprofundar o entendimento do complexo equilíbrio entre suprimento e demanda, do balanceamento das frentes de serviço e a compreensão das condições necessárias à prática dos conceitos Lean na construção predial. Com esse intuito foi elaborado um PERT das atividades envolvidas no processo, organizadas em um mapa de fluxo e testadas em uma simulação em Excel que traduzidas na forma de gráficos de produtividade, apontam as tendências de comportamento e a interferência da variabilidade de ocorrência dos eventos nos prazos estimados e o aparecimento de esperas (desperdício). O mesmo fluxo de atividades submetido à teoria das filas completa o estudo, apresentando também sob a forma de gráficos de tendência a correlação entre as atividades de montagem do steel deck, a armação e a execução das concretagens. A análise dos resultados obtidos mostrou que a simulação em Excel confirma os valores obtidos no planejamento inicial em PERT e a teoria das filas apresenta certo grau de restrição quando o processo não apresenta produtividades crescentes.

Palavras-chave: Construção Civil; Planejamento e Controle; Suprimento e Demanda; Produtividade; Construção Lean.

Abstract

This research investigates and identifies which tools of planning and management can be used to seek and improve productivity. The revision of literature suggests Lean as vanguard of the productive system and this work reveals the conditions for its implementation in a construction environment. The execution proceeding of a concrete slab of a building in metallic structure, involves three major steps: steel deck, steel frame and concrete. The detailing of the execution of the involved activities in this process made possible to deepen the agreement of the complex balance between supply and demand, of the balancing of the service fronts and to understand the conditions necessary to use the Lean concepts in the civil construction. The activities organized in flow were tested in a simulation, translated in the form of productivity graphs that point the trends of behavior and the interference of the variability in the trustworthiness of occurrence of the events in the targeted moments and the appearance of queues (waste). The same flow of activities submitted to the analysis of the queuing theory completes the study. The same flow of activities submitted to the queuing theory completes the study; also presenting under form of trend graphs the correlation between the assembly of steel deck, steel frame and the concrete placement. The analysis of the results showed that the simulation in Excel confirms the values gotten in the initial planning in PERT and the queuing theory presents certain degree of restriction when the process does not present increasing productivities.

Key-words: Civil Construction; Planning and Management; Supply and Demand; Productivity; Lean Construction .

Sumário

1. Introdução	17
1.1. Justificativa do Tema.....	17
1.2. Objetivos	21
1.2.1. Objetivos Gerais	21
1.2.2. Objetivos Específicos.....	21
1.3. Delimitação e Premissas do Objeto de Estudo.....	22
1.4. Estrutura do Trabalho	22
 2. Revisão Bibliográfica	 24
2.1. Processos Operacionais - Generalidades	24
2.1.1. Identificação e Avaliação das Atividades da Cadeia de Valor.....	24
2.1.2. Análise do Valor do Processo (PVA – <i>PROCESS VALUE ANALYSIS</i>).....	25
2.2. Conceitos para Produção <i>Lean</i>	30
2.2.1. Breve Histórico.....	30
2.2.2. Princípios <i>Lean</i>	30
2.2.3. Ferramentas <i>Lean</i> – Adaptado de Womack et al. (2004).....	32
2.3. Organizando o Processo da Transformação - Ferramentas de Organização do Fluxo dos Processos.....	38
2.3.1. O PERT/CPM.....	39
2.3.2. Elementos da Programação e Representação Gráfica da Rede PERT/CPM.....	40
Eventos: Representação e Terminologia Brasileira	40
2.2.2.1. Definindo a Relação de Precedência e a Duração das Atividades.....	40
2.3.3. Determinação do Caminho Crítico.....	45
2.4. Cenários de Uma Estimativa	46
2.4.1. Primeiro cenário - Cenário Utópico.....	46
2.4.2. Segundo cenário - Suprimento Confiável e Demanda Variável	47
2.4.3. Terceiro cenário - Suprimento e Demanda Variáveis.....	48
2.5. Proposta para Sistemas de Suprimentos <i>Lean</i>.....	52
2.6. O Sistema de Planejamento e Controle da Produção	54

2.6.1. O Problema - Equilíbrio entre Fornecimento e Demanda	55
2.6.2. O Controle da Produção	56
3. Metodologia.....	60
4. Planejamento Detalhado do Processo – Execução das Lajes.....	64
4.1. Entender o Processo – Organizar as Tarefas.....	64
4.1.1. Mapeando o Fluxo de Valor da Atividade “Concretagem das Lajes”.	66
4.1.2. Descrição das Tarefas – Montagem do <i>Steel deck</i> e Montagem da Armação	68
4.1.3. Descrição da Tarefa – Concretagem.....	72
4.1.4. Considerações Sobre Medidas de Proteção e Segurança.....	76
4.2. Organizando a execução das tarefas utilizando uma Rede PERT	88
4.2.1. Variabilidade da Duração de um Projeto	88
4.2.2. Fatores que Influenciam a Variabilidade da Duração de um Projeto	89
4.3. Simulação do Arranjo Integrado das Três Tarefas Principais: <i>Steel deck</i>, Armação e Concretagem.....	90
4.3.1. Fatores Condicionantes do Processo Execução das Lajes	90
4.3.2. Representação Gráfica da Produtividade em Função da Confiabilidade de Ocorrência do Evento	91
4.3.2.1.Representação gráfica para frentes simultâneas	92
4.3.2.2.Representação gráfica para frentes independentes	96
4.3.3. Submetendo o fluxo à análise pela teoria das filas de espera	99
A análise das filas de espera é de interesse porque afeta o projeto, o planejamento da capacidade, o planejamento do arranjo físico, o gerenciamento de estoques e a programação (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004).....	99
4.3.4. Análise dos resultados.....	101
5. Conclusões	104
5.1.Consistência	105
5.2.Sugestões para Trabalhos Futuros.....	106
6. Referências Bibliográficas	108
Anexo A - Planilha para Recurso Material	112
Anexo B - Planilha para Recurso Pessoal	113

Anexo C - Matriz de Ordenação para Execução das Lajes	114
Anexo D - Ficha Técnica Steel Deck Met-Form.....	115
Anexo E - Ficha Técnica Telas Soldadas	121
Anexo F - Rede PERT para Processo de Execução das Lajes	127
Anexo G - Simulação dos Arranjos das Frentes de Serviço.....	133
Anexo H - Análise pela Teoria das Filas.....	140

Lista de Figuras

Figura 2. 1: Atividades da Laje com Precedência.....	41
Figura 2. 2: Distribuição Beta e Normal das durações das atividades.....	44
Figura 2. 3: Demanda x Suprimentos. Cenário 1 – Utópico.....	47
Figura 2. 4: Demanda x Suprimentos. Cenário 2.....	48
Figura 2. 5: Demanda x Suprimentos. Cenário 3.....	48
Figura 2. 6: O “ <i>matching problem</i> ”.....	50
Figura 2. 7: Representação Gráfica – Probabilidade x Entregas no Prazo.....	51
Figura 2. 8: Estratégia para Sistemas de Suprimentos <i>Lean</i>	54
Figura 2. 9: Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho.....	57
Figura 3. 1: Representação do fluxo.....	62
Figura 3. 2: Exemplo de gráfico.....	63
Figura 3. 3: Esquema da montagem do experimento.....	62
Figura 4. 1: Foto do esqueleto metálico do Ed. Alfacon, São Paulo.....	64
Figura 4. 2: Fluxo da atividade Concretagem das Lajes.....	65
Figura 4. 3: Mapa do Tempo de Ciclo (T/C) para SD, A e C.....	64
Figura 4. 4: Diagrama de Flechas do processo Execução das Lajes.....	68
Figura 4. 5: Foto de obra em montagem de <i>steel deck</i>	68
Figura 4. 6: Corte transversal de uma seção com <i>steel deck</i>	69
Figura 4. 7: Guincho de coluna.....	70
Figura 4. 8: Guincho de coluna do tipo <i>chicago boom</i>	70
Figura 4. 9: Fluxo da atividade montagem do <i>steel deck</i>	71
Figura 4. 10: Fluxo cumulativo até a atividade montagem da armação.....	74
Figura 4. 12: Foto da execução da concretagem de uma laje.....	75
Figura 4. 13: Foto 1 de um canteiro de Obras em Kioto – Japão.....	77
Figura 4. 14: Desenho esquemático 1º dia (início).....	78
Figura 4. 15: Desenho esquemático 1º dia (meio dia).....	79
Figura 4. 16: Desenho esquemático 1º dia (término).....	80
Figura 4. 17: Desenho esquemático 2º dia (início).....	81
Figura 4. 18: Desenho esquemático 2º dia (término).....	82

Figura 4. 19: Desenho esquemático 3º dia (início).....	83
Figura 4. 20: Desenho esquemático 3º dia (término).....	84
Figura 4. 21: Desenho esquemático 4º dia (início).....	64
Figura 4. 22: Desenho esquemático 4º dia (término).....	86
Figura 4. 23: Foto 2 de um canteiro de Obras em Kioto – Japão.....	87
Figura 4. 24: PERT com Caminho Crítico.....	88
Figura 4. 25: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 50% (frentes simultâneas).....	92
Figura 4. 26: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 50%-C 90% (frentes simultâneas).....	93
Figura 4. 27: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 90% (frentes simultâneas).....	94
Figura 4. 28: Gráfico de Produtividade SD 50%-A 70%-C 80% (frentes simultâneas).....	95
Figura 4. 29: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 90% (frentes independentes).....	96
Figura 4. 30: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 50% (frentes independentes).....	97
Figura 4. 31: Gráfico da Produtividade SD 70%-A 50%-C 90% (frentes independentes).....	98
Figura F 1: Rede PERT.....	127
Figura F 2: PERT com caminho crítico.....	128
Figura F 3: Gráfico da distribuição normal padrão.....	132
Figura G.1.....	133
Figura G.2.....	134
Figura G.3.....	134
Figura G.4.....	135
Figura G.5.....	135
Figura G.6.....	136
Figura G.7.....	136
Figura G.8.....	136
Figura G.9.....	137
Figura G.10.....	137
Figura G.11.....	138
Figura G.12.....	138
Figura G.13.....	138
Figura G.14.....	139
Figura G.15.....	139
Figura G.16.....	139
Figura H. 1: Detalhamento do cálculo das filas.....	142
Figura H. 2: Exemplo de gráfico - Fila de SD/A.....	143
Figura H. 3: Exemplo de gráfico - Fila de A/C.....	143

Lista de Tabelas

Tabela 2. 1: Probabilidade das entregas acontecerem no prazo.....	51
Tabela 2. 2: Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho em 51 empreendimentos relacionado aos setores do mercado.....	58
Tabela 4. 1: Pavimentos de SD à espera de A.....	100
Tabela 4. 2: Pavimentos de A à espera de C.....	100
Tabela F 1: Atividades, atividades precedentes e duração estimada.....	127
Tabela F 2: Caminhos e seus respectivos comprimentos.....	128
Tabela F 3: Estimativas PERT.....	129
Tabela F 4: Caminhos e seus respectivos Comprimentos para o Cenário Pior Caso.....	130
Tabela F 5: Estimativas PERT.....	131

Lista de Símbolos

D_{ij}	Duração de uma tarefa
A_{ij}	Área a ser montada ou construída
P_{ij}	Produtividade padrão
N_{ij}	Nº de trabalhadores envolvidos da execução da tarefa
T_{ij}	Tempo de produção da tarefa
a, b	Parâmetros da distribuição beta
m	Estimativa mais provável (moda)
o	Estimativa mais otimista
p	Estimativa mais pessimista
μ_p	Média da distribuição de probabilidade da duração total
μ_i	Duração média da atividade i
σ_p^2	Variância da distribuição da duração total
σ_i^2	Variância da atividade i sobre o Caminho Crítico Médio
k_α	Parâmetro da distribuição normal
σ_p	Desvio padrão
z	Parâmetro da distribuição normal padronizada
I°	Mês de início
μ	Taxa média de serviço
ρ	Utilização média do sistema
L_q	Número médio de clientes na fila de espera

Lista de Abreviaturas

PIB	Produto Interno Bruto
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
PEA	População Economicamente Ativa
JIT	JUST-IN-TIME
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
STP	Sistema Toyota de Produção
TPM	Manutenção Produtiva Total (TOTAL QUALITY MANAGEMENT)
TKT	TAKT TIME
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FEM	Fábrica de Estruturas Metálicas
PCP	Planejamento e Controle da Produção
NORIE	Núcleo Orientado para Inovação da Edificação
PVA	Análise do Valor do Processo (PROCESS VALUE ANALYSIS)
PPC	Porcentagem Concluída do Plano (PERCENTAGE PLAN COMPLETE)
LPS	LAST PLANNER CONTROL
MRP	Planejamento das Necessidades Materiais (MATERIAL REQUIREMENT PLANNING)
LC	Centro de Logística (LOGISTIC CENTRE)
KDD	KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES
SD	STEEL DECK
A	Armação
C	Concretagem

"Uma das questões mais fundamentais que sempre se apresentou à humanidade, e que sempre estará presente em todo ser humano que nascer, é a natureza do saber. O que é o saber verdadeiro? Apenas pelo saber a pessoa atinge a libertação, apenas pelo saber a pessoa vem a conhecer a si mesma, apenas pelo saber a verdade é revelada."

1. Introdução

A indústria da construção civil se constitui hoje no Brasil como um setor que oferece contribuição significativa para o desenvolvimento global da sociedade, representando aproximadamente 7,0% do Produto Interno Bruto (PIB), 60% da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), absorve 7,3% da População Economicamente Ativa (PEA), e exerce um forte papel indutor na economia (Fonte IBGE - Índices de 2005). Dados do SINDUSCON e da Fundação Getúlio Vargas (FGV) informam que em 2007 o setor já contribui com 13% ou nove milhões do número de empregos no país.

Pode-se afirmar, a partir dessas estatísticas, que a construção civil no Brasil é um setor da indústria com enorme potencial econômico, tanto do ponto de vista de geração de empregos como pelo nosso ainda enorme déficit habitacional.

1.1. Justificativa do Tema

Ao buscar dados característicos das obras prediais correntes no Brasil verifica-se que nas grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, os dois principais conglomerados urbanos, o gabarito médio das chamadas obras altas é de vinte pavimentos. O processo construtivo mais difundido ainda é o uso de concreto armado para execução das infra e supra-estruturas, paredes de alvenaria e revestimento de argamassas prontas. Algumas empresas têm inovado o mercado com o uso de gesso projetado ou estucado como revestimento interno, principalmente como forma de diminuir o custo. Até esse gabarito (vinte pavimentos), ainda é possível a utilização de revestimentos externos tradicionais tais como argamassas prontas com proteção de tintas acrílicas, revestimentos cerâmicos, granitos entre outros.

Observa-se um conservadorismo no Brasil em termos de processos construtivos. A tradição construtiva, que emprega basicamente o concreto como elemento estrutural tem sido tão forte, que mesmo nos casos onde seria recomendado o uso de estrutura metálica,

usa-se a de concreto com conseqüente aumento do custo. Este conservadorismo tem bloqueado o avanço da estrutura metálica, pois cada método tem o seu campo de atuação.

Muito embora este setor venha se expandindo, a utilização de construção metálica ainda enfrenta resistências. Uma das questões que invariavelmente se levanta está relacionada ao custo da obra. Será esta mais econômica do que a construção convencional? Bellei et al. (2004) destaca entre as vantagens do emprego da estrutura de aço, os processos industrializados seriados, cujo efeito em escala favorece a menores prazos e custos. Porém qualquer análise nesse sentido deverá considerar as vantagens da estrutura metálica, tais como a leveza estrutural, que alivia as fundações; a possibilidade de utilização de vigas menores e maiores vãos com redução do número de colunas; maior rigor dimensional eliminando engrossamentos de revestimentos para correção de prumos; maior aproveitamento de materiais de pisos por causa da precisão do esquadrejamento; maior possibilidade de emprego de complementos pré-fabricados ou industrializados, como painéis de paredes e forros, esquadrias de portas e janelas e escadas; e uma série de outras vantagens de qualidade típica de sistemas industrializados. É claro que isto redundará numa das maiores vantagens da estrutura metálica, que é a diminuição dos prazos de entrega da construção, limpeza, inexistência de entulhos e sobras, eliminação acentuada de escoramentos facilitando os movimentos dentro da obra, o que propicia substancial redução de pessoal, custos e problemas. Mas, independente do sistema construtivo adotado, o que se deseja obter é a redução ou mesmo a eliminação sistemática do desperdício.

É consenso que o uso do aço agrega valor quando une plasticidade às possibilidades estruturais. A solução estrutural deve ser escolhida em função dos benefícios dando ênfase não apenas a uma única análise comparativa como custo, peso ou tempo de construção. Há outros fatores que devem ser avaliados por seu valor agregado, custos econômicos, produtividade e sustentabilidade. A opção entre os materiais e os novos sistemas só pode ser decidida de forma racional, após análise conjunta de todos os fatores que influenciam os interesses do cliente.

A construção é na realidade uma seqüência programada de execução de atividades, e justamente por isso é preciso que o planejamento seja perfeito para se obter o ganho de produtividade (rapidez da construção). Busca-se, portanto, uma harmonia seqüencial desde o término das fundações, e as diversas fases complementadoras, lajes, paredes, forros entre outros.

Esse ainda é o panorama geral na indústria da construção, mas algumas mudanças deverão acontecer nos sistemas construtivos adotados no país para atender às necessidades do mercado, principalmente nas grandes cidades onde a taxa de ocupação do solo é alta e valorizada. Certamente ocorrerá nas próximas décadas uma tendência ao aumento da verticalização, e o atendimento a essa demanda passa pela adequação e ao

uso de novas tecnologias, não somente pela busca de redução do custo, mas também para garantir a segurança durante o processo de construção e principalmente para obter a durabilidade da mesma. No passado recente trabalhou-se com uma normalização totalmente voltada para resistência e verifica-se que na sua reformulação o conceito de durabilidade está mais presente.

O meio ambiente vem sendo sistematicamente agredido e por sua vez se tornando cada vez mais agressivo. Solo, ar, água, aumento da temperatura ambiente, resultado do aquecimento global, todos esses elementos, no médio e longo prazo, oferecem algum grau de agressividade. Esses fatores passarão a ser determinantes nas especificações dos materiais. Já se convive no país com notícias de acidentes fatais por deslocamento de revestimentos de fachadas por oxidação dos elementos de fixação tanto de granito como de cerâmicas e esse fato deverá ocorrer com mais frequência nos próximos anos devido à idade que os prédios “altos” começam a atingir. Fica clara a necessidade de novas tecnologias, não fosse por todos os motivos anteriormente destacados, também para acompanhar políticas ambientais sustentáveis com menor agressão ao meio ambiente.

Esse estudo aponta para duas tendências relevantes:

- a) O uso cada vez maior de sistemas pré-fabricados na composição das edificações e;
- b) A adesão e consolidação da mentalidade enxuta num contexto ainda extremamente resistente a inovações.

Se existe abundância de recursos naturais para atender aos métodos tradicionais de construção, certo é também, que a nossa indústria nos últimos anos, apresenta avanços quantitativos e qualitativos, que poderão atender a uma demanda crescente de construções prediais projetadas para utilização de sistemas inovadores.

Por outro lado as inovações não se restringem somente a novas tecnologias, mas a uma mudança radical de conceito produtivo. Aplicar durante as atividades de construção todos os meios disponíveis para melhoria de desempenho do processo, para obter segurança, durabilidade, confiabilidade e resultado financeiro. Logo, o que vem à mente é que melhoria de desempenho de processo sugere produtividade, otimização e redução dos desperdícios.

Os japoneses desenvolveram a partir de sua indústria automobilística um conjunto de ferramentas para análise, controle e melhoria do processo produtivo a que chamaram de *Lean Production* (WOMACK et al., 2004). Foi a partir da análise minuciosa de toda a cadeia produtiva que nasceu o chamado sistema de produção enxuta, idealizado por Taiichi Ohno. A indústria da construção vem adaptando essas ferramentas para o processo de concepção e desenvolvimento de projetos imobiliários assim como sua aplicação no próprio processo construtivo. Mas ao analisar o chão de fábrica da indústria da construção, o canteiro de obras,

verifica-se objetivamente que fabricar um imóvel não é como fabricar um automóvel. De quantas peças constituintes está se falando? Quanto tempo esse bem imóvel deverá durar? Quantos modelos diferentes serão produzidos? Sem falar na escala, tanto por quantidade de recursos envolvidos como pela quantidade de unidades produzidas por planta.

Ao verificar essas diferenças constata-se que essa adaptação na utilização das ferramentas *Lean*, não pode ser feita por analogia, mas por profunda reflexão e reformulação dos conceitos até hoje empregados e tidos como satisfatórios nessa indústria. Tal como a indústria automobilística atribuiu aos seus mais diversos parceiros a tarefa de fabricar as partes do que, após um cuidadoso processo de montagem, virá a se tornar um automóvel, a indústria da construção terá necessariamente que industrializar mais as partes componentes de um edifício para minimizar o caráter artesanal que ainda prevalece. Obter uma obra mais enxuta, com tempos de processo balanceados nas diversas frentes de serviço, para diminuir os tempos de espera, praticar um bom planejamento das necessidades (MRP) e controle de qualidade dos materiais e serviços, acarreta a diminuição do desperdício, a principal meta da filosofia *Lean*. É necessário incrementar a padronização dessas manufaturas para trabalhar com dados e índices mais confiáveis durante o processo de projeto e garantir que o material chegará à obra na data esperada e dentro das especificações geométricas, e físico-químicas consideradas na planta. Tal modelo aponta para a necessidade imperiosa da integração de todos os parceiros envolvidos. Assim como na concepção de um automóvel todas essas medidas parecem apontar para o fato de que os fornecedores de insumos necessitam capacitar sua mão de obra e investir em equipamentos e pesquisa.

A padronização com certo grau de repetição poderia propiciar aos fabricantes de insumos a forma de incentivo necessária ao risco do investimento. Quanto maior for a edificação, com um número razoável de pavimentos tipo, também maior será a padronização das atividades e das manufaturas. Esse panorama parece profícuo ao desenvolvimento sustentado de toda cadeia produtiva envolvida direta ou indiretamente com a indústria da construção.

Para Borges Jr. et al. (2005) a construção se torna *Lean* quando se consegue, em alguns casos, identificar a repetição de seqüência de atividades que poderão ser padronizadas e propiciar um ritmo constante de produção. Isto concorre para uma maior sincronia no desenvolvimento do fluxo de atividades com menor desperdício em esperas (gargalos), estoques e movimentações desnecessárias. Rother e Shook (2002) atribuem a redução de desperdício à uma análise do mapeamento da cadeia de valor, que se norteia pelo encadeamento de trabalhos repetitivos e que obedecem ao ritmo “*takt time*” da obra. Uma verdadeira mudança de paradigma. Seguir os cinco princípios básicos da filosofia *Lean* é um constante desafio (WOMACK et al., 2004).

Quando se analisa a indústria da construção comparativamente com as outras indústrias, a experiência acumulada em canteiros de obras, remete-nos a concordar com Tommelein (2005), o que se constata é que a cada novo empreendimento a única herança que fica é exatamente a experiência adquirida do processo anterior. O projeto certamente é novo, os profissionais envolvidos muitas vezes também o são (com exceção do *staff* principal), e o chão de fábrica obviamente. É muita inovação num período pequeno se considerar-se o tempo desde a concepção do projeto até a entrega da obra. Assim fica bastante evidente que é necessário desprender-se dos princípios e conceitos tomados até agora como genuinamente verdadeiros para avançar na direção da inovação.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

Este estudo visa contribuir para melhoria do processo construtivo ao identificar e eliminar sistematicamente as diversas formas de desperdício, ou seja, as atividades que não agregam valor ao produto. As formas mais comuns de desperdício como a espera pela próxima etapa do processo, o transporte desnecessário de materiais ou movimentação de pessoal, o excesso de processamento devido a erros de projeto ou má condução da coordenação dos mesmos e estoques acima do necessário à continuidade do fluxo.

Isso será possível, através da análise detalhada do fluxo de atividades envolvidas na fase de concretagem das lajes de um prédio em estrutura metálica com 40 pavimentos e plataforma de trabalho de 1.000 m² por andar. O objetivo central é investigar e destacar a lógica que perpassa o conceito de frentes múltiplas e independentes de trabalho pertinentes a esta fase, tendo como matriz de análise os princípios básicos da filosofia *Lean*.

Utilizar o PERT, a simulação em Excel e a teoria das filas para verificar o problema de gargalos da produção relacionados ao uso de recursos material, humano e equipamentos, utilizados na execução da etapa de concretagem das lajes.

1.2.2. Objetivos Específicos

Verificar as dificuldades inerentes ao processo de construção predial, e analisar em que condições é possível adaptar o processo construtivo ao processo produtivo à luz dos princípios e conceitos *Lean*.

1.3. Delimitação e Premissas do Objeto de Estudo

Das diversas fases que envolvem o processo construtivo a ênfase em nosso estudo contemplou a etapa que se segue à conclusão da montagem da estrutura, as tarefas envolvidas na concretagem das lajes.

Algumas suposições ou premissas para dar suporte e embasamento à investigação:

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

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, e recebeu a seguinte estruturação:

O **Capítulo 1** é destinado à introdução. Nele é apresentada a relevância e justificativas para escolha do tema bem como a delimitação, premissas do estudo, seus objetivos gerais e específicos e sua organização.

O **Capítulo 2** abrange a revisão bibliográfica. A partir de extensa pesquisa procurou-se delinear o estado da arte. Desta forma e com o auxílio dos mais diversos trabalhos publicados pode-se confrontar a opinião de vários autores. O próximo passo foi estabelecer uma região de contorno, onde fosse possível identificar padrões de causa e efeito. O que caracteriza a eficiência de um processo? O que é bom para um é bom para todos? Estabelecer o que seria uma análise de valor (genérico) e as ferramentas para controle do fluxo dos processos. O PERT como ferramenta de planejamento e o caminho crítico. Relacionar os cenários de uma estimativa e estabelecer os princípios de um sistema de suprimentos *Lean*. O equilíbrio entre fornecimento e demanda (o *matching problem*). Por

último a apresentação de um levantamento das principais causas de falhas no cumprimento de programas de serviços.

O **Capítulo 3** expõe a metodologia. Como o estudo foi elaborado. Quais critérios foram utilizados na seleção de artigos e material de pesquisa. A organização dos capítulos, os levantamentos, a importância da delimitação para ordenação do raciocínio e para o entendimento das análises.

O **Capítulo 4** detalha e analisa as condições e pressupostos para organização do processo de execução das lajes de um edifício. Este capítulo se dedica a uma exposição minuciosa de todas as atividades envolvidas, dimensiona as necessidades de recursos materiais e pessoais para atender a demanda das frentes de serviço. Simula os arranjos de confiabilidade na execução das três atividades envolvidas (montagem de *steel deck*, armação e concretagem) e analisa os resultados das produtividades evidenciando em quais configurações o processo funcionaria atendendo dos preceitos *Lean*.

O **Capítulo 5** é destinado à conclusão e às recomendações para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Processos Operacionais - Generalidades

Os processos operacionais representam, segundo a visão de Kaplan e Norton (1997), a geração de valor em uma empresa. Eles têm início com a entrada dos pedidos e produção dos bens/serviços e terminam com a entrega desses bens aos consumidores finais. Esses processos enfatizam a entrega eficiente, regular e pontual aos clientes. As operações tendem a ser repetitivas, permitindo que as técnicas da administração científica sejam aplicadas a fim de melhorar o recebimento e o processamento dos pedidos existentes, os processos de suprimento, a produção e a entrega dos produtos acabados. Tradicionalmente, são monitorados pelas medidas financeiras básicas, tais como, o custo padrão, orçamento e variações de custo. Entretanto, com o tempo, o foco excessivo em medidas financeiras como a eficiência da mão-de-obra, a eficiência das maquinarias e as variações dos preços das compras, deu origem a ações totalmente disfuncionais, como por exemplo: ocupar a mão-de-obra e as máquinas com a produção para estoques não relacionados aos pedidos dos clientes, ou mudar de fornecedores, em busca de preços mais baixos, mas, ignorando os custos dos pedidos de baixo volume, a má qualidade, além de processos de pedido, recebimento, faturamento e cobrança desconexos entre fornecedores de baixo preço e o cliente.

A influência recente dos sistemas de gestão da qualidade total e da competição baseada no tempo, praticada pelas empresas japonesas, levaram muitas empresas a complementar as medidas de custos e finanças, com medidas de qualidade e tempo de ciclo. As medidas de qualidade e tempo de ciclo têm sido muito discutidas nos últimos quinze anos, mas além dessas medidas, devem ser adotadas outras que avaliem o *mix* de produtos e processos da empresa, a flexibilidade do sistema de produção para as características específicas dos produtos/serviços e que gerem valor para os clientes.

2.1.1. Identificação e Avaliação das Atividades da Cadeia de Valor

Construído o modelo básico para os processos/subprocessos, o passo seguinte é o detalhamento das atividades. Para isso, é necessário a identificação do

resultado esperado dos subprocessos (os produtos/serviços), os clientes e fornecedores dos subprocessos, o trabalho executado e os insumos consumidos pelos subprocessos.

Selecionado um subprocesso, o primeiro passo para a definição das atividades é a identificação do resultado esperado desse subprocesso. O resultado é qualquer produto/serviço originário do processo, incluindo transações, informações e até mesmo documentos gerados ao longo do caminho.

2.1.2. Análise do Valor do Processo (PVA – *PROCESS VALUE ANALYSIS*)

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 VA e NVA, a depuração dos processos internos da empresa e, conseqüentemente, a melhoria do desempenho desses processos. As atividades de PVA são uma abordagem sistemática que visa ao entendimento dos processos de manufatura e à melhoria destes. Beischel (1990) propõe os seguintes procedimentos para PVA:

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 operatórios) 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, a qualidade, e tampouco são percebidas pelos clientes/consumidores. Acontece que, sob essa óptica, 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 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 pouco contempladas 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), 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 NVA forem eliminadas dos processos, as oportunidades de redução de custos ainda continuam com a melhoria do desempenho das atividades VA.

Além da classificação das atividades sob a ótica exclusiva dos clientes externos, Kaplan e Cooper (1998), 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 raízes

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 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.

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 às de redução dos custos dos processos, sem reduzir a satisfação dos clientes.

OBS: Os Procedimentos 4, 5 e 6 estão fortemente calcados na análise de custeio e este trabalho pretende concentrar seu foco nos processos operacionais.

A análise da Cadeia de Valor dos processos internos reconhece que as atividades individuais dentro de uma empresa são interdependentes ao invés de dependentes. Assim, o aumento deliberado dos custos parciais pode representar uma diminuição significativa dos custos totais (SHANK e GOVINDARAJAN, 1997). Sob o ponto de vista do fluxo dos processos internos, os processos de inovação estão dispostos estrategicamente no início da Cadeia de Valor, a fim de nortear os demais processos (operacionais e serviços pós-vendas) da organização na direção dos cinco principais objetivos de desempenho da estratégia empresarial de manufatura: a qualidade, a rapidez, a confiabilidade, a flexibilidade e os custos.

Segundo Porter (1986),... *uma empresa é uma série de processos inter-relacionados denominada Cadeia de Valor*. Para se compreender a empresa, é necessário a efetiva compreensão das relações entre os processos que a compõem, e também reconhecer que uma empresa deve ser vista como parte do contexto de uma cadeia global de atividades, onde o “valor” é gerado.

Estruturalmente, a cadeia de valor (CV) de uma unidade empresarial é composta por atividades estratégicas que são exercidas por seus respectivos componentes funcionais, incluindo desde os fornecedores das matérias-primas básicas, até os consumidores finais. Portanto, compreender as atividades estratégicas, pelo menos as mais relevantes dentro da CV, levará à compreensão dos custos e à fonte de diferenciação dos produtos, em relação aos concorrentes (SHANK e GOVINDARAJAN, 1997). E, para que uma empresa possa alcançar metas de melhoria de desempenho e, conseqüentemente, um aumento significativo na sua lucratividade, ela deve dentro, de uma perspectiva estratégica, a partir do conceito de CV, analisar quatro áreas fundamentais de melhoria: as ligações com os fornecedores e clientes, os processos dentro de uma unidade empresarial e as ligações através da cadeia de valor da unidade empresarial, dentro da organização.

De acordo com Shank e Govindarajan (1997), não se deve iniciar uma análise do relacionamento com fornecedores considerando-se tão somente o valor das compras, porque desta forma poderão ser descartadas quaisquer possibilidades de serem exploradas as relações econômicas que existem entre os processos. Explorar as ligações com os fornecedores também não significa que o relacionamento econômico entre a empresa e o fornecedor seja um jogo nulo. A ligação deve ser administrada de tal forma que as partes envolvidas obtenham benefícios com a negociação. Para isso é necessário que sejam identificadas quais as atividades e onde essas atividades do fornecedor (ou vice-versa) se encaixam na cadeia de valor da empresa. Para Freitas e Pamplona (1999), no decorrer dessa

análise, também pode ser constatado que algumas atividades que não agregam valor, portanto, são NVA (*Non Value Added*) dentro da empresa, podem perfeitamente adicionar valor sob o ponto de vista do cliente, na cadeia do fornecedor. Para que o processo seja eficiente é necessário, a identificação e caracterização das perdas materiais ou de tempo e se são inevitáveis ou evitáveis. As perdas materiais estão estritamente ligadas à qualidade dos materiais e a técnica de utilização e manuseio do mesmo. As perdas de tempo estão ligadas à produtividade da mão de obra e equipamentos empregados e a otimização deles.

A partir da análise dos processos pode-se iniciar a criação de um mapa do fluxo de valor (*value stream map*) que identifique as ações necessárias para projetar, pedir, e produzir um produto específico e dividi-las em três categorias: (1) aquelas que realmente criam valor, conforme percebido pelo cliente; (2) aquelas que não criam valor, mas são necessárias para os sistemas de desenvolvimento do produto, atendimento de pedidos ou produção (desperdício Tipo Um) e, portanto ainda não podem ser eliminadas; e (3) as ações que não criam valor conforme percebido pelo cliente (desperdício Tipo Dois) e, assim, podem ser eliminadas imediatamente. Portanto, entender o fluxo, buscar a perfeição identificando todas as atividades que constituem desperdício e eliminá-las, deve funcionar como padrão absoluto e não relativo.

Todavia, é necessário ainda enfatizar a existência de outras atividades que não agregam valor, mas são essenciais à eficiência global (chamadas perdas inevitáveis) como controle dimensional das partes e do produto, treinamento da mão de obra, instalação de dispositivos de segurança entre outros.

O objetivo principal do processo é aumentar o valor considerando as necessidades dos clientes internos e externos (ISATTO et al, 2000). Entende-se como cliente interno a próxima atividade da seqüência ou fluxo do processo, que puxa e determina o ritmo de execução. Para melhoria do processo construtivo o foco principal é o cliente interno, buscando reduzir ou mesmo eliminar a variabilidade dos materiais (fortemente ligada a qualidade dos materiais) e das tarefas (variação na duração da execução de determinada atividade ao longo dos ciclos).

Na produção a não redução da variabilidade tende a aumentar a parcela de atividades que não agregam valor e o tempo de execução. A variabilidade pode ser reduzida a 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.

Se houver alguma fidelidade na relação interna (mão de obra própria) e externa (mão de obra contratada – empreiteiros) e a diminuição da variabilidade com as medidas de padronização e controle, deverá ocorrer a redução do tempo dos ciclos.

O fluxo de valor é pois o conjunto de todas as ações específicas necessárias para levar um produto específico a passar pelas três tarefas gerenciais críticas em qualquer negócio: **a tarefa de solução de problemas** que vai da concepção até o lançamento do produto, passando pelo projeto detalhado e pela engenharia, **a tarefa de gerenciamento da informação**, que vai do recebimento do pedido até a entrega, **e a tarefa da transformação física**, que vai da matéria prima ao produto acabado (WOMACK et al, 2004). Da mesma forma atividades que não podem ser medidas não podem ser adequadamente gerenciadas. As atividades necessárias para criar e produzir um produto específico que não possibilitam análise, identificação e comparações não podem ser questionadas, melhoradas (ou inteiramente eliminadas) e por fim, aperfeiçoadas. Historicamente, grande parte da atenção gerencial concentrou-se no gerenciamento dos agregados – processos, departamentos, empresas - supervisionando muitos produtos ou empreendimentos ao mesmo tempo, quando na verdade precisamos gerenciar fluxos de valor específicos para bens e serviços específicos.

A análise do fluxo na construção pode ser dividida em dois grandes segmentos (KOSKELA, 1992):

1º - Do Processo de Projeto

2º - Do Processo de Construção (nosso caso)

A caracterização do processo pode ser feita segundo o **custo**, a **duração** e o **valor para o cliente** (desempenho, ausência de defeitos, entre outros).

Os principais problemas enfrentados na caracterização e generalização dos processos da construção são:

- a- Projetos de natureza única dificultam as comparações e formação de uma confiável base de dados (TOMMELEIN, 2005);
- b- Canteiros de obra (o chão de fábrica) com espaços físicos variados, dificultam a padronização dos canteiros, das instalações provisórias, bem como das tarefas de carga/descarga e armazenamento;
- c- Organização “multitemporária”, serviços e mão de obra com rotatividade.

2.2. Conceitos para Produção *Lean*

2.2.1. Breve Histórico

A partir dos anos 50 começou a surgir no Japão uma nova filosofia de produção. Na verdade essa filosofia surgiu das tentativas da Toyota Motors Company de melhorar o desempenho do setor automobilístico.

Após a 2ª guerra mundial, a Toyota desejava crescer e ingressar na produção em larga escala de carros e caminhões. Com esse intuito, Eiji Toyoda visitou uma fábrica da Ford nos EUA para observar as características daquele sistema de produção, mas percebeu ao retornar ao Japão, que o sistema de produção em massa necessitava de adaptações às condições locais da época. A economia do pós-guerra estava arrasada, não havia investimentos em alta tecnologia e com o objetivo de proteger o mercado interno japonês foram criadas elevadas tarifas alfandegárias. Para contornar os problemas da época, a Toyota criou novos critérios gerais de produção que vieram a se tornar o hoje mundialmente conhecido *Lean Production* (Produção Enxuta) ou Sistema Toyota de Produção (STP).

2.2.2. Princípios *Lean*

Womack et al. (2004) identificaram cinco princípios do que representaria o pensamento *Lean* numa organização:

- a) Especificação do Valor: A definição de valor é feita pelo cliente final do produto. O cliente precisa ser atendido de forma eficaz, no momento certo e com preço adequado. Para isso, não é suficiente apenas ter um processo eficiente com corpo técnico capacitado e meios produtivos sofisticados. É preciso que o produto satisfaça os anseios do cliente.
- b) Identificação da Cadeia de Valor: A cadeia de valor consiste em todas as ações agregadoras e não agregadoras, necessárias para conduzir um produto, através dos fluxos essenciais durante sua produção (ex: fluxo do projeto ao lançamento, fluxo de produção da matéria-prima até o consumidor, etc.).

Estes autores entendem ser a cadeia de valor, o conjunto de ações que conduzem um determinado produto durante as três tarefas gerenciais críticas:

- Tarefa de solução de problemas: desde a concepção passando pelo projeto detalhado de engenharia finalizando com o lançamento do produto;
- tarefa de gerenciamento da informação: inicia-se com o recebimento do pedido, segue pela execução através de um cronograma detalhado e finaliza com a entrega;
- tarefa de transformação física: da matéria-prima até o produto acabado.

A cadeia de valor consiste, portanto, no processo pelo qual o produto passa, desde a sua concepção, através do fluxo de produção da matéria-prima até o produto acabado, contemplando as especificações detalhadas de projeto e os prazos estabelecidos finalizando com a entrega do produto ao cliente final.

- c) Fluxo: O fluxo de valor deve permear toda cadeia produtiva. As atividades fluem gerando valor de uma etapa a outra num fluxo contínuo e não ficam estanques e seccionadas segundo o conceito de lotes onde uma atividade só é iniciada quando se tem um grande número de peças a serem processadas, impedindo que o fluxo seja contínuo.

Devemos ainda considerar alguns aspectos importantes para obtenção do fluxo:

- Focalizar o produto de forma integral, do início ao fim do processo após as definições do valor e da cadeia de valor;
- eliminar os obstáculos à obtenção de um fluxo contínuo não permitindo o estabelecimento de fronteiras tais como divisões entre departamentos e atribuições funcionais;
- repensar práticas e ferramentas de trabalho específicas (eliminar retrabalhos, sucatas e paralisações).

Utilizando esses aspectos, torna-se possível a visualização de toda a cadeia produtiva e a identificação dos passos e partes que necessitam serem revistos para se estabelecer um fluxo contínuo. O estudo do fluxo pode ser conduzido por meio do mapeamento do fluxo de valor e possibilita identificar as fontes geradoras de perdas e as ligações entre os fluxos de material e de informação (ROTHER e SHOOK, 2002).

- d) Produção Puxada: A produção deve ser puxada pelo cliente. Nesse sistema de produção cada operação requisita a próxima operação e os materiais para sua implementação, somente para o instante exato e nas quantidades necessárias.

- e) Perfeição: Ao se alcançar o sucesso com a prática e a integração dos princípios anteriores, parte-se então em busca da maior satisfação possível para o cliente, o qual receberá produtos mais próximos das suas necessidades. Os autores acreditam que o estímulo mais importante para o alcance da perfeição seja a transparência. Ela possibilita que todos os envolvidos no processo possam ver tudo e também possam contribuir para melhorar a agregação de valor ao produto em toda a cadeia.

Os princípios apontados por Womack et al. (2004) têm como objetivo principal a eliminação das perdas criando fluxo contínuo de valor, que alcance todas as etapas da cadeia produtiva, visando à obtenção da perfeição no atendimento aos anseios dos clientes.

2.2.3. Ferramentas *Lean* – Adaptado de Womack et al. (2004)

Para implantação de um sistema de produção *Lean* é necessário o aprofundamento no conhecimento das diversas ferramentas que compõem o sistema, quais sejam:

- a) *Benchmarking*
- b) *Brainstorming*
- c) Sistema *Lean*
- d) Método “5S”
- e) *Just-in-time*
- f) Produção puxada (*kanban*)
- g) Fluxo contínuo
- h) Troca rápida de ferramentas
- i) Trabalho padrão
- j) Manutenção produtiva total
- k) Mapeamento do fluxo de valor
- l) *Kaizen*

Algumas dessas ferramentas são brevemente descritas a seguir por sugerir maior identificação com os objetivos do estudo.

2.2.3.1. Sistema *Lean*

O sistema *Lean* busca maneiras de fazer com que as pessoas pensem em fluxo, ao invés de processos discretos de produção. Para isso temos que implementar processos sistêmicos de melhoria e não processos isolados. As melhorias de forma sistêmica e permanente eliminam não só os desperdícios, mas também suas fontes geradoras. Para manutenção do sistema pode-se citar algumas das principais ferramentas utilizadas para suportá-lo: 5S, TPM (Manutenção Produtiva Total), JIT (*Just-In-Time*), produção puxada (*kanban*), mapeamento da cadeia de valor, fluxo contínuo, *kaizen* e outras.

2.2.3.2. Método “5S”

O método “5S” foi importante tanto para implementação da qualidade nas empresas, quanto para a sustentação da produção *Lean*. Ele surgiu no Japão no fim da década de 60 e foi um dos fatores responsáveis pela recuperação das empresas japonesas e base para implantação dos métodos de qualidade total naquele país. As fases desse método são representadas por cinco palavras japonesas iniciadas com a letra “S”: *seiri*, *seiton*, *seiketsu*, *seiso* e *shitsuke*.

- a) *Seiri*: Descarte – Significa ter somente o necessário e na quantidade certa. É importante diferenciar o útil do inútil e o que tem utilidade certa deve estar disponível, descartando-se o que é desnecessário. Algumas vantagens do descarte são:

- Reduzir as necessidades de espaço, estoques, gastos com sistemas de armazenamento, transportes e seguros;
- facilitar o transporte interno, o arranjo físico, o controle de produção e a execução do trabalho no tempo previsto;
- reduzir o capital de giro em estoque e outros.

Tudo o que fizer parte do ambiente deve ser analisado e o que for considerado desnecessário deverá ser identificado a fim de receber um destino que pode ser o descarte, alocação em outro setor, conserto ou venda.

- b) *Seiton*: Arrumação – Cada objeto tem o seu devido lugar e após ser usado deve retornar ao mesmo. Tudo deve estar disponível e próximo ao local de trabalho. Ferramentas e materiais devem estar no local certo e nas quantidades necessárias. Algumas vantagens da arrumação do ambiente de trabalho são:

- Redução do tempo de procura de ferramentas e troca (*set-up*);
- redução das perdas dos materiais utilizados;
- aumento da produtividade e outros.

- c) *Seiso*: Limpeza – Representa a consciência da importância de estar num ambiente limpo e da necessidade de manter-se na limpeza. Algumas vantagens de se trabalhar num ambiente limpo são:
- Possibilita identificar pontos causadores de contaminação;
 - maior satisfação e segurança do funcionário em seu local de trabalho;
 - boa imagem da empresa pode significar aumento da confiabilidade do cliente;
 - maior produtividade e outros.
- d) *Seiketsu*: Padronizar – Após cumpridas as fases anteriores, rotinas e práticas de padronização devem ser estabelecidas para se obter a repetição regular e sistemática dos “S” anteriores. É necessário então criar procedimentos e formulários para avaliação regulares com a opinião de todos os envolvidos na execução do processo a fim de garantir a manutenção do sistema. Alguns exemplos de práticas de padronização são:
- Quadro de ferramentas sombreado para facilitar a localização;
 - áreas demarcadas para avaliação de produtos ou materiais segregados;
 - marcações visuais para monitoramentos como níveis de tanques;
 - manter planos diários de manutenção e outros.
- e) *Shitsuke*: Disciplina – Esta fase está fortemente ligada à manutenção sistêmica de forma que todas as atividades anteriormente citadas se tornem habituais. A mudança de hábito deve ser fortemente trabalhada pelos líderes para que funcionários se comprometam com o sistema.

2.2.3.3. ***Just-in-time*** – JIT

O *just-in-time* surgiu no Japão em meados da década de 70 e sua idéia básica e desenvolvimento foram creditados à Toyota Motors Company, que estava em busca de um sistema de administração que fosse capaz de coordenar a produção com a demanda específica de diferentes modelos e cores de veículos com um mínimo de atraso. O foco

principal era trabalhar com um sistema puxado de produção a partir da demanda, produzindo somente os itens em quantidades e no momento necessários. Contudo o JIT é muito mais que uma técnica ou um conjunto de técnicas de administração da produção. Melhor defini-lo como uma “filosofia” que inclui aspectos de administração de materiais, gestão da qualidade, arranjos físicos, projeto de produto, organização de trabalho e gestão de recursos humanos.

O sistema de produção que adota o JIT deve apresentar determinadas características coerentes com os princípios do mesmo. Dentre as várias características necessárias podemos citar:

- a) A produção de muitos produtos diferentes requer extrema flexibilidade de faixa do sistema produtivo, tornando necessário avaliar se na dimensão requisitada o sistema funciona dentro da filosofia JIT.
- b) O *layout* do processo de produção deve ser celular. Dividindo-se os componentes produzidos em famílias obtém-se maior produtividade.
- c) Não aceitação de erros, paralisando-se a linha de produção até que estes sejam eliminados.
- d) A produção é responsável pela qualidade. A redução de estoques e a resolução dos problemas de qualidade formam um ciclo positivo de aprimoramento contínuo.
- e) Ênfase na redução dos tempos do processo a fim de focalizar o valor agregado ao produto, de forma a maximizar a qualidade dos mesmos.
- f) Fornecimento de materiais no sistema JIT torna-se uma extensão dos princípios aplicados dentro da fábrica, tendo como principais objetivos os lotes de fornecimento reduzidos, freqüentes e confiáveis com altos níveis de qualidade.
- g) Planejamento de produção com carga de trabalho diário estável de forma que possibilite o fluxo contínuo de material. O sistema de programação e controle de produção está baseado no uso de cartões (*kanban*) para transmissão de informações entre centros produtivos.

Algumas vantagens do sistema de administração da produção JIT podem ser verificadas por meio dos principais critérios competitivos como:

- a) Custos: O JIT busca redução do custo de equipamentos, materiais e mão-de-obra ao necessário. Nele a responsabilidade e o envolvimento dos encarregados da produção e refinamento do processo produtivo favorecem a redução de desperdícios.

- b) **Qualidade:** Esse sistema evita que defeitos percorram ao longo do fluxo da produção (o único nível aceitável de defeitos é zero). A pena pela produção de itens defeituosos é alta. Isso motiva a busca das causas dos problemas e das soluções para eliminá-las.
- c) **Flexibilidade:** O JIT aumenta a flexibilidade do sistema por meio da redução dos tempos envolvidos no processo. Embora o sistema não seja flexível com relação à faixa de produtos oferecidos ao mercado, a flexibilidade dos trabalhadores contribui para que o sistema produtivo seja mais flexível em relação às variações do *mix* de produtos. Por meio da manutenção de estoques baixos, um modelo de produto pode ser mudado sem que muitos de seus componentes fiquem obsoletos. O projeto de componentes comprados é geralmente desenvolvido pelos próprios fornecedores, utilizando especificações rígidas e detalhadas de projeto.
- d) **Velocidade:** A flexibilidade, o baixo nível de estoques e a redução dos tempos permitem que o ciclo de produção seja curto e o fluxo veloz. A prática de diferenciar os produtos na montagem final, permite em muitos casos, entregar os produtos em prazos mais curtos. Essa diferenciação é feita a partir de componentes padronizados, de acordo com as técnicas de projeto adequado de manufatura e montagem.
- e) **Confiabilidade:** A confiabilidade das entregas é aumentada pela manutenção preventiva e pela flexibilidade dos trabalhadores. As regras do *kanban* e o princípio da visibilidade e transparência permitem identificar rapidamente os problemas que poderiam comprometer a confiabilidade.

A viabilização e aplicabilidade do sistema *just-in-time* depende de três fatores intrinsecamente relacionados: produção puxada, fluxo contínuo e tempo *takt* (tempo que define o ritmo da produção de acordo com o ritmo de demanda do cliente).

2.2.3.4. Produção Puxada

Esse método choca-se frontalmente com o tradicional, no qual a operação anterior empurra o resultado de sua produção para a posterior, mesmo que esta não necessite ou não esteja pronta para o seu uso. O sistema de produção puxada é uma maneira de conduzir o processo produtivo de tal forma que cada operação requisite a próxima operação e os componentes e materiais para sua implementação, somente no instante exato e nas quantidades necessárias. Estendendo-se esse conceito a toda empresa, conclui-se que é o cliente quem decide o que se vai produzir, pois o processo de puxar a produção transmite a necessidade de demanda específica a cada elo da corrente. No sistema de administração

da produção controlada por cartões (*kanban*) o mais importante é aumentar a produtividade e reduzir os custos por meio da eliminação de todas as funções e atividades desnecessárias ao processo produtivo. É um método basicamente empírico que consiste em identificar as operações que não agregam valor. Por meio da técnica da tentativa e erro, busca-se alcançar uma nova operação, que apresente resultados considerados satisfatórios para um determinado problema ou empresa específica. O conceito básico é fabricar bens com completa eliminação de funções desnecessárias à produção, na quantidade e tempo necessários. O *kanban* é, em última análise, uma ferramenta para administrar o método JIT, ou seja, é um sistema de informação por meio de cartões (tradução de *kanban*) para controlar as quantidades a serem manufaturadas pela empresa. Ele se constitui em um elemento do JIT.

2.2.3.5. Fluxo Contínuo

O fluxo contínuo é a resposta à necessidade de redução do *lead time* de produção. A implementação de um fluxo contínuo na cadeia de agregação de valor, normalmente requer a reorganização e o rearranjo do *layout* fabril. Assim é realizada a conversão dos tradicionais *layouts* funcionais (ou *layouts* por processos) onde máquinas e recursos estão agrupados de acordo com seus processos para células de manufatura compostas dos diversos processos necessários à fabricação de determinada família de produtos.

O que realmente conduz ao fluxo contínuo é a capacidade de implementação de um fluxo unitário (um a um) de produção, caso em que no limite, os estoques entre processos sejam completamente eliminados. Dessa forma garante-se a eliminação das perdas por estoque e por espera e obtém-se a redução do *lead time* de produção.

2.2.3.6. Trabalho Padrão

Pode ser definido como um método efetivo e organizado de produzir sem perdas. Visa obter o máximo de produtividade por meio da identificação e padronização dos elementos de trabalho que agregam valor e pela eliminação das perdas.

2.2.3.7. Manutenção Produtiva Total – TPM

Abrange todos os departamentos, incluindo-se os departamentos de manutenção, operação, transportes e outras facilidades, engenharia de projetos, engenharia de planejamento, de construção, estoques e armazenagem, compras, finanças e contabilidade e gerência da instalação. Desta forma e com a participação ativa de todos os envolvidos no

processo de forma contínua e permanente é possível obter-se zero de quebra, de defeitos e de perda no processo. A TPM busca criar uma nova forma de trabalho, que maximize a eficiência de todo o sistema produtivo.

2.2.3.8. Mapeamento do Fluxo de Valor

No mapeamento da cadeia de valor torna-se necessária a definição de valor. Segundo Womack et al. (2004), o mapeamento da cadeia de valor é feito pelo cliente, e só é significativo quando expresso em termos de produto específico (bens ou serviços), de forma que atenda às necessidades do cliente a um preço e momento específico. Antes de ser feito o mapeamento do fluxo do valor, deve-se identificar adequadamente a área que vai ser mapeada (esta é chamada de linha, família ou grupo de produtos) e por meio dele os desperdícios podem ser destacados e eliminados.

2.2.3.9. Kaizen

É um termo japonês que quando aplicado à empresa é interpretado como melhoria contínua dos processos administrativos e de produção. Ele busca a perfeição do processo produtivo, e uma vez que ele não acaba, após um *kaizen*, sempre haverá outros futuros.

A Toyota propôs assim, que a redução dos custos fosse alcançada pela eliminação das perdas. É por meio da análise detalhada do valor do produto, de sua cadeia de valor, do fluxo do processo, da produção puxada e na busca da perfeição que esse objetivo é alcançado, ou seja, fazendo-se uso dos princípios *Lean*. Na verdade a essência do STP é a perseguição e a eliminação de toda e qualquer perda. Esse é o conhecido “princípio do não custo” e baseia-se na crença de que a tradicional equação $[CUSTO + LUCRO = PREÇO]$ deve ser substituída por $[PREÇO - CUSTO = LUCRO]$.

2.3. Organizando o Processo da Transformação - Ferramentas de Organização do Fluxo dos Processos

2.3.1. O PERT/CPM

Uma das ferramentas mais utilizadas para auxiliar os gerentes no controle e planejamento dos projetos é o Gráfico de Barras (Gráfico de Gantt). Apesar dessa técnica possibilitar a compreensão do tempo através da visualização das atividades, incluindo suas respectivas durações, não oferece ao usuário o entendimento necessário da relação que existe entre elas. De acordo com Ertas (1996), o diagrama de barras mostra quando as atividades vão ocorrer, mas não mostra como elas estão relacionadas entre si.

Em meados de 1950, surgiram as técnicas de programação em redes, para auxiliar os gerentes no planejamento e condução de projetos. Segundo Stanger (1974), essas técnicas de análise são oriundas de resultados práticos obtidos a partir da teoria dos grafos, que é uma importante parte da teoria dos conjuntos. Tais técnicas estão baseadas no princípio de que qualquer conjunto de atividades tem uma seqüência ótima. Essa seqüência ótima, no entanto, pressupõe a existência de um critério de julgamento, que é a duração, sendo a seqüência ótima aquela que levar ao término do projeto no menor tempo.

Técnicas de Gestão de Projetos

Gráfico de Gantt:

- Projetos simples;
- Planos operacionais de curto prazo e táticos de médio prazo;
- Excelente impacto visual, escala de tempo, simplicidade;
- Não explicita relações de precedência, nem atividades críticas e folgas.

PERT e CPM:

- Projetos mais complexos;
- Planos táticos de longo prazo;
- O CPM considera as durações das atividades como determinísticas;
- O PERT reconhece que a duração das atividades e os custos associados são probabilísticos.

Os termos PERT e CPM são acrônimos de *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* (CPM).

A combinação das técnicas do Gráfico de Barras (Gráfico de Gantt) e as do PERT/CPM deu origem ao método dos potenciais (diagrama de blocos), que segundo Boiteux (1985), é também conhecido como PERT/CPM/ROY, em homenagem ao seu precursor, o Professor B. Roy.

O método dos potenciais idealizado por Roy também modificou sobremaneira a representação das atividades no PERT/CPM, passando a representá-los nos nós, enquanto que anteriormente eram representados nos arcos (flechas) do grafo. Essa mudança facilitou a elaboração das redes, permitindo a representação das atividades paralelas sem a necessidade da inserção de atividades fantasmas (virtuais).

2.3.2. Elementos da Programação e Representação Gráfica da Rede PERT/CPM

Eventos: Representação e Terminologia Brasileira

Os eventos no PERT/CPM representam as extremidades de início e término de uma atividade. Portanto, não representam a execução da atividade. Os eventos não consomem tempo e recursos, embora estejam vinculados a datas. Os eventos são marcos significativos de um programa e podem também ser interpretados como marcos da realização de objetivos parciais/finais do projeto.

PERT e CPM utilizam principalmente os conceitos de Redes (grafos) para planejar e visualizar a coordenação das atividades do projeto. A rede pode ser construída utilizando os arcos para representar as atividades e os nós para separar as atividades precedentes, porém utilizar os nós para representar as atividades e os arcos para representar as relações de precedência parece ser mais intuitivo.

2.2.2.1. Definindo a Relação de Precedência e a Duração das Atividades

Uma vez que as atividades estejam definidas é necessário especificar a relação **entre** as atividades. A relação de precedência entre as atividades mostra em que seqüência

particular elas devem ser realizadas. Seja em função da integridade estrutural, da segurança ou de qualquer outro requisito técnico, **existe uma numerosa seqüência de atividades** em construção.

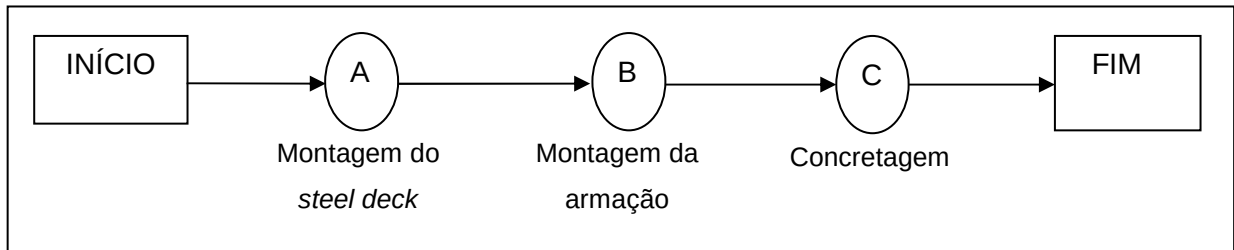


Figura 2. 1: Atividades da Laje com Precedência.

A partir da lista de atividades e das relações de precedência, a rede pode ser facilmente construída. Para isto, dado uma atividade (nó), basta procurar na lista quais atividades são suas atividades precedentes. Por exemplo, na rede da

Figura 2. 1, a atividade C possui as atividades B e A como precedentes, as quais devem ser conectadas através de arcos orientados (setas), indicando assim, a precedência.

Através da análise de rede, várias informações podem ser obtidas, entre elas, as respostas para duas perguntas cruciais para o planejamento:

- 1- Qual o tempo total requerido para completar o projeto se nenhum atraso ocorrer?
- 2- Quais as atividades que não podem sofrer atrasos para que o projeto seja executado sem atraso (“Atividades Gargalos”)?

Um caminho através de uma rede é uma rota seguindo os arcos a partir do nó INÍCIO até o nó FIM. O comprimento de um caminho é a soma das durações das atividades sobre o caminho.

O próximo passo, ainda na concepção do planejamento, é estimar a duração de cada atividade. A obtenção da duração das atividades é, sem dúvida, uma das fases mais importantes a ser percorrida na construção de uma rede PERT/CPM. A duração das atividades está relacionada e é condicionada por uma série de fatores internos ou externos à organização do trabalho. A duração é um atributo de atividade (ABNT, P-TB-134), cujas características, além de incluir a dimensão tempo, também envolvem a combinação de uma série recursos que deverão estar disponíveis para serem consumidos pelas atividades,

entretanto, em maior ou menor escala, dependendo das peculiaridades de cada projeto e do contexto em que este será realizado. Desta maneira, as limitações dos recursos, as intempéries, o mercado competitivo, as políticas governamentais entre outros, são fatores que influenciam na realização do trabalho, e condicionam o cálculo das estimativas de duração das atividades. Cumpre esclarecer que na metodologia do PERT/CPM, a palavra *data* aplica-se aos eventos. O sentido de data no PERT/CPM está relacionado ao tempo, entretanto, nada tem a ver com o calendário (MOTTA, 1976).

Hendrickson (2003) propõem elaborar uma tabela de duração e precedência para as tarefas envolvidas na atividade com a estimação de suas respectivas durações.

Construído o Diagrama de Rede para um projeto, precisamos obter a duração de cada atividade, para determinar o caminho crítico, calcular a duração do projeto e a folga de cada atividade em particular. Saberemos assim quais atividades devem ser objeto de atenção especial (as do caminho crítico) para que não atrasem.

No caso do CPM, como a utilização típica é em projetos onde se podem ter estimativas bem acuradas de tempo, cada atividade tem só uma medida (determinística) de tempo. Já no caso do PERT, empregado em projetos cujas atividades têm certa imprecisão na duração, convencionalmente são feitas estimativas de tempo para cada atividade:

Estimativa **otimista** (*a*): é uma estimativa de tempo mínimo que uma atividade pode tomar. É obtida supondo-se condições totalmente favoráveis na execução da atividade.

Estimativa **mais provável** (*m*): é uma estimativa do tempo normal que uma atividade deve tomar. É o resultado que ocorreria mais frequentemente se a atividade fosse repetida um grande número de vezes.

Estimativa **pessimista** (*b*): é uma estimativa de tempo máximo que uma atividade pode durar. Só ocorre em condições totalmente adversas. A possibilidade de eventos drásticos e catastróficos não é considerada, a menos que eles sejam claramente associados ao projeto.

A duração de cada tarefa D_{ij} pode ser obtida pela fórmula:

$$D_{ij} = \frac{A_{ij}}{P_{ij}N_{ij}} \quad (2.1)$$

Onde A_{ij} é a área a ser construída ou montada ou concretada (em metro quadrado), P_{ij} é a produtividade padrão para execução da tarefa (em metro quadrado ou cúbico por hora) e N_{ij} é o número de trabalhadores envolvidos na execução da tarefa. Em algumas organizações o T_{ij} (tempo de produção da tarefa) é definido como o tempo necessário para completar a tarefa com mão-de-obra padrão (medida em horas/m²) e usada como medida de produtividade de tal forma que T_{ij} é uma recíproca de P_{ij} .

Inicialmente o tempo de duração de cada tarefa P_{ij} tomou como referência a produtividade padrão informada por fabricantes, banco de dados da própria empresa, índices fornecidos por entidades de classe (sindicatos) ou livros especializados (aqui no Brasil a PINI pode ser uma referência). O número de trabalhadores N_{ij} pode ser estimado inicialmente a partir do tempo alvo estabelecido para executar a tarefa. Esses valores tomados para montagem do planejamento inicial de execução, poderão sofrer ajustes ao longo da execução da tarefa caso não seja obtido na prática a produtividade inicialmente considerada. Esse fato é muito comum em construção. Além disso, uma rede de programação onde as atividades estão bem correlacionadas mostra aos engenheiros residentes e mestres-de-obras, o arranjo físico possível e adequado, para as instalações dos canteiros de obras numa perspectiva dos processos em CV, propiciando uma melhor eficiência na alocação dos recursos e redução das perdas (desperdícios), através da eliminação das atividades NVA (armazenagem, movimentação, transporte horizontal/vertical, filas, entre outras), ou da exploração das relações econômicas que existe entre as atividades de valor na cadeia do cliente ou fornecedor.

Embora a equação seja aparentemente simples, muitos fatores incorrem na parcela **produtividade** durante a realização do processo, alterando a performance do conjunto. Por exemplo, a montagem do *steel deck* na região dos apoios e outros elementos como furos para *shafts*, obriga a realização de mais recortes e fechamentos o que certamente influirá na produtividade do conjunto. Normalmente os erros de estimação ocorrem por se considerar mais ou menos dificuldade para a realização da tarefa. Podemos ser otimistas ou conservadoramente pessimistas no processo de planejamento. Quanto de incerteza o planejamento é capaz de suportar? Quais os desdobramentos, não só em atraso de atividade, mas em atraso global o sistema é capaz de absorver? Existe algum tipo de punição (multa contratual) a ser considerada? Quais ferramentas pode-se utilizar para corrigir essas distorções?

Um planejamento deve considerar a incerteza da estimação da duração da tarefa através do uso da **distribuição probabilística**. A duração de determinada atividade pode assumir a variável randômica padrão daquela distribuição. A distribuição beta é muitas vezes utilizada para caracterizar determinada duração de tarefa desde que se tenha o mínimo e o

máximo valor possível de tempo de duração. A estimativa **mais provável** m é a moda. A distribuição pode ser mais inclinada para a direita, para a esquerda, ou centrada, dependendo da relação entre a , m e b .

Assumida a distribuição beta, a duração esperada de uma atividade qualquer i pode ser calculada aproximadamente por (MOREIRA, 2006):

$$t_i = \frac{1}{6(a + 4m + b)} \quad (2.2)$$

Uma hipótese adicional que se faz é a de que o desvio padrão da duração de uma atividade qualquer i é igual a $1/6$ da faixa de tempo entre as durações extremas:

$$\sigma_i = \frac{(b - a)}{6} \quad (2.3)$$

A explicação para essa suposição reside no fato de que, para muitas distribuições de probabilidade, os valores extremos da variável estão distantes cerca de três desvios padrão da média.

A distribuição normal é mais fácil de trabalhar e se aproxima da distribuição beta no centro, então é comum usá-la como aproximação.

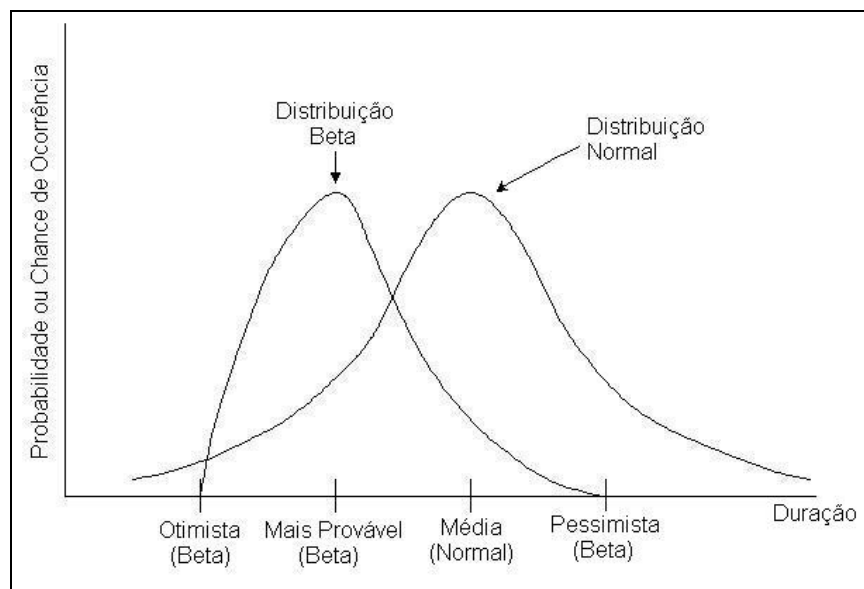


Figura 2. 2: Distribuição Beta e Normal das durações das atividades

Fonte: Hendrickson, 2003, cap.9, p.21.

No caso da distribuição beta são necessários três ou quatro parâmetros enquanto a distribuição normal requer apenas dois, μ representando a duração média e σ o desvio padrão da duração. Alternativamente, a variância da distribuição σ^2 pode ser usada para descrever e caracterizar a variabilidade dos tempos de duração. A variância é o valor do desvio padrão multiplicado por ele mesmo. A partir desses dados, dois parâmetros podem ser estimados como:

$$\mu \approx \bar{x} = \sum_{k=1}^n \frac{x_k}{n} \quad (2.4)$$

$$\sigma^2 \approx \sum_{k=1}^n \frac{(x_k - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.5)$$

Onde assumimos que n diferentes observações X_k da variável randômica X estão disponíveis. Este processo de estimação pode implicar diretamente nas durações das atividades (então X_k poderia ser considerado igual a duração da atividade D_{ij} de um projeto anterior) ou para estimar a distribuição da produtividade (como X_k poderia ser a igual a produtividade da atividade P_i de um projeto anterior).

2.3.3. Determinação do Caminho Crítico

O caminho crítico para a realização de um programa é o caminho mais longo que se deve percorrer na conquista do objetivo final programado. Mas na prática os projetos podem possuir centenas ou milhares de atividades e determinar manualmente o caminho crítico é inviável. Esse mesmo cálculo poderá ser feito através de software de computador, com a determinação de quatro parâmetros fundamentais, referentes às datas das atividades constituintes de um projeto:

Primeira Data Início (PDI): é a data mais próxima em que uma atividade pode começar, assumindo que todas as atividades predecessoras começam tão cedo quanto possível.

Primeira Data Término (PDT): é a data mais próxima em que uma atividade pode terminar.

Última Data Início (UDI): é a data mais atrasada em que uma atividade pode começar, sem que atrase o projeto.

Última Data Término (UDT): é a última data em que a atividade pode terminar, sem que atrase o projeto.

PDI, PDT, UDI e UDT são calculadas com auxílio das quatro seguintes regras:

I – A Primeira Data Término de uma atividade pode ser calculada como:

$$PDT = PDI + t \quad (2.6)$$

(t = duração da atividade)

II-A Primeira Data Início de uma atividade que deixa um determinado nó é igual a maior das Datas Mais Cedo de Término dentre todas as atividades que chegam ao nó.

III-A Última Data Início de uma atividade pode ser calculada como:

$$UDI = UDT - t \quad (2.7)$$

(t = duração da atividade)

IV-A Última Data Término de uma atividade que entra em um nó é igual a menor das UDI das atividades que deixam o nó.

2.4. Cenários de Uma Estimativa

2.4.1. Primeiro cenário - Cenário Utópico

O processo foi até aqui, formulado, analisado e descrito como **Cenário Utópico** (ARBULU e BALLARD, 2004) e nestas condições, ambos, **suprimentos e demanda são 100% confiáveis**.

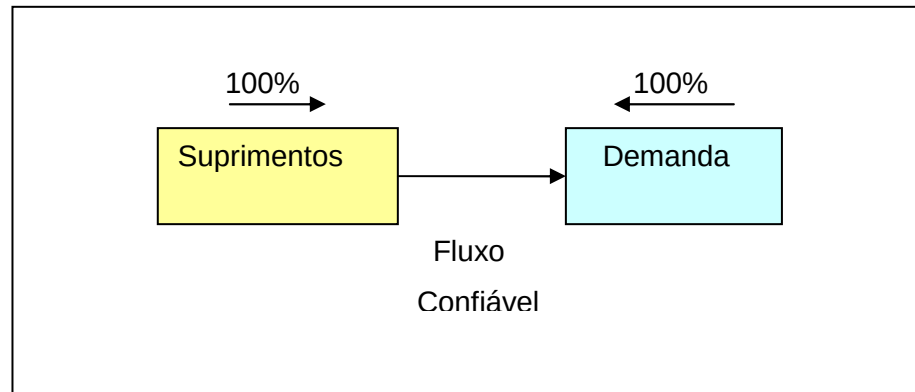


Figura 2. 3: Demanda x Suprimentos. Cenário 1 – Utópico

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

Mas a variabilidade está presente em qualquer sistema de produção e portando também aos sistemas de suprimentos. Variabilidade pode ser entendida como o oposto de 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). Womack et al. (2004) definem “perseguir a perfeição” como um dos cinco princípios *Lean*. O sistema de produção com menores sinais de variabilidade está mais próximo da perfeição. Quanto menor a variabilidade, mais efetivo e eficiente.

2.4.2. Segundo cenário - Suprimento Confiável e Demanda Variável

Independentemente da complexidade da cadeia de suprimento o cenário dois assume que os suprimentos são 100% confiáveis. Uma maneira de expressar a demanda variável é a Porcentagem Completada do Plano (PPC) como medida de confiabilidade do fluxo. Neste cenário, por exemplo, o PPC = 90% (variabilidade = 10%). Isto significa que 10% das atividades não são completadas no tempo planejado. Podemos dizer também que, se 100% das atividades foram planejadas, os recursos foram disponibilizados, e 10% desses recursos não foram utilizados quando disponibilizados representando perda. Uma consequência poderá ser o acúmulo de materiais no local de trabalho. A Figura 2. 4 ilustra esse cenário com um triângulo representando estoque de materiais.

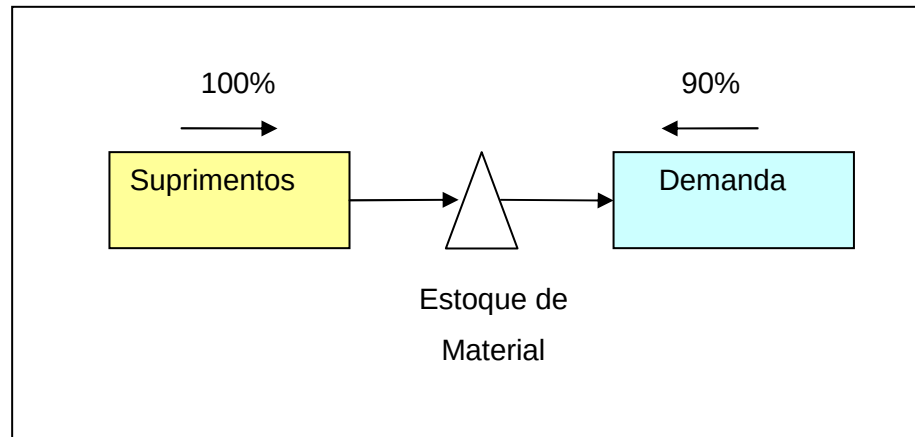


Figura 2. 4: Demanda x Suprimentos. Cenário 2

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

2.4.3. Terceiro cenário - Suprimento e Demanda Variáveis

Em muitos sistemas de produção a demanda e o suprimento são variáveis e apresentam confiabilidade menor que 100%. O efeito combinado neste caso é o que chamamos de *work-in-process* (WIP = estoque de materiais), tão grande quanto o atraso e a incerteza das entregas dos suprimentos. Isto representa aumento de custo e tempo (perda de trabalho e tempo na procura dos materiais, custo no gerenciamento do estoque), e também redução da qualidade e segurança (espaço usado para estocagem de material bloqueia o fluxo colocando em risco a qualidade do produto e a segurança).

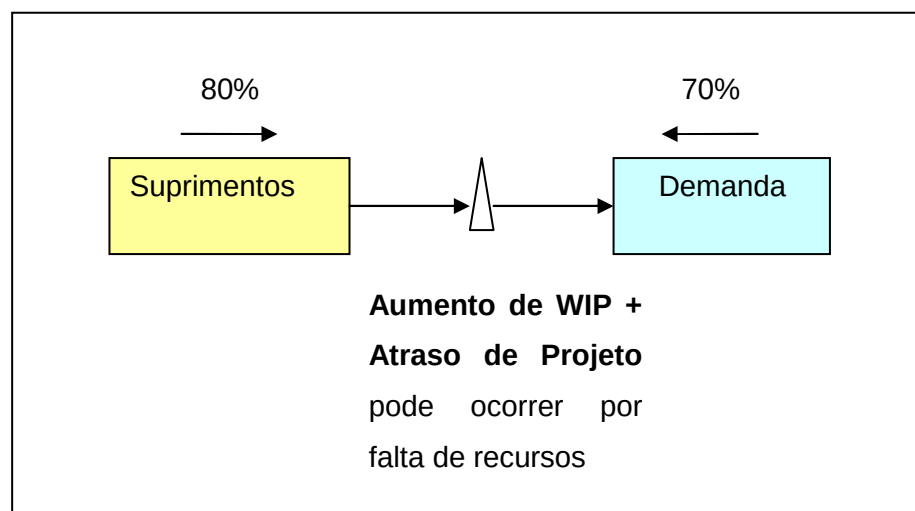


Figura 2. 5: Demanda x Suprimentos. Cenário 3

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

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.

Hopp e Spearman (2000) descrevem as Leis para Operações de Montagem e afirmam que o desempenho da operação de montagem é prejudicada pelo aumento dos seguintes fatores:

- 1- o número de componentes a serem montados;
- 2- a variabilidade de chegada dos componentes;
- 3- a falta de coordenação entre as chegadas de componentes (*matching problem*).

Na construção, o canteiro pode ser encarado como o local de várias operações de montagem. Muitas delas simultâneas. Esse fato complica o fluxo físico do sistema de produção porque envolvem soluções de diversos problemas. O processo não pode começar até que todos os materiais necessários estejam presentes. O “*matching problem*” aumenta devido à variabilidade de cada sistema de suprimento. Quanto mais complexo a cadeia de suprimentos (diretamente proporcional ao número de sistemas de suprimentos), menor a probabilidade de todos os materiais chegarem na hora certa ou prevista (*just-in-time*).

Para ilustrar este efeito utiliza-se o conceito Merge Bias que é um sistema característico aplicado quando vários fluxos se juntam, e a conclusão de todas as atividades ao longo desses fluxos (ex: entregas) é pré-requisito para começar a próxima atividade.

A presença de inúmeros fluxos dá origem ao “*matching problem*” que em última análise seria a falta de coordenação entre a chegada e a necessidade da chegada entre os diversos componentes da montagem e isto impede o início das atividades em seqüência. Da perspectiva do sistema de suprimentos o “*matching problem*” pode ser entendido como a probabilidade de N suprimentos serem entregues no tempo devido e pode ser calculado como o produto da probabilidade das entregas para cada sistema de suprimento. Assim a probabilidade de sucesso deve ser entendida como o produto das várias probabilidades de cada sistema ($P_{\text{sucesso}} = P_1 \times P_2 \times P_3 \dots \times P_n$).

A Figura 2. 6 representa os N diferentes sistemas de suprimentos com tempos alvo de entrega e a separação dos sistemas de suprimentos por tipo de material sugerido por Arbulu e Ballard (2004).

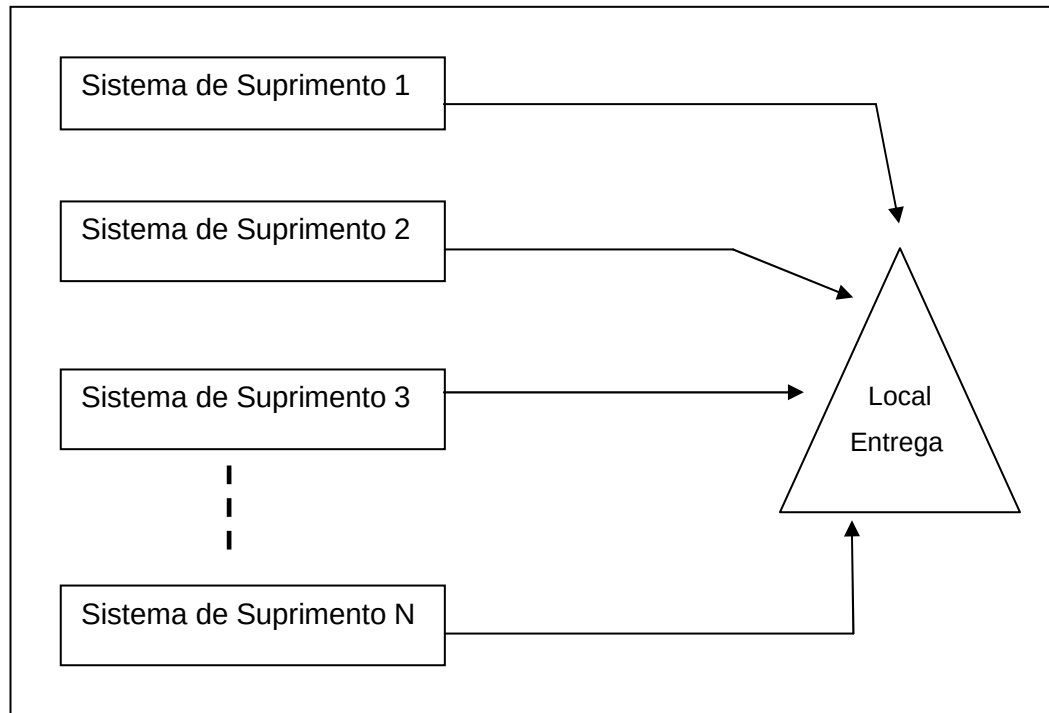


Figura 2. 6: O “*matching problem*”

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

Se por exemplo $N = 10$ e a probabilidade do tempo de entrega para cada um dos 10 sistemas de suprimentos é igual a 99%, então a probabilidade da entrega acontecer na data prevista para todos os componentes ou materiais pode ser calculada como $P_{\text{sucesso}} = 0,99^{10} = 90\%$. Isso indica que independentemente da confiança do sistema de suprimento ser 99% (o que é bastante difícil), suas chances de sucesso diminuem para 90% devido a complexidade característica da cadeia de suprimentos para 10 componentes no sistema. Se o número de sistemas for dobrado para 20, a probabilidade de sucesso $P_{\text{sucesso}} = 0,99^{20} = 82\%$. Quanto maior o número de sistemas de suprimento (fornecedores), menor a probabilidade de obter sucesso nos tempos de entrega. A tabela 1 apresenta diferentes cenários para até 20 diferentes sistemas de suprimentos e suas respectivas probabilidades para cumprimento de prazos de entrega de 99%, 95%, 90% e 75%.

Tabela 2. 1: Probabilidade das entregas acontecerem no prazo

# of SS*	P _{sucesso}			
	99%	95%	90%	75%
1	99%	95%	90%	75%
2	98%	90%	81%	56%
3	97%	86%	73%	42%
4	96%	81%	66%	32%
5	95%	77%	59%	24%
6	94%	74%	53%	18%
7	93%	70%	48%	13%
8	92%	66%	43%	10%
9	91%	63%	39%	8%
10	90%	60%	35%	6%
11	89%	57%	31%	4%
12	88%	54%	28%	3%
13	87%	51%	25%	2%
14	86%	49%	23%	2%
15	85%	46%	21%	1%
16	84%	44%	19%	1%
17	83%	42%	17%	1%
18	82%	40%	15%	1%
19	81%	38%	14%	0%
20	80%	36%	12%	0%

(*)SS = Sistema de Suprimento

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

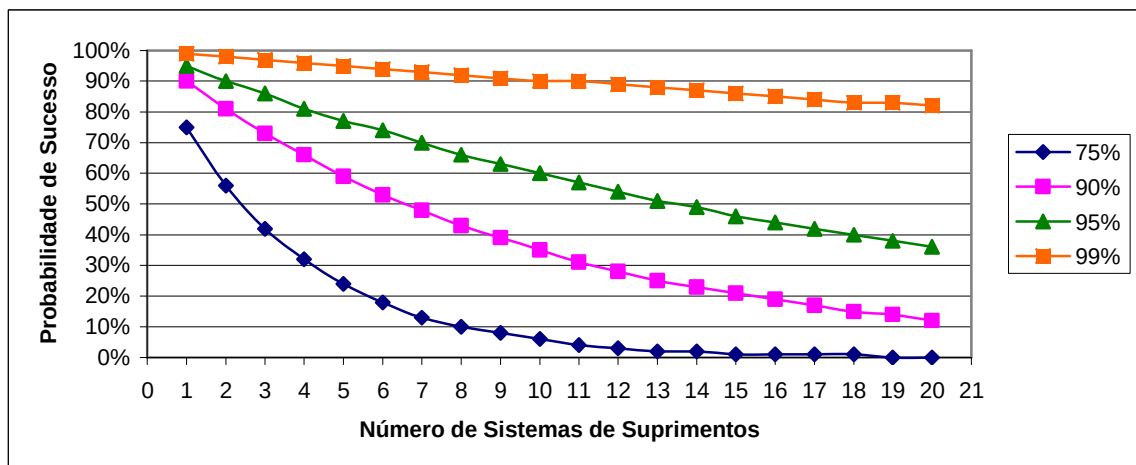


Figura 2. 7: Representação Gráfica – Probabilidade x Entregas no Prazo

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

Pode-se verificar na Tabela 2. 1. que quanto maior o número de sistemas de suprimentos menor a probabilidade de sucesso da entrega acontecer no prazo. Quando a confiabilidade no sistema for 75% a probabilidade de sucesso para 20 diferentes sistemas ou materiais é igual à zero. Esse fato leva à reflexão que, sendo essa a realidade na indústria da construção, como pode-se garantir a entrega dos projetos no prazo? Na opinião dos autores Arbulu e Ballard (2004), primeiro é necessário entender que o “*matching problem*” é real e segundo, eles acreditam, que poucos profissionais da indústria da construção tem entendimento sobre ele. No entanto, intuitivamente, muitas medidas e decisões são tomadas para resolver o grande acúmulo de pendências para término de tarefas, ocasionando a criação de considerável quantidade de desperdício (perdas). Isso tem representado importantes consequências no desempenho dos projetos devido a:

- a- Tempo e custo vão aumentar devido ao trabalho necessário para gerenciar a logística e inventários de estoque;
- b- A qualidade e a segurança vão ser reduzidas devido a perdas por estocagem e manuseio de materiais, revisão de programações ou mesmo troca de especificações principalmente se feitas de última hora.

2.5. Proposta para Sistemas de Suprimentos *Lean*

Num sistema enxuto é necessário definir uma estratégia dinâmica cujo foco seja realizar as trocas de informações e a entrega dos materiais dentro do prazo pelo menor custo e pelo maior valor para o cliente.

Na opinião de Arbulu e Ballard (2004), para montar um fluxo de informações e suprimentos eficiente e dentro do pensamento enxuto é necessário proceder à implementação de algumas estratégias:

1. O *Last Planner Control* (LPS), poderá ser utilizado como uma ferramenta de controle da produção e redução da variabilidade da demanda. Não é o que se chama de ferramenta de previsão e planejamento, mas proporciona excelentes resultados quando utilizado em conjunto. Ferramentas de planejamento como mapeamento do processo e cronograma ainda são necessários para um gerenciamento apropriado do fluxo.

2. Manter uma rede de controle da produção com gerenciamento dos produtos. Em construção manuseia-se em geral com três grandes grupos de produtos: (a) produtos de consumo constante – para esses é necessário controle de estoque e índices de consumo; (b) produtos pedidos sob encomenda – requerem tempo de fabricação; (c) produtos sob medida – necessitam de projeto para sua fabricação.
3. O uso de Centros de Logística (LCs) definidos aqui como o local onde materiais oriundos de diferentes sistemas de suprimentos são reunidos e embalados antes de serem entregues.
4. *Kit* dia (para LCs). Os materiais são montados e embalados para instalação no dia seguinte. Útil quando o tamanho e a variabilidade dos materiais envolvidos são dimensionados para montagens rápidas. Normalmente para atender a um dia de trabalho de uma tarefa específica.
5. Entregas baseadas no “puxar”, isto é, de acordo com a necessidade da obra. Os materiais só saem dos LCs para a obra mediante requisição baseada no controle diário da produção via rede. O desperdício é reduzido e o espaço melhor aproveitado.
6. O projeto e a implementação do sistema de suprimento focados no reabastecimento seletivo explorando o uso de pequenas entregas e a técnica de *kanban*. Já Wegelius-Lehtonen e Pahkala (1998), preconizam a padronização de materiais como um tipo de logística de construção.
7. Definir, projetar e implementar a padronização e sistemas pré-montados. As pré-montagens podem ser efetuadas nos LCs. Essa estratégia poderia facilitar e diminuir as apropriações e o número de fluxos reduzindo por sua vez o “*matching problem*”.
8. Minimizar o *lead time* de materiais e inventários. Do ponto de vista da cadeia de suprimentos (KOSKELA, 1992) um *lead time* curto possui vantagens sobre o longo tais como: (1) entrega rápida do produto ou serviço ao cliente, (2) reduz a necessidade de previsões precisas de futuras demandas, (3) diminui a possibilidade de interrupção na cadeia de suprimentos devido a trocas, (4) aumenta a possibilidade e melhora o tempo de interação entre os participantes da cadeia de suprimentos, (5) facilita a sincronização de uma cadeia de suprimento com outra, (6) diminui a possibilidade dos produtos se tornarem obsoletos (ultrapassados).

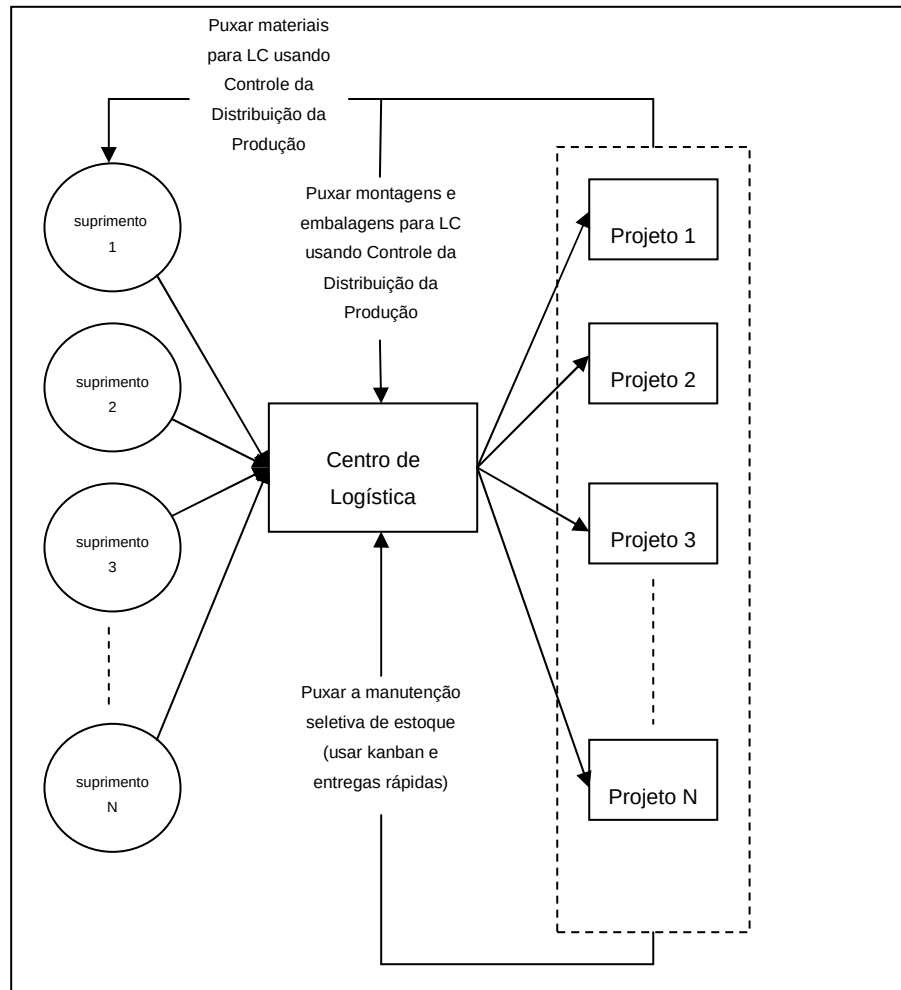


Figura 2. 8: Estratégia para Sistemas de Suprimentos *Lean*

Fonte: Arbulu e Ballard, 2004.

O panorama descrito por Arbulu e Ballard (2004) em seu ensaio sobre “Os Sistemas de Suprimentos *Lean* na Construção” enumera e descreve várias alternativas e possibilidades para a implementação de um sistema de suprimentos coordenado, concebido desde a etapa de projeto. É na fase de concepção do projeto que devemos pensar na padronização de formas, elementos e especificações (FONTANINI e PICCHI, 2005). Mas também deixam claro que esta estratégia de gerenciamento dos sistemas de suprimentos é mais viável e compensadora para contratantes do tipo multiempreendimento.

2.6. O Sistema de Planejamento e Controle da Produção

Buscando um paralelo com o que acontece nos projetos para edificações no Brasil, verifica-se que de um modo geral a preocupação com o balanceamento dos sistemas de suprimento e demanda, só ganha importância quando se pretende obter uma razoável baixa nos índices de custeio do empreendimento. Constata-se tal preocupação principalmente em projetos desenvolvidos para atender a uma demanda por edificações de baixa renda, seja através da criação de conjuntos habitacionais verticais ou de casas. Mas na contramão do ganho de custo por padronização e repetição assistimos a uma razoável perda da qualidade do produto final. Não estendemos a utilização de boa tecnologia aplicada e de controle de qualidade de materiais e serviços, embora a simplificação da cadeia de suprimentos pudesse nos facilitar esse ganho.

2.6.1. O Problema - Equilíbrio entre Fornecimento e Demanda

Ainda na linha de raciocínio dos autores que propõe a criação de centros de logística como possível ferramenta para solução dos problemas de coordenação e balanceamento das demandas x suprimentos, pode-se pensar num modelo de distribuição que se adaptasse ao mercado de construção brasileiro e que levasse em conta as peculiaridades dos processos construtivos habituais. Deste modo é necessário considerar a diversificada lista de insumos características destes processos construtivos, do baixo índice de industrialização por grupo ou células de composição (ex: módulos pré-montados de sanitários, pele de vidro, paredes de gesso acartonado, entre outros), sem esquecer que esses fatores já citados entre outros, estão fortemente sujeitos à imposição do custo e/ou influenciados pela cultura. Mesmo quando se considera essas peculiaridades dos processos construtivos correntes, ainda assim tem-se uma vaga idéia do quão complexo, fracionada e ainda desorganizada é a cadeia de suprimentos da construção civil predial no Brasil.

É possível perceber algumas mudanças no mercado supridor da construção. Observamos nos últimos anos o aparecimento de algumas empresas que a partir da fusão com outras menores, conseguiram estabelecer centros de logística ou de distribuição de grupos de insumos, com o objetivo claro de obter espaço num mercado bastante competitivo. A idéia foi exatamente tentar criar uma nova forma de atendimento à demanda crescente por parte dos construtores de otimizar seus departamentos de compras e de obter menor variabilidade nos prazos de entrega. Mas essa formatação ainda é incipiente no mercado de suprimentos para construção nacional, se comparada com outros mercados, o da indústria automobilística ou têxtil, por exemplo.

Na outra ponta do balanceamento da cadeia de suprimentos encontra-se a demanda, onde o construtor tem controle mais efetivo.

2.6.2. O Controle da Produção

Nos últimos dez anos, foi implementado, não só na indústria da construção, uma profunda mudança no modelo de contratação de mão-de-obra, a chamada terceirização. Com esse sistema, a construção civil pôde finalmente trazer para patamares aceitáveis as perdas por **ociosidade da mão-de-obra**, quer por espera de material ou de equipamentos, um dos itens identificados como desperdício em quase todos os manuais de implementação da qualidade na construção. Vale registrar, que o construtor não ansiava somente por facilidades em termos de mobilidade, flexibilidade e rapidez na gestão dos recursos de mão-de-obra para diminuir ou aumentar seu efetivo com maior agilidade em função do desempenho no cronograma de execução dos serviços. Vez por outra, esses cronogramas corrigidos por força de atrasos sistemáticos nas programações de entregas de materiais e/ou aberturas das frentes de serviço, implicavam na disponibilização (corte) de um grande número de trabalhadores e com ele outro grave e oneroso problema que era o das queixas trabalhistas pós entrega das obras, gerando o chamado passivo trabalhista.

A terceirização dos serviços possibilitou enorme mudança no modelo de organização e planejamento dos processos construtivos, mas também evidenciou a necessidade de maiores investimentos nas áreas de controle e prevenção de acidentes e de qualidade em função da grande rotatividade da mão de obra nos canteiros.

Como o controle da demanda está condicionado a muitos fatores, dentre eles, a liberação das frentes de serviço, deve-se nesse caso considerar um elenco de causas possíveis para o não cumprimento dos cronogramas executivos. A partir dos dados coletados de 51 empreendimentos em estudo realizado pelo NORIE da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foram investigadas e identificadas as principais causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho (BORTOLAZZA et al, 2005). Esses dados foram tratados e apresentados na Figura 2. 9 e na Tabela 2. 2. Esse estudo compreende o desenvolvimento e implementação de um sistema de indicadores de desempenho para *benchmarking* em empresas de construção. Um dos objetivos é o desenvolvimento de um sistema computacional *on line* para o ingresso e disseminação dos dados, incluindo um tutorial para o treinamento. Neste caso as informações são submetidas à mineração de dados que envolve a integração de várias técnicas como aprendizagem de máquina, inteligência artificial, reconhecimento de padrões, estatística e banco de dados, buscando

extrair conceitos e padrões de interesse em grandes bases de dados. A Mineração de Dados refere-se à extração ou “mineração” de conhecimento a partir de grandes quantidades de dados. Essa expressão também é aceita como sinônimo para *Knowledge Discovery in Databases* (KDD).

O sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) *Last Planner* vem sendo implementado em um grande número de empreendimentos e em diversos países (BALLARD; HOWELL, 2003). Segundo Bortolazza et al. (2005), no Brasil, os primeiros estudos de caso envolvendo essa sistemática são de 1996.

Os principais dados coletados que dizem respeito ao sistema PCP *Last Planner* são o Percentual de Planejamento Concluído (PPC) e as causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho, ambos podem ser considerados indicadores de processo.

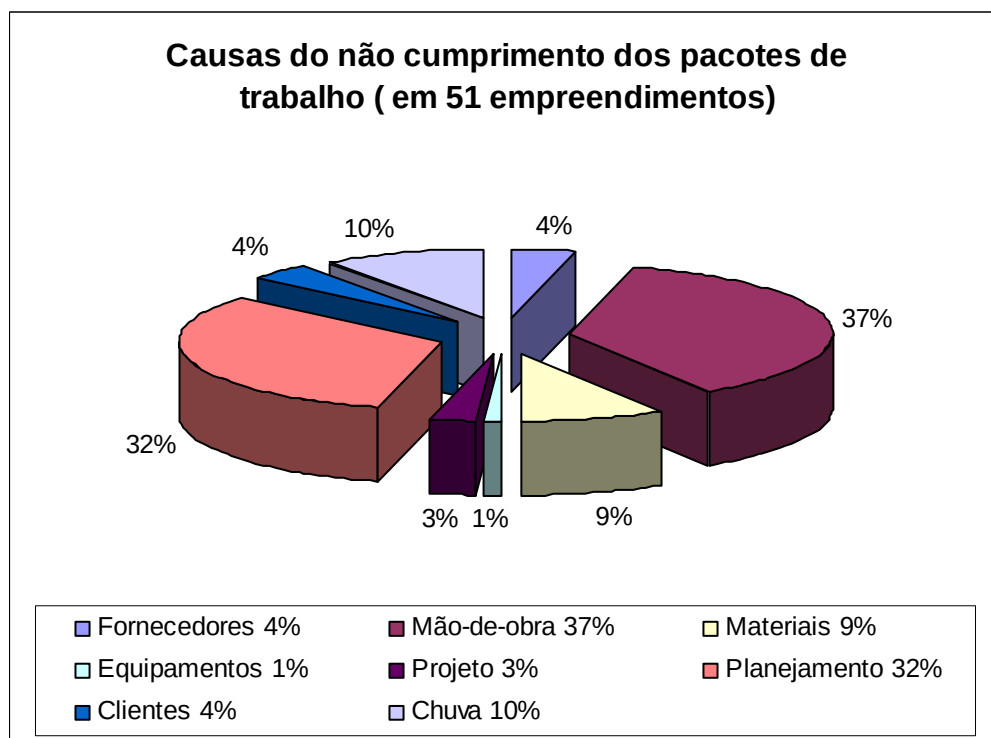


Figura 2. 9: Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho

Fonte: Bortolazza, Costa e Formoso. *Análise Quantitativa da Implementação do Sistema Last Planner no Brasil*, 2005.

Tabela 2. 2: Causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho em 51 empreendimentos relacionado aos setores do mercado

	Todas as obras	Habitações de Interesse Social	Industriais/ Comerciais para clientes Privados	Incorporações Residenciais
Mão-de-obra	37,12%	48,52%	30,61%	41,31%
Materiais	8,63%	7,93%	8,18%	10,16%
Equipamentos	1,30%	0,71%	1,31%	1,76%
Projeto	3,19%	0,12%	3,97%	4,10%
Planejamento	32,28%	24,73%	36,21%	30,27%
Clientes	3,52%	0,00%	6,50%	0,20%
Chuva	9,80%	14,20%	8,79%	8,30%
Fornecedores	4,17%	3,79%	4,44%	3,91%

Fonte: Bortolazza, Costa e Formoso. Análise Quantitativa da Implementação do Sistema *Last Planner* no Brasil, 2005.

Observando-se a Figura 2. 9 e a Tabela 2. 2 é possível identificar nos três setores pesquisados que os problemas mais frequentes estão relacionados em primeiro lugar à mão-de-obra, em segundo vem o planejamento e em terceiro lugar praticamente empatados temos suprimentos e chuva.

É sabido que possuímos um enorme problema no que se refere à mão-de-obra. Essa vem sendo a principal causa apontada em inúmeros estudos e levantamentos de dados da construção civil brasileira e ele está fortemente relacionado ao nível de escolaridade dos operários. A construção civil ainda é a indústria onde acontece o maior número de acidentes fatais. Esse fato também está relacionado ao grau de escolaridade dos operários e só poderá ser minorado após vários anos de sistemática política de massificação do ensino fundamental. Mas com relação ao planejamento, fator com alto índice de desconformidade segundo o levantamento, podemos tecer várias considerações:

a – A indústria da Construção Civil ainda é carente de confiável base de dados quantitativa por setor de mercado;

b – O tempo de concepção e planejamento de um projeto é muito pequeno se comparado ao tempo de execução do mesmo;

c – A falta de política para o setor dificulta investimentos de empresas na criação de sistemas de controle, manutenção, atualização e disponibilização de dados.

O planejamento de um empreendimento é um processo abrangente e complexo que deve necessariamente levar em consideração as implicações multidisciplinares características de cada projeto.

3. Metodologia

Este estudo se apóia numa extensa revisão bibliográfica realizada a partir da leitura de artigos do *Lean Construction Institute*, de congressos, seminários e simpósios nacionais e internacionais, de *papers*, apostilas e dissertações de mestrado publicados e disponibilizados na internet e em livros que exploram a área de interesse. Esse material foi organizado de tal forma que possibilitasse ao leitor uma visão geral da organização de um processo e que a partir dessa generalização fosse mais facilmente inteligível o processo de construção, particularmente o da execução das lajes. Tal estratégia foi concebida para que a partir do conhecimento inicial do todo, o entendimento da parte fluísse naturalmente.

A fundamentação dos procedimentos não está calcada num estudo de caso de alguma obra específica em andamento ou já executada, mas na utilização de todos os recursos e dados disponíveis acumulados através da experiência adquirida ao longo dos anos e na prática da execução de diversas obras pela profissional que desenvolveu esse trabalho e de seu orientador. Apoiados nessa relação teoria/prática, o estudo também teve seu desenvolvimento no sentido de estabelecer uma análise crítica, apontando e reconhecendo as peculiaridades que interferem no processo construtivo.

O material incluído foi selecionado seguindo um critério que nos permitisse apresentar a temática pura e simples de um bom planejamento e ao mesmo tempo contrapor ao que seria usual segundo os autores estudiosos do conceito *Lean* de produção. O principal objetivo foi demonstrar que para se estabelecer o *Lean* na prática, é necessário funcionar segundo alguns condicionantes, sem os quais o sistema fica impedido de utilizar suas principais ferramentas.

No desenvolvimento do trabalho, inicialmente estabeleceu-se sob que condições de contorno seria feita a análise do processo execução das lajes. Estas premissas foram necessárias para que se pudesse lançar mão de argumentos numéricos que fornecessem a devida noção de escala do problema a ser analisado. Alguns condicionantes, imprescindíveis ao planejamento real de um processo construtivo, foram desprezados por que implicariam em restrições e na extrema particularização desse estudo.

Com base em índices de produtividade fornecidos por profissionais da área de montagens metálicas e fichas técnicas de fornecedores de insumos para construção (Anexos

D e E), foram elaboradas as planilhas de Recursos Material e Pessoal (Anexos A e B). Com esses dados tornou-se possível dimensionar os tempos de execução das tarefas envolvidas, organizar uma Rede PERT para realização das atividades, definir o caminho crítico e calcular a probabilidade de ocorrência do evento no tempo estimado (detalhado no Anexo F). Ao estabelecer a relação entre as necessidades de suprimentos e demanda, foi concebida a planilha de organização dessas atividades em frentes simultâneas (Anexo C) e para seu melhor entendimento concebeu-se as figuras (Figura 4. 14 até a Figura 4. 22) esquemáticas da realização do processo “execução das lajes” (1º ao 4º dia - páginas 78 a 86). Todas as atividades foram minuciosamente detalhadas e descritas de tal forma que se pudesse identificar quais seriam as dificuldades e obstáculos ao se tentar utilizar uma organização em fluxo e com frentes simultâneas de serviço.

Importante ressaltar que o mapeamento possui representação diferente da usual por se tratar de processo construtivo, cujo arranjo das atividades é seqüencial. Essa nova forma nos pareceu mais adequada que as demais típicas de uma linha de produção. Neste caso, o fluxo deve então ser analisado a partir da faixa central que representa a atividade que está sendo desenvolvida na plataforma de trabalho por retângulos na cor cinza com identificação numérica que obedece a ordem de execução. Acima desses, aparece em vermelho as atividades desde a saída da fábrica do fornecedor até o local da obra e as atividades de canteiro como recebimento de material, descarga, estocagem e movimentação horizontal (na maior parte atividades que aparentemente “não agregam valor”, mas são indispensáveis). Abaixo deles aparecem em verde os retângulos das subatividades executadas na plataforma de serviço (na maior parte “atividades que agregam valor”). A linha preta em traço contínuo que parte da atividade principal do pavimento é ligada ao retângulo da atividade içamento (roxo) e indica que os materiais utilizados nesses serviços necessitam de içamento (movimentação vertical) até o pavimento onde será efetivamente utilizado. O retângulo laranja representa as atividades paralelas (secundárias) e os azuis os equipamentos (também secundários). Constam apenas por preciosismo, para lembrar que são secundários, mas existem e algum operário deve estar apto a efetuá-las. O retângulo da atividade principal que estiver diretamente ligado à plataforma de serviço (à direita), indica que não há utilização de equipamento de içamento (por exemplo, o concreto chega ao pavimento por bombeamento).

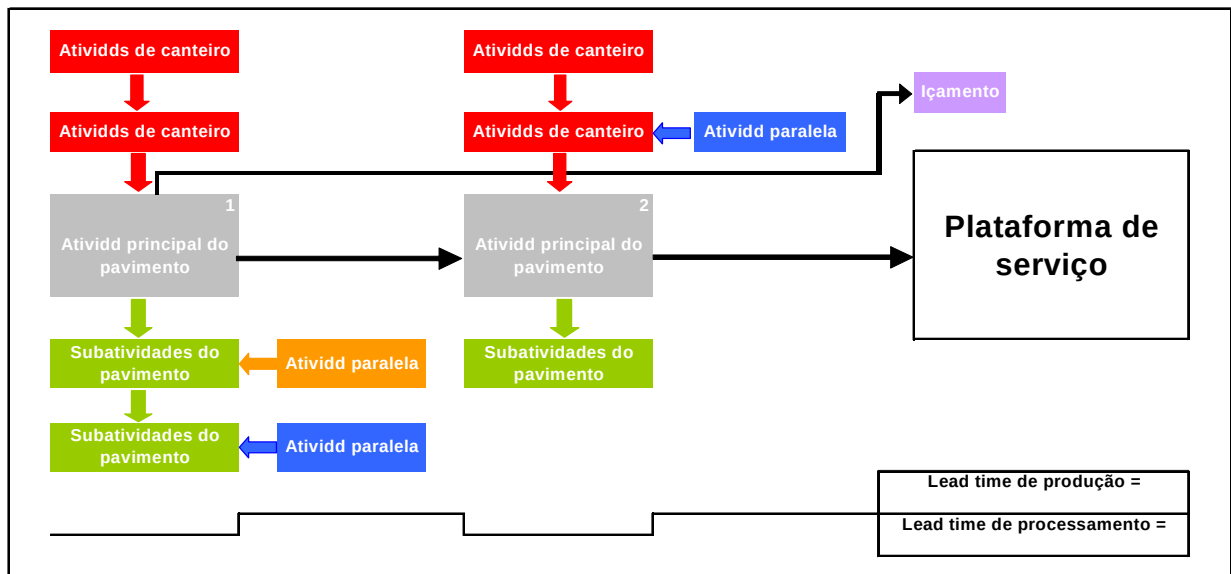


Figura 3. 1: Representação do fluxo

O próximo passo foi efetuar uma simulação em Excel (descritivo no Anexo G) onde constatou-se, através das combinações de confiabilidade de ocorrência dos eventos (das três atividades SD, A e C), a produtividade do conjunto. Os resultados obtidos após cada atualização da simulação foram traduzidos na forma de gráficos de produtividade. Para facilitar a visualização das performances de cada atividade ao longo do tempo, suas interdependências e ao mesmo tempo os atrasos ocasionados pelas diferentes produtividades, foram construídos dois eixos verticais. O da esquerda representa a quantidade de pavimentos executados e o da direita o atraso ou a defasagem entre as atividades (SD/A e A/C) em número de pavimentos. Esses dois eixos verticais se relacionam ao eixo horizontal que representa a linha do tempo.

Eles foram analisados e propiciaram uma razoável forma de avaliar tendências de comportamento e os resultados obtidos entre as combinações mostraram em que condições de organização em fluxo o processo funcionaria sob a ótica e os conceitos *Lean*.

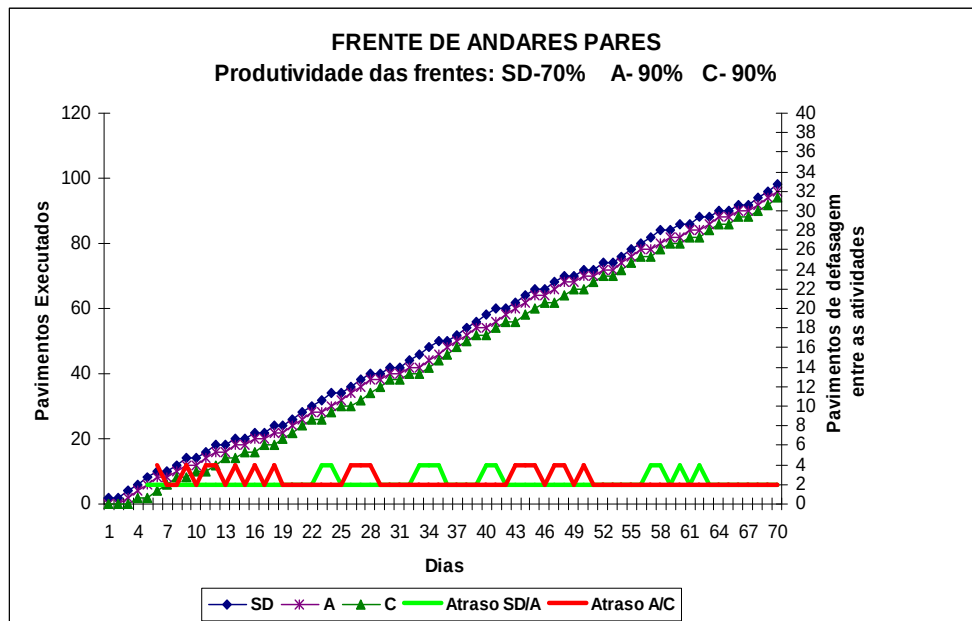


Figura 3. 2: Exemplo de gráfico

Por fim o fluxo foi examinado como um problema de filas de espera (descritivo no Anexo H) onde a atividade que está sendo executada é o servidor da atividade sucessora acumulando andares prontos à espera da próxima atividade. Os dados foram organizados sob a forma de quadros que dão origem aos gráficos para comparação de diferentes performances de atividades subseqüentes (por exemplo, SD/A e A/C).

O desenvolvimento da pesquisa adotou um sequenciamento que atendessem à estratégia de mostrar o problema, inicialmente de forma convencional e tradicional com a utilização do já consagrado PERT. A seguir lançando uma nova proposta, a utilização do Excel. Ferramenta também consagrada em construção, mas pouco utilizada para simulações de estratégias de planejamento. Por último o problema foi submetido à teoria das filas. A Figura 3. 3 mostra o esquema de montagem do experimento.

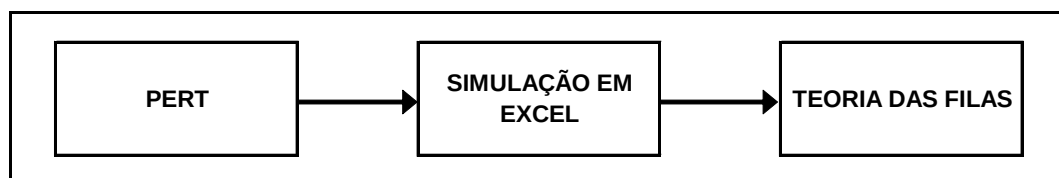


Figura 3. 3: Esquema da montagem do experimento

4. Planejamento Detalhado do Processo – Execução das Lajes

Neste estudo particularmente, consideramos que a montagem da estrutura metálica (pilares e vigas) será executada na frente das lajes com tantos andares de vantagem quanto sejam necessários a garantir o perfeito fluxo da tarefa concretagem das lajes. Isto é, só haverá atraso nessa tarefa a partir de alguma descontinuidade dentro da própria.



Figura 4. 1: Foto do esqueleto metálico do Ed. Alfacon, São Paulo

Fonte: CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

4.1. Entender o Processo – Organizar as Tarefas

Ao conceber um planejamento para execução de determinado serviço é necessário listar detalhadamente todas as etapas de execução da tarefa (HENDRICKSON, 2003). Analisar as alternativas, as tecnologias e métodos de construção mais adequados ao projeto. Por exemplo, a decisão sobre como transportar o concreto até a laje, com baldes bicas içados por grua ou por bombeamento. Examinar de que forma essa escolha pode interferir no custo.

Quanto mais detalhado for, mais realista. Essa é a oportunidade de verificar e assinalar as possibilidades de eventuais imprevistos acontecerem e corrigir o percurso.

Na seqüência do fluxo das atividades de transformação de uma construção, antes da concretagem das lajes propriamente dita, será feito ainda a montagem do *Steel Deck*. A seguir será executada a armação negativa e contra fissuração com telas soldadas e por último a execução do concreto. A primeira etapa dessa análise é proposta com o mapeamento do fluxo de valor desse processo.

Como visto anteriormente “Fluxo de Valor” é toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais:

- O fluxo de produção, da matéria-prima até a entrega ao consumidor;
- O fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento.

No caso estudado não há referência aos dados de uma obra específica realizada por uma empresa e sim a elaboração de um mapa de estado futuro ou ideal a partir de premissas estabelecidas apenas com o objetivo de facilitar a visualização e o entendimento das planilhas. Pretende-se assim, descrever de forma realista os problemas e dificuldades encontradas no processo de desenvolvimento dos planos de implantação dos sistemas enxutos em construção.

São três os fluxos da manufatura: os fluxos de materiais, de informações e de pessoas/processos. Este estudo está centrado no Fluxo de materiais e Pessoas/Processos.

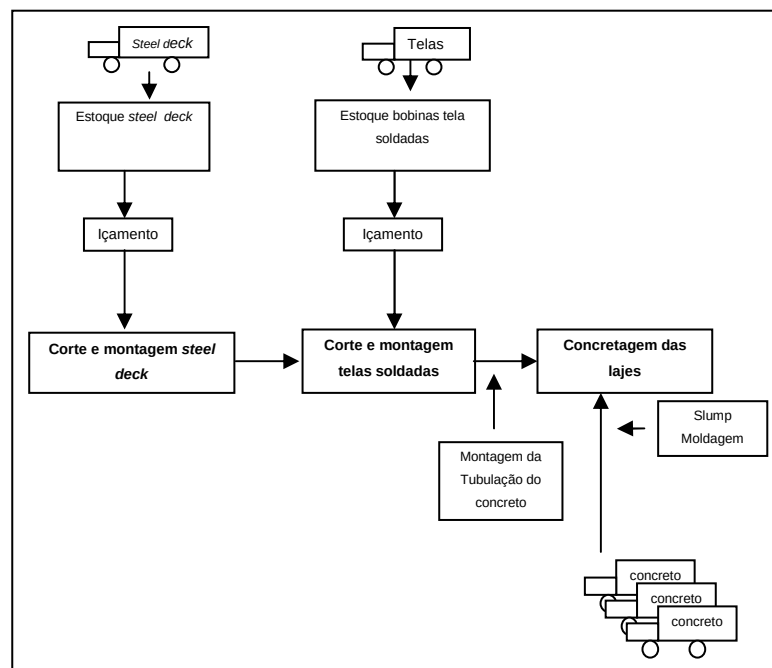


Figura 4. 2: Fluxo da atividade Concretagem das Lajes

4.1.1. Mapeando o Fluxo de Valor da Atividade “Concretagem das Lajes”.

O modelo de processo da construção sugere que o mesmo consiste em um fluxo de materiais, desde a matéria prima até o produto final, sendo constituído por atividades de transporte, espera, processamento e inspeção.

A concretagem das lajes é uma atividade que envolve a aquisição e o manuseio de três grandes insumos: o *steel deck*, a armação e o concreto.

Para a elaboração da matriz organizacional desse fluxo de serviço é necessário um pré-dimensionamento dos recursos (material e pessoal) que serão movimentados e armazenados no canteiro como mostra a planilha “Pré-dimensionamento de recursos” material e pessoal no Anexo A e Anexo B respectivamente. Essas planilhas dão origem ao Mapa do Tempo de Ciclo (T/C) ou *lead time* da concretagem.

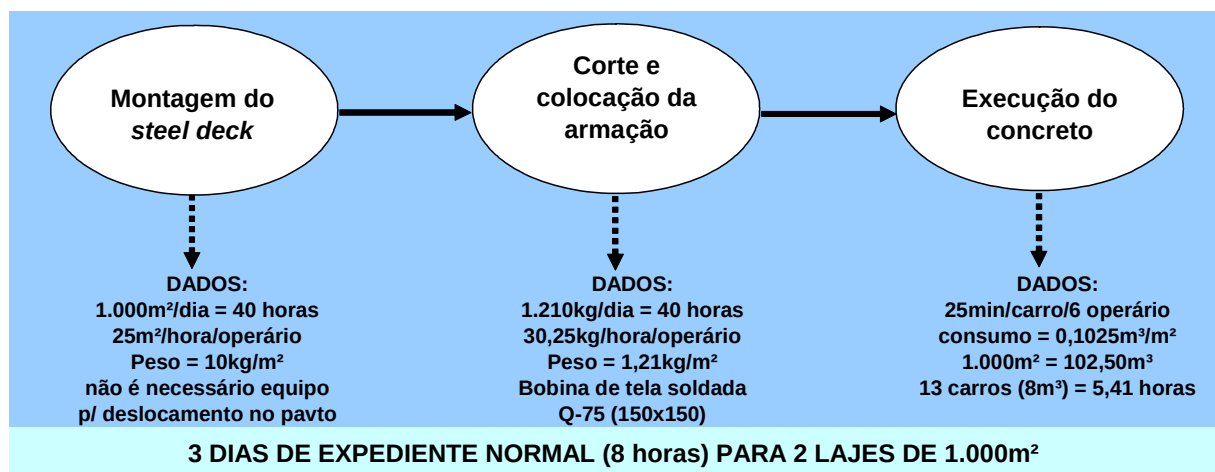


Figura 4. 3: Mapa do Tempo de Ciclo (T/C) para SD, A e C

Este plano de trabalho apresenta a princípio as seguintes vantagens:

- Duas equipes de cinco operários para executar tanto o *steel deck* (SD) como a armação (A) que trabalham ininterruptamente, não havendo necessidade de remanejamento da mão-de-obra devido a não interrupção do fluxo da tarefa por falta de frente de serviço e também pela especificidade dos profissionais envolvidos.
- Duas equipes de seis operários para concretagem (C) em duas frentes de serviço simultâneas. Cada equipe ficará responsável pelo recebimento do concreto, liberação da carga para bombeamento e lançamento de duas metades de cada uma

das duas lajes, operando em função da altura final da edificação, com sistema estacionário e duas prumadas de tubulação para bombeamento.

- c) A concretagem em dias alternados possibilita a movimentação na obra de outros materiais. As equipes da concretagem trabalham alternando a tarefa de concretagem (C) e preparo da mesma como fechamentos laterais, caixas de passagem, acréscimo das tubulações do concreto entre outras tarefas.
- d) Equipe de *steel/ deck* com um andar de vantagem para dar proteção (segurança) aos operários de montagem de armadura e concretagem contra queda de materiais ou ferramentas na projeção da área de trabalho.

O arranjo (organização) das equipes e equipamentos de movimentação horizontal e vertical determinarão o tempo necessário para conclusão de cada etapa. Assim podemos, de forma esquemática, numa primeira simulação, representar o fluxo dos serviços envolvidos ao longo do tempo como mostra o Anexo C onde o eixo vertical representa o número de pavimentos ou repetição da atividade. O eixo horizontal representa o tempo para execução da tarefa expresso em dias.

Para visualização da matriz de ordenação esquemática da atividade “execução das lajes”, foi considerada laje planejada como se não houvesse perda por movimentação vertical. Foram desconsideradas paradas para manutenção preventiva ou corretiva de equipamentos nem falta de operários (ver Anexo A).

O processo de planejamento do canteiro visa obter a melhor utilização do espaço físico disponível, de forma a possibilitar que homens e máquinas trabalhem com segurança e eficiência. A programação e o planejamento visam determinar os recursos necessários ao bom andamento e realização do processo eliminando trabalho em horas extras, os gargalos, desperdícios de pessoal e material, espera por disponibilidade de equipamentos e as mais diferentes formas de desperdício (HENDRICKSON, 2003). A técnica mais usada para conceber esse planejamento é o *Critical Path Method* (CPM) muitas vezes também chamado de *Critical Path Scheduling*. Esse método calcula o tempo mínimo necessário para concluir atividades, possibilitando planejar as datas de início e término das mesmas. Definindo a seqüência de execução ou o predecessor/sucessor de cada atividade teremos o tempo necessário para completar o processo. Qualquer perda na conclusão de uma tarefa representa tempo adicional necessário à execução da atividade planejada.

Podemos formular a partir da lista predecessor/sucessor o diagrama de flechas do processo “execução das lajes” como mostra a Figura 4. 4.

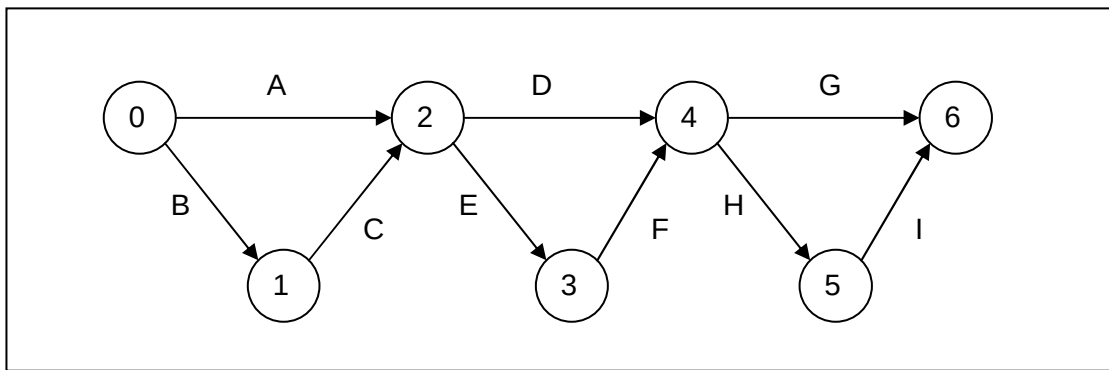


Figura 4. 4: Diagrama de Flechas do processo Execução das Lajes.

Onde os nós representam o início e o término das tarefas. **A** representa a tarefa montagem do *steel deck* (SD) executada entre o nó **0** início da tarefa e nó **2** término da tarefa. A tarefa **B** representa os cortes e soldas do SD e **C** a tarefa de fechamentos laterais de SD. Note que **B** e **C** são executados simultaneamente com **A**. **D** representa a tarefa de montagem da armação (A) executada entre o nó **2** início da tarefa e o nó **4** término da tarefa. A tarefa **E** representa a colocação dos espaçadores e **F** a tarefa de solda das telas. **E** e **F** são executados simultaneamente a **D**. **G** representa a tarefa concretagem (C) executada entre o nó **4** início da tarefa e o nó **6** término da tarefa. **H** representa a montagem da tubulação e **I** representa o lançamento do concreto.

4.1.2. Descrição das Tarefas – Montagem do *Steel deck* e Montagem da Armação



Figura 4. 5: Foto de obra em montagem de *steel deck*

Fonte: *Site Estrutura Metálica*

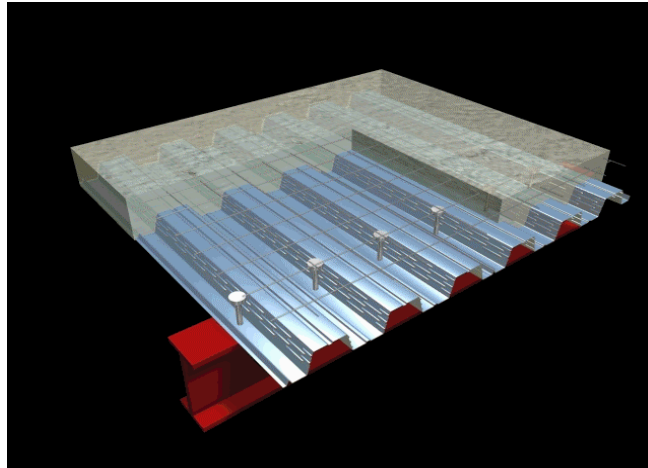


Figura 4. 6: Corte transversal de uma seção com *steel deck*

Fonte: Met-Form

O primeiro passo no planejamento de uma tarefa é verificar o volume do material que será processado e definir o número de trabalhadores necessários para realizar tal tarefa e atingir um determinado tempo alvo. Pode-se então imaginar as telhas de *steel deck* como filas esperando para serem içadas ao pavimento por um equipamento (servidor) para então ser processada. No preenchimento da planilha de recursos materiais deve-se verificar se é possível, sem prejuízo ou perda de produtividade, dimensionar o tamanho das peças para que seja feita a distribuição dos lotes no andar sem utilização de maquinário. Assim pode-se estabelecer, por exemplo, um peso limite de 50 kg para cada peça de *steel deck* (o equivalente a um saco de cimento). Esse cuidado simplifica a execução da tarefa de manuseio das peças de *steel deck* por duplas de operários. Efetuando os cálculos e tomando como base os dados técnicos de um fabricante (Met-Form) chega-se ao tamanho ideal da peça igual ou menor a 6,67m. Esse tamanho poderá ainda ser ajustado ao projeto de estrutura para que todas as emendas de peças caiam sobre vigas. Dividindo-se a extensão longitudinal e transversal da plataforma de trabalho pelo comprimento e largura de uma peça de SD respectivamente, encontra-se a quantidade de seis lotes com trinta e uma peças de SD, totalizando 186 peças a serem distribuídos por pavimento. O equipamento para realização desse içamento pode perfeitamente ser um guincho de coluna elétrico ou um guincho do tipo *chicago boom* para pavimentos mais elevados, entretanto a produtividade desse equipamento não é significativa no cálculo dos tempos de ciclo porque essa atividade pode e deve ser antecipada à execução da montagem nos pavimentos (atividade paralela).



Figura 4. 7: Guincho de coluna

Fonte: Engemac

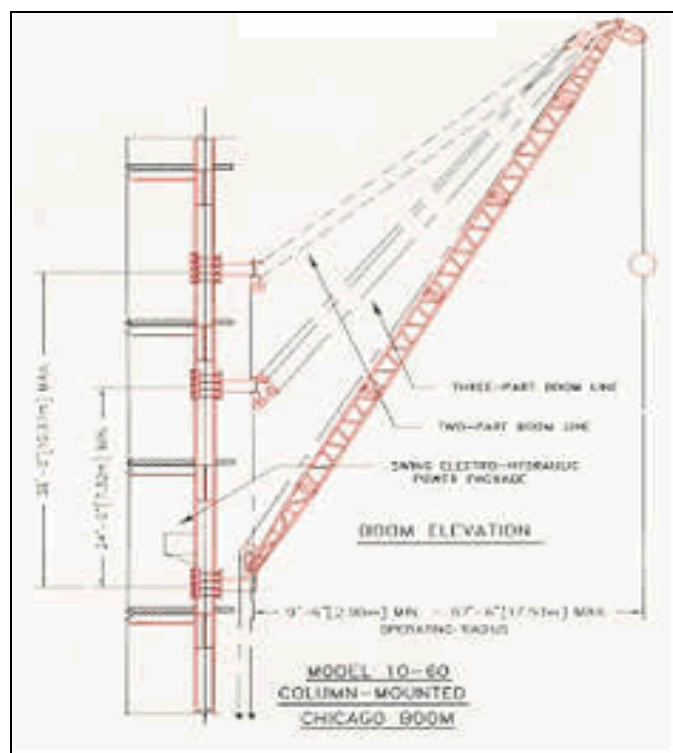


Figura 4. 8: Guincho de coluna do tipo *chicago boom*

Fonte: USA Hoist

Para otimizar ainda mais o tempo da equipe de montagem e diminuir o deslocamento horizontal, pode-se dispor seis lotes com 16 peças de SD numa lateral e seis lotes com 15 peças de SD na outra lateral da plataforma de trabalho. Essa providência elimina a

necessidade de guinchos elétricos ou talhas para distribuição no pavimento deixando o teto livre para preparo das condições da concretagem.

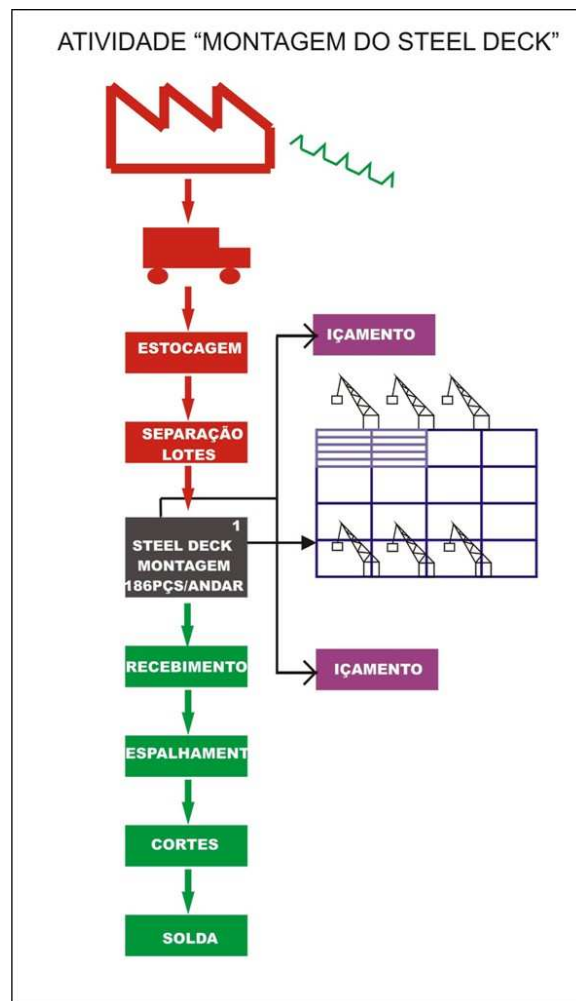


Figura 4. 9: Fluxo da atividade montagem do *steel deck*

De acordo com o pré-dimensionamento dos recursos de mão-de-obra (Anexo B), ficou estabelecida a necessidade de se alocar duas equipes de cinco operários cada, para executar no tempo alvo de um dia por pavimento, a distribuição, cortes e solda das peças de *steel deck*.

Voltando à planilha de pré-dimensionamento de recursos materiais, verificamos que a tela soldada especificada é fornecida apenas em rolos e nas dimensões de 2,45 x 120,00m pesando 335,70kg. Calculando a quantidade de tela necessária para um pavimento e descontadas as perdas para transpasse, chega-se a quantidade de quatro rolos por pavimento.

Para montagem da A, as bobinas serão içadas e distribuídas nas bordas da plataforma de serviço no mesmo sentido que foi usado para o SD, de tal forma que as

bobinas possam ser roladas e estiradas por sobre as telhas de SD. Ao completar a extensão da laje a tela será cortada a frio com tesoura de cortar ferro, a bobina reposicionada para dar transpasse e tudo se repete até que toda laje receba armadura. Enquanto a tela vai sendo distribuída pela laje, um operário acompanha ponteando desta vez com arame a tela soldada na região do transpasse e fixando os espaçadores para garantir o recobrimento e o posicionamento correto da armadura.

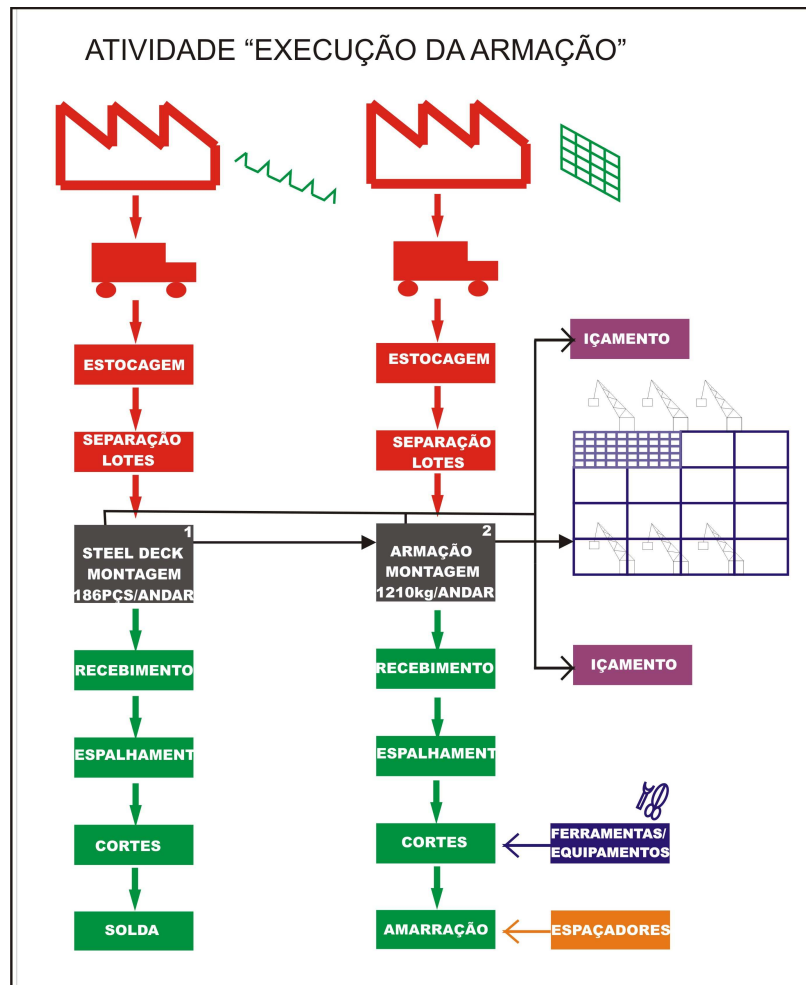


Figura 4. 10: Fluxo cumulativo até a atividade montagem da armação

4.1.3. Descrição da Tarefa – Concretagem

Através do pré-dimensionamento do recurso material (Anexo A) verifica-se que será necessário a descarga de treze caminhões com oito metros cúbicos por pavimento para preenchimento das lajes. Por se tratar de tecnologia amplamente desenvolvida no Brasil será considerado a utilização do sistema de concretagem com bomba estacionária e uso de

concreto dosado de modo a apresentar características de fluidez que o permita ser bombeado.

No pré-dimensionamento do recurso pessoal (Anexo B) verifica-se a necessidade de duas equipes de seis operários cada, para concluir no tempo alvo de 1 dia a concretagem de dois pavimentos. Ao se perseguir esse tempo estimado, pode-se obter espaço para movimentação de carga no canteiro em dias alternados (ver Anexo C).

Com o intuito de evitar o trabalho com grandes extensões de mangueiras, a plataforma de trabalho será dividida em duas, transformando-se em dois tabuleiros de 12,50 x 20,00m. As prumadas da tubulação do concreto deverão ser alocadas o mais próximo possível do centro para que a terminação ou tromba flexível possa ficar eqüidistante das bordas da laje. Cada pavimento será concretado simultaneamente nas duas frentes de serviço, iniciando-se a descarga pela região por onde será retirado o maquinário e o pessoal, para que o concreto já se encontre endurecido o suficiente para não deformar.

Cada equipe de concretagem possui um profissional encarregado responsável pelo recebimento do caminhão, pela conferência do lacre e exame inicial do concreto. Este profissional acompanha a execução do *slump test*, autoriza ou não a correção do traço na obra (adição de água), e libera o bombeamento. Ele também indica quando será colhido material para execução dos ensaios de resistência (aproximadamente na metade do balão do caminhão betoneira). Neste caso será formada uma única fila de caminhões para descarga. Tão logo seja liberado, o caminhão se move em direção a bomba disponível. Essa operação se repete até que os 13 caminhões sejam descarregados e que se paralise o bombeamento para acréscimo da tubulação equivalente a mais um pavimento. Na laje, dois ajudantes trabalham operando a ponta da mangueira do concreto direcionando a descarga, outros dois ficam encarregados de operar os mangotes de vibradores executando o adensamento (esta tarefa poderá ser excluída, caso se trabalhe com concreto auto adensável) e verificando o posicionamento do nível a laser. Os dois profissionais pedreiros trabalham no espalhamento e acabamento do concreto.

As equipes devem controlar a velocidade de descarga de modo que, enquanto uma equipe efetua o acréscimo da tubulação, a outra ainda continue bombeando. Isso diminuirá o tempo de espera do concreto dentro da tubulação, evitando entupimentos e operações de desmontagem ou desobstrução completa da tubulação, tornando desnecessário nova lubrificação da rede com injeção de nata de cimento. Essa operação deve ser evitada a todo custo por ser onerosa tanto por perda material como operacional.

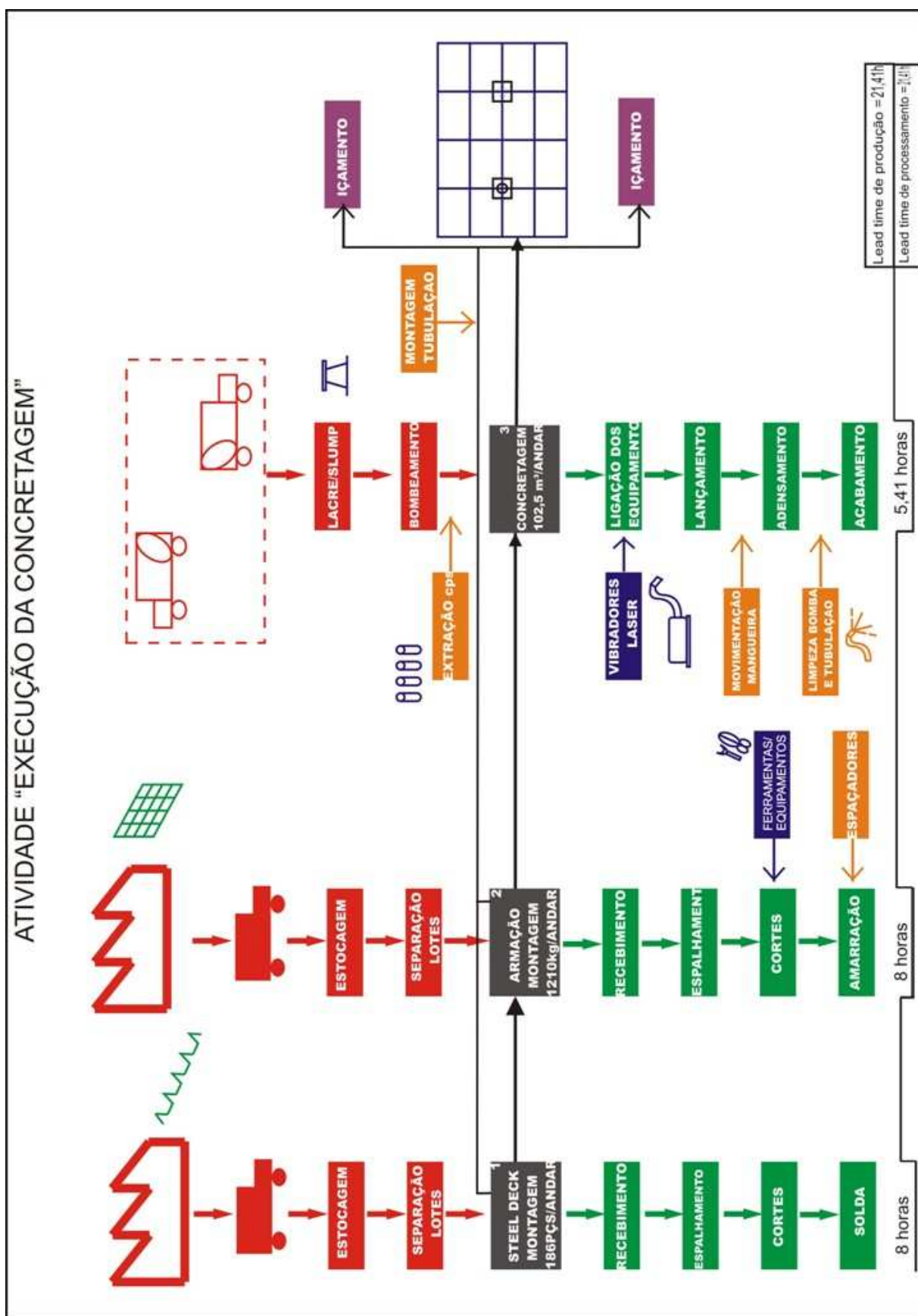


Figura 4. 11: Fluxo cumulativo até a atividade concretagem

O tempo de descarga de cada caminhão, em condições normais, é de aproximadamente 25 min. O acréscimo de tempo gerado pelo aumento da distância vertical à medida que as concretagens são executadas, é parcialmente compensado pela correção do traço do concreto tanto pela alteração dos agregados como pela utilização de aditivos retardadores ou plastificantes.

Uma das maiores dificuldades identificadas na execução dessa tarefa é a operação da parte flexível da tubulação de concreto ou tromba. A tubulação de borracha reforçada é fixada ao trecho metálico por intermédio de braçadeiras também metálicas. No momento da concretagem o conjunto todo se torna muito pesado e de difícil manuseio devido à pressão de descarga imprimida pela bomba à massa de concreto empurrando-a para cima (chicote da bomba). Normalmente uma dupla de funcionários se ocupa da sustentação e movimentação da mangueira. Dependendo da extensão poderá ser necessário mais duplas para sustentação e movimentação.



Figura 4. 12: Foto da execução da concretagem de uma laje

Pode-se concluir ao observar o Anexo C e a descrição detalhada da tarefa concretagem, que ela representa a parte mais artesanal e, portanto a de maior dificuldade e incerteza do ciclo. Como a sua execução implica em uma movimentação no canteiro de

vários veículos no mesmo dia, portando material com tempo de validade reduzido (algumas horas), é imperativo o rigor no planejamento e controle dessa tarefa, quer por treinamento da mão-de-obra seja na disponibilização de recursos e equipamentos.

O tempo de execução dessa tarefa define o ritmo de execução das demais (SD e A) e a mão-de-obra foi dimensionada para atender a demanda interna do fluxo. Verifica-se também que mesmo utilizando índices de produtividade fornecidos por outras empresas na execução de tarefas semelhantes, é necessário corrigir sistematicamente os tempos de processamento, aumentando o número de operários envolvidos na execução da tarefa SD e A, mas enfrenta-se sérias limitações na concretagem. Algumas delas são:

- A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) exige controle tecnológico efetivo do concreto tanto do fabricante, ainda na usina, como do construtor no canteiro de obras. Isso se deve principalmente tanto ao fato do concreto ter suas características de resistência comprometidas no processo de mistura dos componentes como pelo tempo ou processo de lançamento.
- O tempo de descarga **mínimo** através da bomba não será alterado em função da eficiência da equipe de lançamento. Ele é função estrita da capacidade de operação do equipamento (bomba), mas a ineficiência da equipe pode retardar o tempo de processamento e até mesmo comprometer a performance do produto.
- As concreteiras trabalham com agendamento antecipado quando se trata da utilização de seus equipamentos, qualquer mudança de última hora causará enorme transtorno.
- Não deve ser programado outras entregas nos dias de concretagem. Dependendo das características e localização do canteiro, as bombas e a fila de caminhões aguardando descarga impedirão qualquer outra manobra no canteiro.

Assim o resultado obtido foi 37 dias efetivos de trabalho para conclusão do ciclo do processo execução das lajes (ver Anexo C).

4.1.4. Considerações Sobre Medidas de Proteção e Segurança

Durante o planejamento da execução das tarefas, ainda que considerado perda inevitável, é necessário considerar a adoção de medidas preventivas de segurança

(Rousselet e Falcão, 1999). Para Gitahy Júnior e Farias Filho (sd), além da obrigatoriedade do planejamento, a NR-18/1995 estabelece regras para o dimensionamento do canteiro de obras, regulamentação das quantidades, dimensões e posicionamento dos setores que favorecem ao trabalho mais seguro. Estes fatores também concorrem para a obtenção da produtividade esperada.

Proteções internas são dispositivos instalados para evitar queda em níveis inferiores ao piso onde se encontram os trabalhadores. Ao colocarmos duas equipes trabalhando em andares subsequentes e ainda sem laje, devemos considerar o risco de queda de ferramentas ou materiais na projeção da área (plataforma) de trabalho, podendo causar sérios acidentes. Para atender à NR-18/1995 (Norma Regulamentadora – 18), é necessário a adoção de **Medidas de Proteção contra Quedas de Altura**. Embora possam ser caracterizadas como perda (atividade que não agrega valor) na análise do fluxo do processo, as atividades relacionadas a montagens de dispositivos de segurança ou treinamento de pessoal são imposições inevitáveis e essenciais à eficiência global podendo ser consideradas dentro (parte) do tempo de medidas de manutenção preventiva.

Uma alternativa para o problema de segurança em relação às atividades de montagem da estrutura que segue adiantado em relação à atividade de concretagem das lajes é utilizar o recurso de montagem de telas de segurança.



Figura 4. 13: Foto 1 de um canteiro de Obras em Kioto – Japão

Fonte: Fundacentro –Rio

Equacionado o problema da queda de ferramentas, materiais ou mesmo pessoas do processo de montagem da estrutura metálica, ainda é necessário solucionar o problema de quedas na execução das lajes. Como recurso de segurança para execução da atividade “concretagem das lajes” adotou-se a montagem de um andar de *steel deck* de vantagem. Para isso, inicialmente, serão executados três pavimentos de SD como mostra o Anexo C.

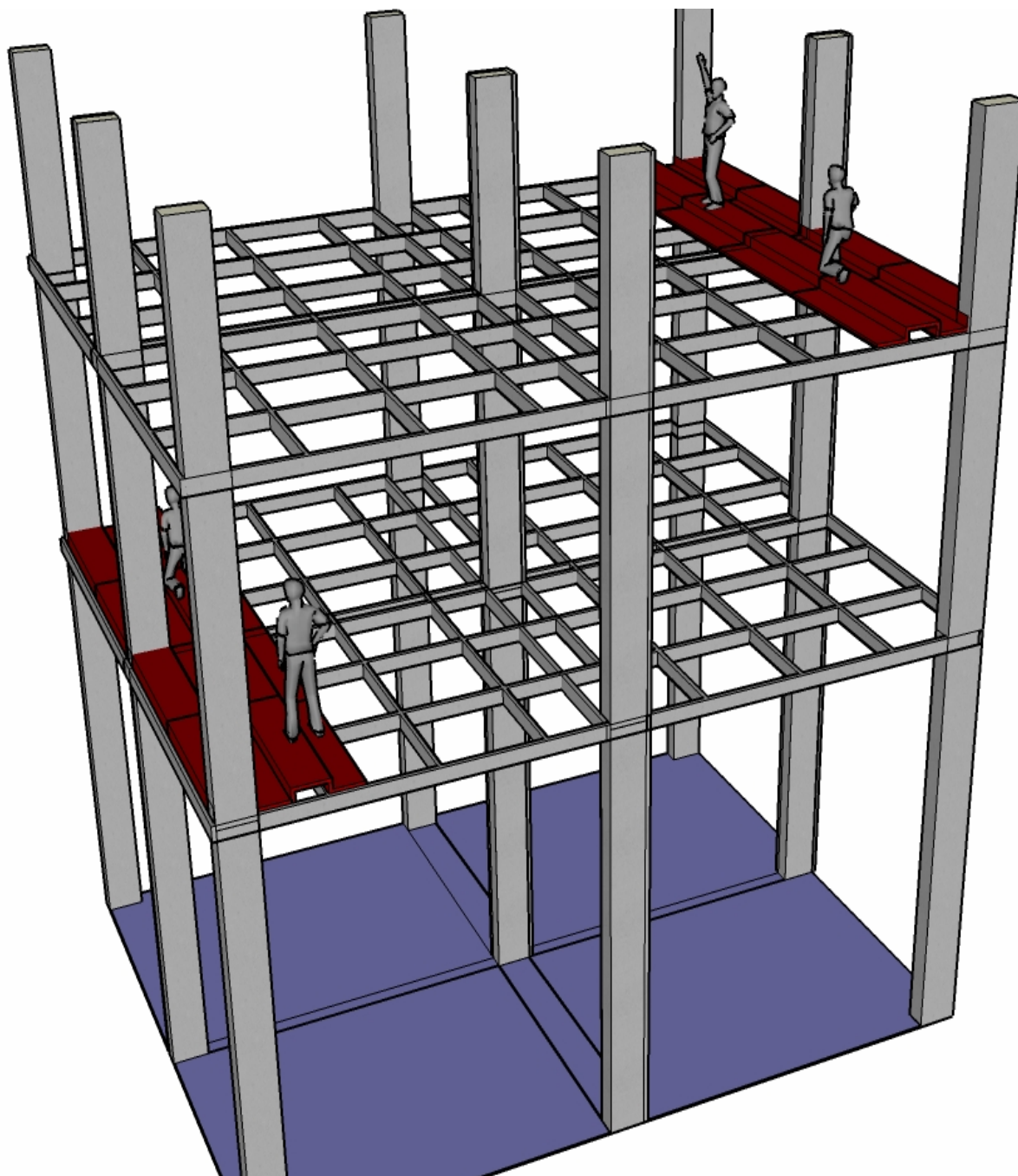


Figura 4. 14: Desenho esquemático 1º dia (início)

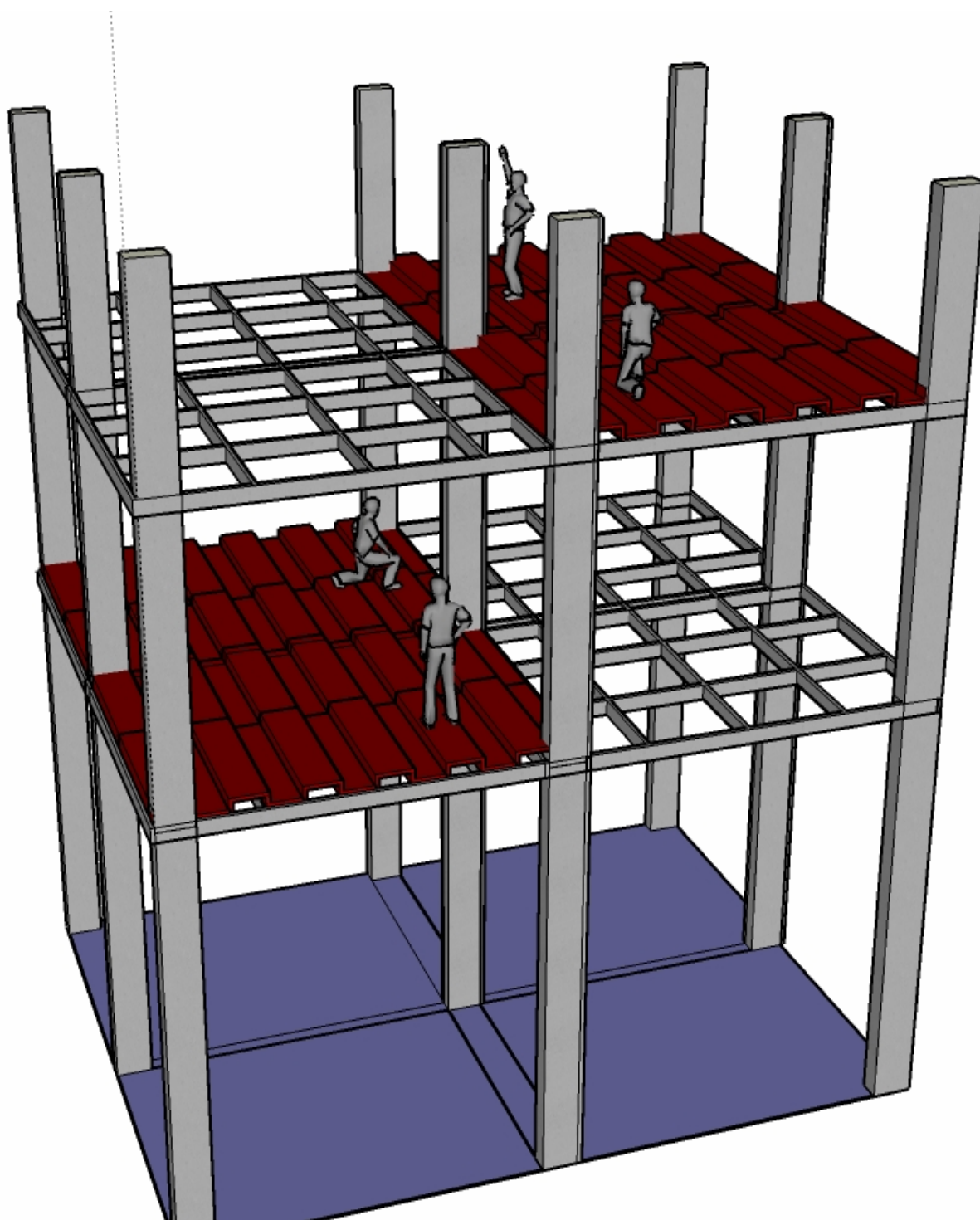


Figura 4. 15: Desenho esquemático 1º dia (meio dia)

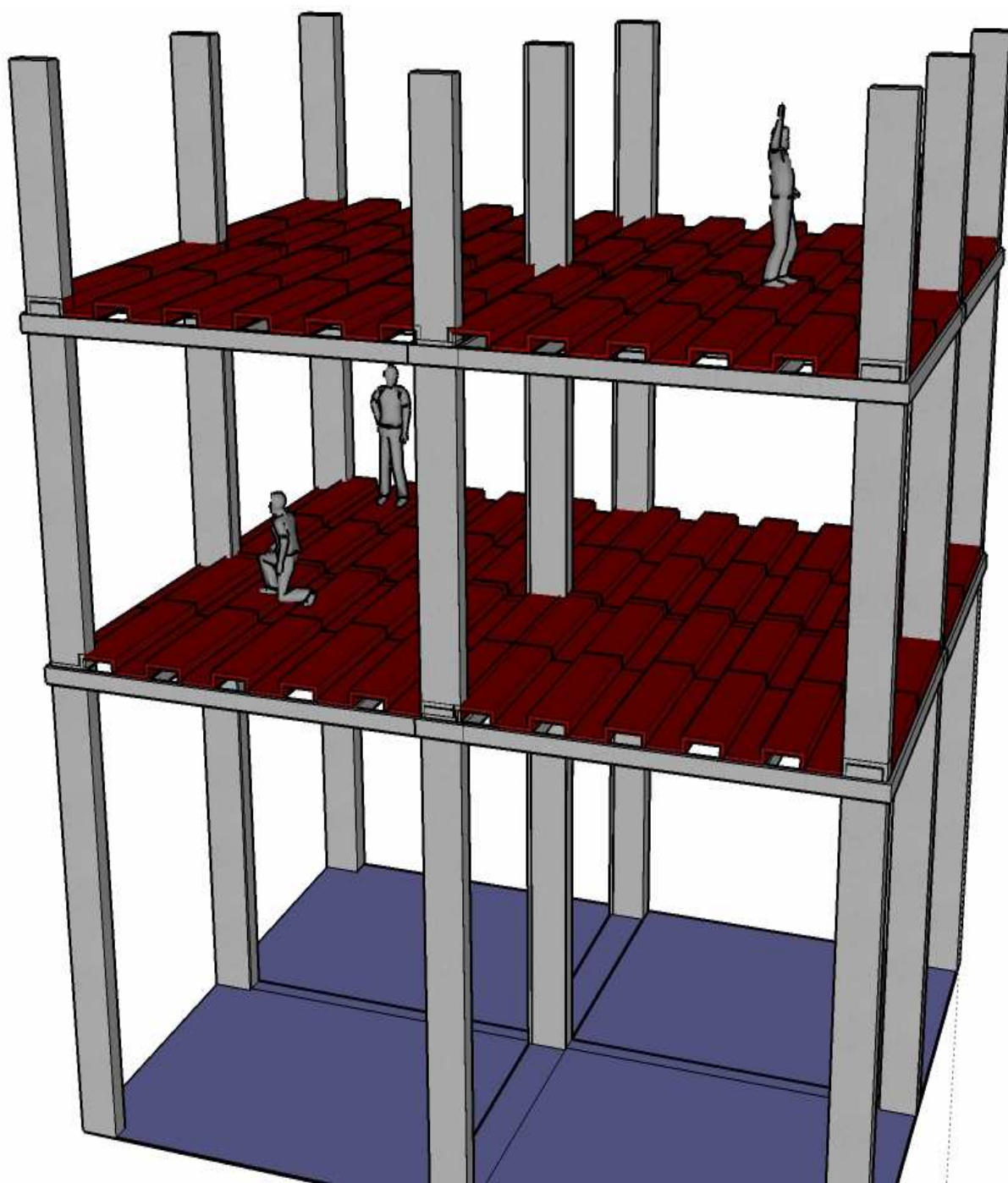


Figura 4. 16: Desenho esquemático 1º dia (término)

No 1º dia, uma equipe em cada pavimento, os dois primeiros serão executados com as equipes posicionadas em extremidades opostas, de tal forma que os operários somente se cruzem por poucos instantes no centro da plataforma de trabalho.

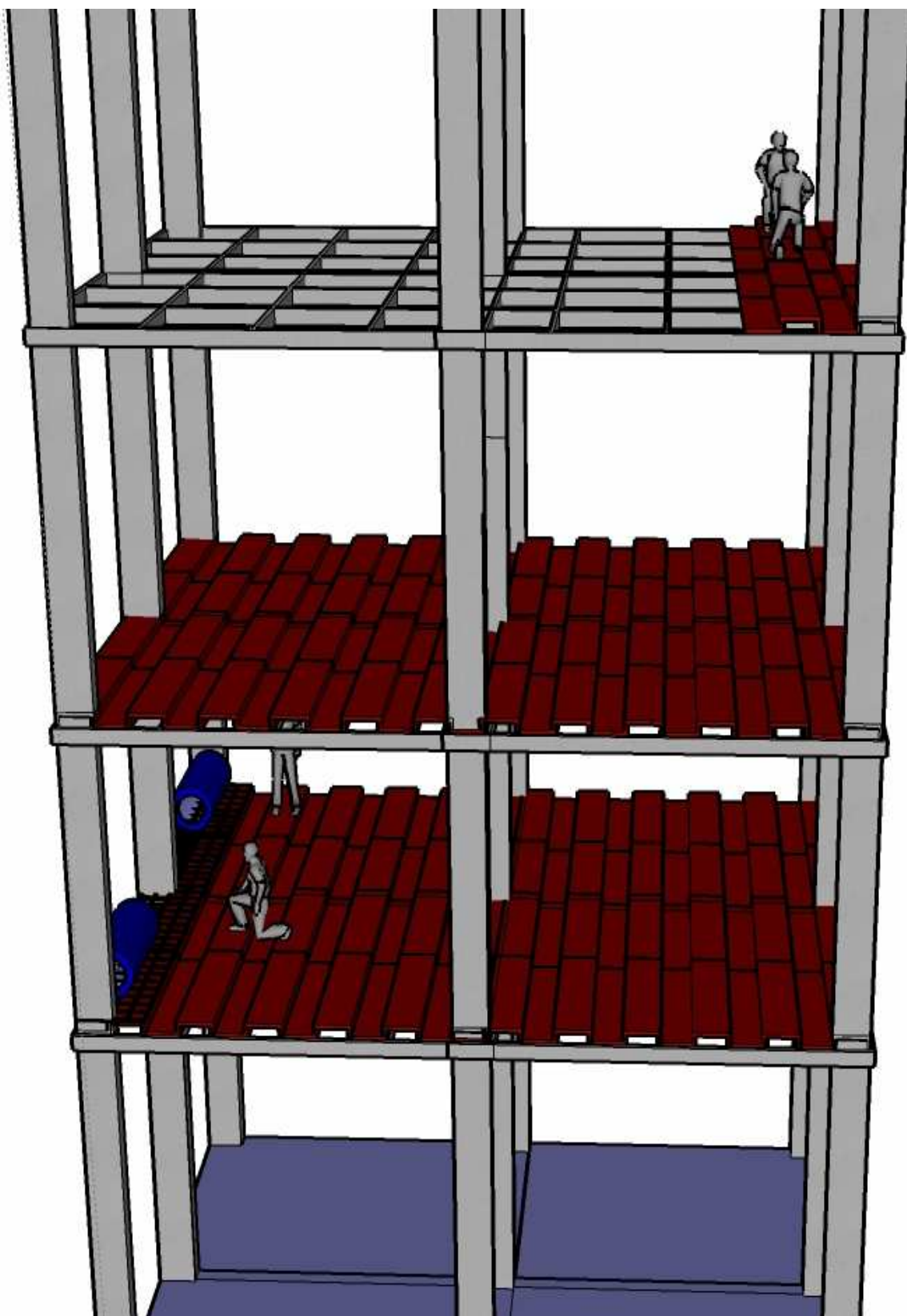


Figura 4. 17: Desenho esquemático 2º dia (início)

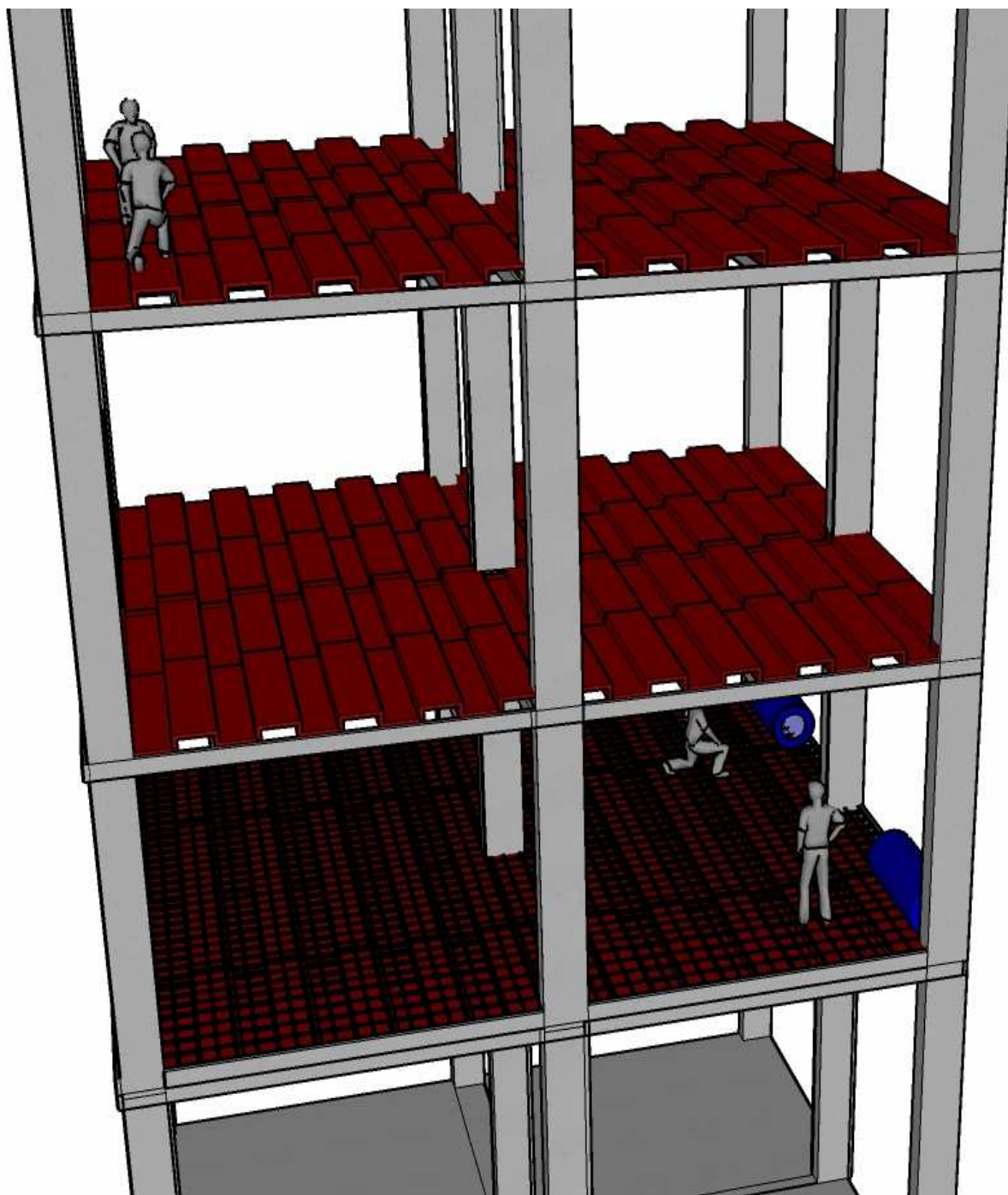


Figura 4. 18: Desenho esquemático 2º dia (término)

No 2º dia, uma equipe executará A no 1º pavimento e a outra o SD no 3º, tendo como proteção entre eles o 2º pavimento com SD já pronto.

No 3º dia uma equipe executará A no 2º pavimento e SD no 4º pavimento. As equipes de concreto estarão executando a montagem das tubulações de concreto, fechamentos e outras tarefas no 1º e 2º pavimentos.

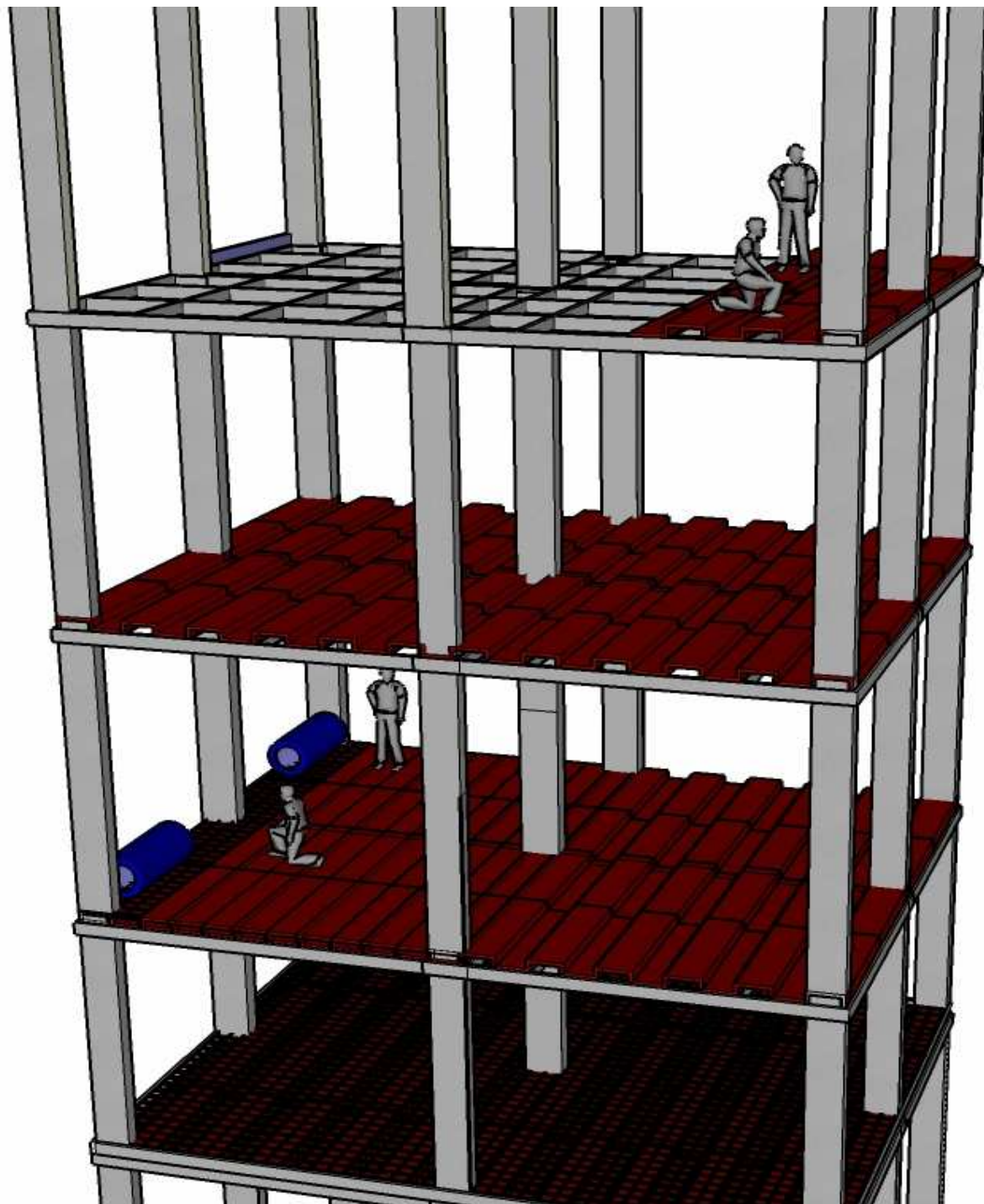


Figura 4. 19: Desenho esquemático 3º dia (início)

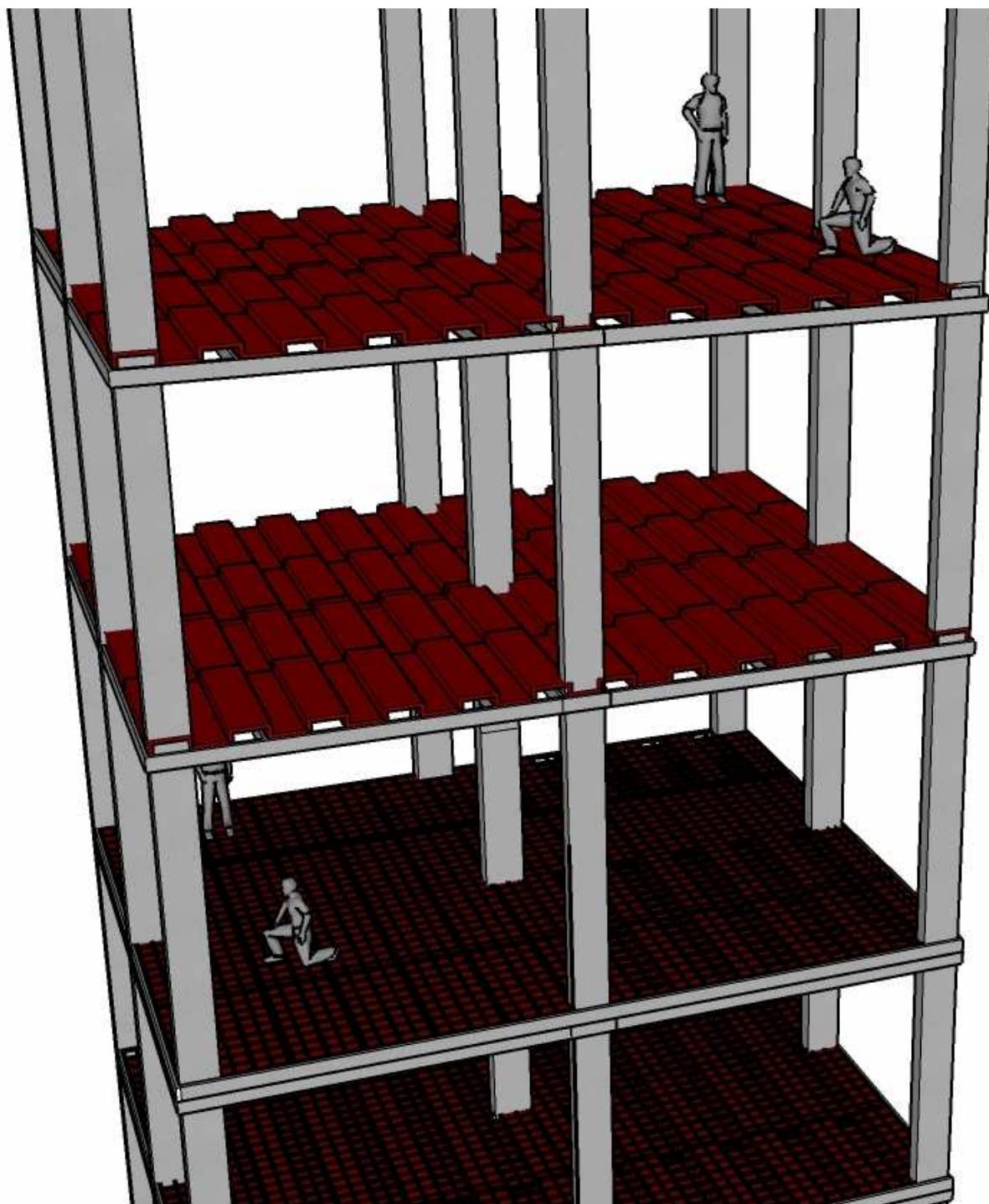


Figura 4. 20: Desenho esquemático 3º dia (término)

No 4º dia começa a concretagem do 1º e 2º pavimentos enquanto é montado o SD no 5º e A no 3º tendo o 4º pavimento como proteção e assim sucessivamente (ver Anexo C).

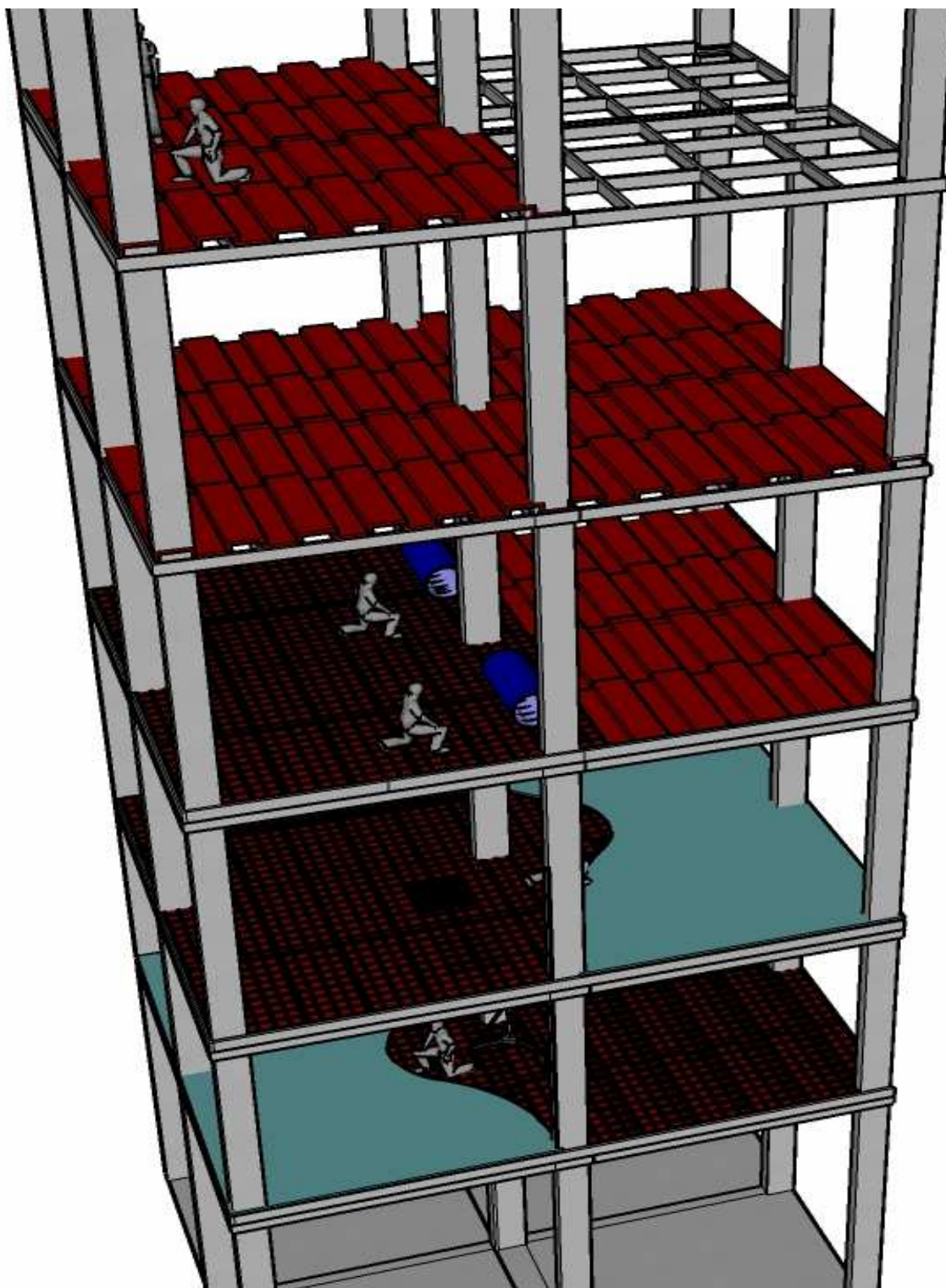


Figura 4. 21: Desenho esquemático 4º dia (início)



Figura 4. 22: Desenho esquemático 4º dia (término)

Nos dias de montagem, as pilhas de SD serão içadas e divididas em lotes nas bordas da plataforma de serviço para distribuição sobre as vigas metálicas de apoio. Os vãos foram devidamente dimensionados para que as peças de *steel deck* suportem seu próprio peso, o concreto e a movimentação dos operários e equipamentos, sem necessidade de escoramentos. Nos vãos estruturalmente maiores onde seria necessário escoramento, foram previstas vigotas metálicas (transversinas) em substituição ao escoramento vertical para facilitar e dar mais velocidade à execução da concretagem. Cada equipe de montagem de SD e A será composta por quatro montadores e um soldador. Os montadores trabalham em duplas, segurando as peças de SD pelas extremidades e efetuando a distribuição ao longo das vigas de apoio. O soldador acompanha a distribuição das duas duplas de montadores, efetuando os cortes à maçarico necessários a facilitar os encaixes com outras peças estruturais como vigas ou pilares e pontecendo com solda as peças de *steel deck* nas vigas para que o conjunto não se desloque com a movimentação dos operários, evitando acidentes.



Figura 4. 23: Foto 2 de um canteiro de Obras em Kioto – Japão

Fonte: Fundacentro - Rio

4.2. Organizando a execução das tarefas utilizando uma Rede PERT

Uma rede PERT proposta para controle e planejamento deste projeto teria a configuração da Figura 4. 24 e sua concepção detalhada pode ser verificada no Anexo F.

O Caminho Crítico foi identificado a partir do cálculo de todos os caminhos a percorrer do projeto. O Caminho Crítico é aquele com tempo mais longo e, portanto possui folga igual à zero.

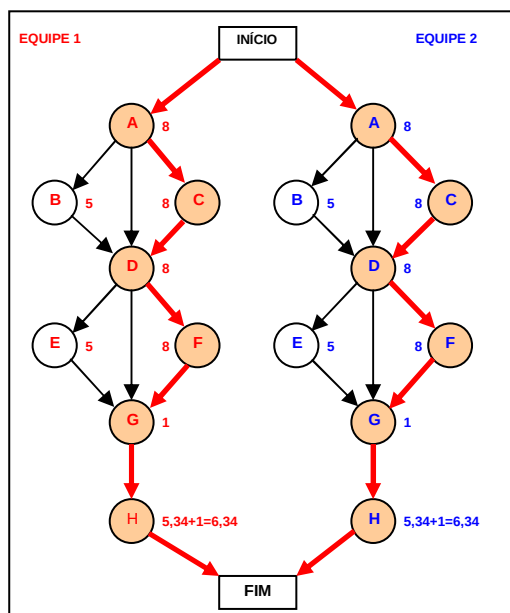


Figura 4. 24: PERT com Caminho Crítico

OBS: Esse diagrama foi concebido para representar um trecho do projeto de construção.

4.2.1. Variabilidade da Duração de um Projeto

Em uma rede PERT sabemos que as atividades experimentam certa variabilidade em sua duração, a qual é assumida segundo uma distribuição beta. A duração de uma tarefa, portanto, pode sofrer influência dessa variabilidade, variando também entre certos limites. Essa variabilidade das atividades é particularmente importante para aquelas que compõem o caminho crítico, mas essa importância pode se estender a outras atividades (ex:

se determinada atividade começar muito tarde, ela pode passar a fazer parte de um novo Caminho Crítico).

Analisando a variabilidade da duração de uma atividade apenas com base no Caminho Crítico, assume-se:

- a- A duração esperada de uma tarefa (ou seja, sua duração média) é a soma das durações esperadas das atividades que compõem o Caminho Crítico;
- b- A variância da duração de uma tarefa é a soma das variâncias das atividades que compõem o Caminho Crítico;
- c- A duração da tarefa distribui-se segundo uma normal, hipótese essa que é tanto mais razoável quanto maior for o número de atividades que compõem o Caminho Crítico.

Utilizando a tabela dos valores da distribuição normal padrão (média = 0 e variância = 1), a probabilidade de completar o projeto em d unidades de tempo é:

$$P(T \leq d) = P(Z \leq k_\alpha) = 1 - P(Z > k_\alpha) \quad (4.1)$$

Então qual é a probabilidade do processo de execução das lajes ser completado em 37 dias, como planejado?

Para este prazo alvo de execução ser alcançado é necessário que o tempo de execução parcial (duas lajes por etapa de concretagem) seja efetuado em $d = 39,34$ horas. O Anexo F mostra que a probabilidade de terminar a etapa parcial em 39,34 horas é de 0,82 isto é 82%. Para não perder o prazo isto é manter o tempo do ciclo dentro das margens planejadas, vários fatores devem ser levados em conta, e a ordem de importância deverá ser diferenciada em função da região, do tipo de construção, do processo construtivo e do custo entre outros.

4.2.2.Fatores que Influenciam a Variabilidade da Duração de um Projeto

Em função da caracterização de uma construção, a ordem dos fatores que influenciam o não cumprimento dos pacotes de trabalho poderá ser substancialmente modificada. O estudo de alternativas para racionalização do tempo, da mão-de-obra e

do aproveitamento dos materiais e equipamentos é indispensável quando se imagina uma construção nos moldes do pensamento *Lean*. Não obstante deverão estar presentes em qualquer gestão de processo eficiente, sendo ela *Lean*, em maior ou menor grau. Estudos mostram que para manter controle efetivo do fluxo e o cumprimento das metas de planejamento deve-se apontar, dentro do processo, quais itens são representativos. Em estudo recente, o NORIE identificou e mapeou, num grupo de construções, os fatores abaixo relacionados em ordem crescente de importância.

Principais fatores de influência do não cumprimento dos pacotes de trabalho:

1. Mão-de-obra
2. Planejamento
3. Fatores meteorológicos
4. Materiais
5. Fornecedores
6. Clientes
7. Projetos
8. Equipamentos

4.3. Simulação do Arranjo Integrado das Três Tarefas Principais: *Steel deck*, Armação e Concretagem

Através de uma modelagem computacional utilizando as ferramentas do Excel (Anexo G), é possível simular várias probabilidades de ocorrência de um determinado evento e verificar a partir de condicionantes preestabelecidos, quais serão as implicações das diferentes probabilidades de ocorrência, já que o processo construtivo tem como principal característica a interdependência das atividades.

4.3.1. Fatores Condicionantes do Processo Execução das Lajes

Observando o Anexo C pode-se facilmente verificar que a partir do quarto dia de planejamento da execução das lajes as tarefas seguem um arranjo seqüencial e ordenado de tal forma que permita algumas facilidades quer por otimização de espaço do canteiro ou utilização da mão-de-obra e equipamentos. Sendo assim as tarefas de execução do *steel deck* e da armação de dois pavimentos deverão ocorrer no prazo de dois dias para ambas as atividades e a concretagem será feita no terceiro dia, dois pavimentos por vez, caso a confiabilidade de ocorrência destes eventos seja alta. Esta distribuição tem a intenção clara de otimizar a equipe de trabalho de concreto, a liberação do espaço e acesso no canteiro com a alternância dos dias de concretagem. Também acarreta uma diminuição de custo, uma vez que o equipamento bomba da concreteira seria subutilizado para concretagem de apenas um pavimento por vez, o que fatalmente seria repassado ao preço unitário do metro cúbico de concreto.

Ainda no Anexo C pode-se verificar que a execução do *steel deck* deverá ser a mais afetada por fatores meteorológicos. A ocorrência de chuva poderá provocar a paralisação dessa atividade por implicar em grandes riscos de acidentes, já que os operários deverão se movimentar por vigas metálicas estreitas sujeitos a escorregões, ou devido à ocorrência de vento forte em pavimentos mais elevados. A influência deste mesmo fator é minimizada na execução da armação por possuir sempre um andar de *steel deck* montado acima funcionando como proteção, o mesmo acontecendo nos dias da execução da concretagem. Mesmo assim poderá ocorrer a interrupção das atividades em dias de chuva e ou vento muito forte. Este é um fator que ainda não deve ser desprezado no planejamento nessa etapa de construção.

4.3.2.Representação Gráfica da Produtividade em Função da Confiabilidade de Ocorrência do Evento

A representação gráfica constitui recurso eficiente para demonstração da interdependência entre as atividades. A produtividade das frentes de serviço ao longo do tempo, se considerado num intervalo significativo, poderá fornecer as tendências de comportamento e mostrar o “efeito dominó” provocado pelo arranjo seqüencial das atividades quando confrontado com a variabilidade de rendimento de cada tarefa.

4.3.2.1. Representação gráfica para frentes simultâneas

Na Figura 4. 25 pode-se observar que a alta confiabilidade na execução da tarefa armação faz com que a sua execução acompanhe a produtividade da atividade execução do *steel deck* sua antecessora, qualquer que seja a sua performance. Por outro lado a baixa confiabilidade na execução da tarefa concretagem provoca razoável atraso em relação à execução da armação, sua antecessora. A conclusão que se chega é que com essa configuração, tem-se vários andares prontos de *steel deck* e armação aguardando a concretagem, o que certamente caracteriza desperdício como pode ser observado no gráfico da Figura 4. 25. A linha vermelha, que representa o número de pavimentos que o concreto apresenta de defasagem em relação à conclusão da execução da armação, chega a mostrar vinte e dois pavimentos de defasagem entre essas atividades no intervalo de setenta dias contra no máximo quatro pavimentos de defasagem entre a execução de SD e A. As linhas azul, marrom e verde escuro por outro lado, mostram o número de pavimentos executados no intervalo de setenta dias para as atividades *steel deck*, armação e concreto (100, 98 e 74 pavimentos respectivamente).

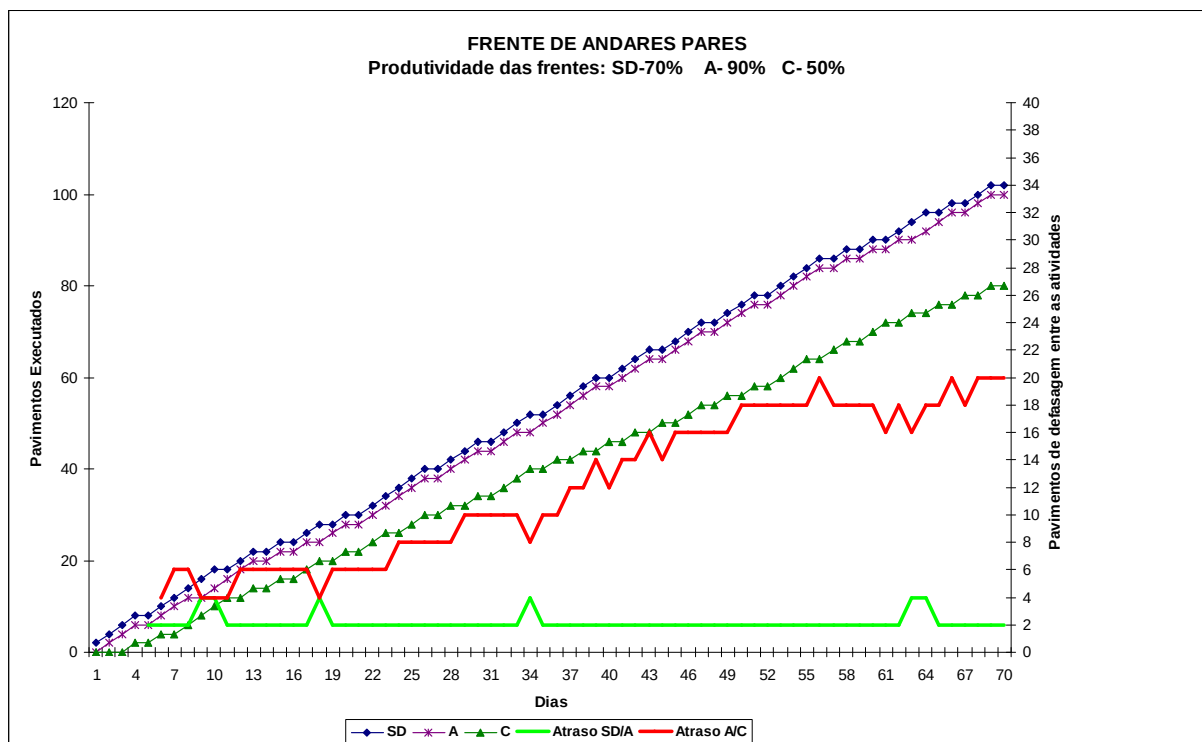


Figura 4. 25: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 50% (frentes simultâneas)

O planejamento de execução das tarefas definido no Anexo C, mostra que em relação às outras, a atividade execução do *steel deck* é a mais vulnerável a atrasos por que

tem, além dos condicionantes comuns: a - variabilidade no fornecimento dos suprimentos; b - performance do equipamento de içamento (se o içamento não for executado antecipadamente) e das equipes de montagem; ela está atrelada ao andamento da montagem da estrutura (nesse estudo não foi considerado para simplificação) e também aos fatores meteorológicos entre outros.

O que acontece quando a confiabilidade da execução da armação é reduzida, pode ser observado no gráfico da Figura 4. 26. O desempenho do *steel deck* não é alterado, mas a confiabilidade da tarefa armação é sensivelmente diminuída. Essa mudança de desempenho da tarefa armação vai comandar o ritmo de execução da concretagem que possui confiabilidade alta, mas está condicionada a sua antecessora. O que se pode verificar é que o desperdício ainda se mantém, pois continuamos com uma frente de serviço em espera. Ele apenas mudou de lugar, agora temos pavimentos prontos de *steel deck* aguardando armação e concretagem. Com essa nova configuração mantém-se o número de pavimentos executados no intervalo de setenta dias de *steel deck* e o de pavimentos armados passa para noventa e dois contra oitenta e oito de pavimentos concretados. O número de pavimentos defasados entre *steel deck* e armação aumenta acumulativamente para doze pavimentos (média) e a defasagem entre armação e concreto é de apenas três (média) pavimentos.

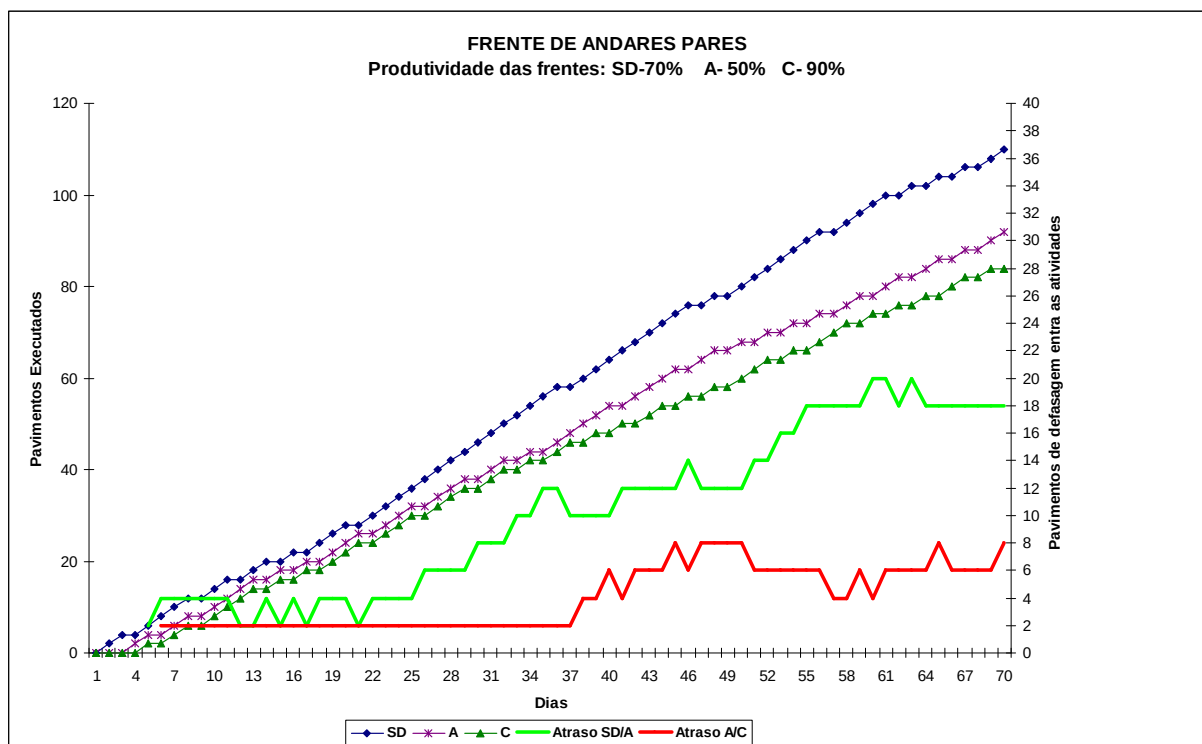


Figura 4. 26: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 50%-C 90% (frentes simultâneas)

Para se obter uma configuração que atenda às premissas estabelecidas no planejamento inicial e manter as frentes simultâneas trabalhando em perfeito fluxo de tal forma a viabilizar a utilização de *kanban*, é necessário efetuar o balanceamento das frentes de serviço. A idéia então é simular diversas combinações de confiabilidade e verificar em que situações se consegue manter bom ritmo no fluxo (bom desempenho de prazos/tempo *takt*) e o balanceamento entre as frentes de forma a possibilitar a prática do gerenciamento do fluxo que chamamos de *just-in-time* (JIT) e o *kanban* de fluxo.

Na situação do gráfico da Figura 4. 27, a confiabilidade da tarefa *steel deck* ainda foi mantida e combinada à confiabilidade alta das tarefas sucessoras. Obtem-se um quadro muito semelhante ao que seria a situação utópica que Arbulu e Ballard (2004) descreveram. É preciso ressaltar que esse desempenho é bastante difícil de se obter na indústria da construção, mas é razoável perseguir resultado semelhante nessa fase, principalmente ao se considerar a facilidade dessa etapa, por envolver poucos insumos. Fator que aumenta à confiabilidade do processo no quesito Planejamento das Necessidades de Materiais (MRPs). Nas fases posteriores da construção o quadro se modifica drasticamente porque os itens quantidade e qualificação dos materiais necessários crescem segundo uma progressão geométrica.

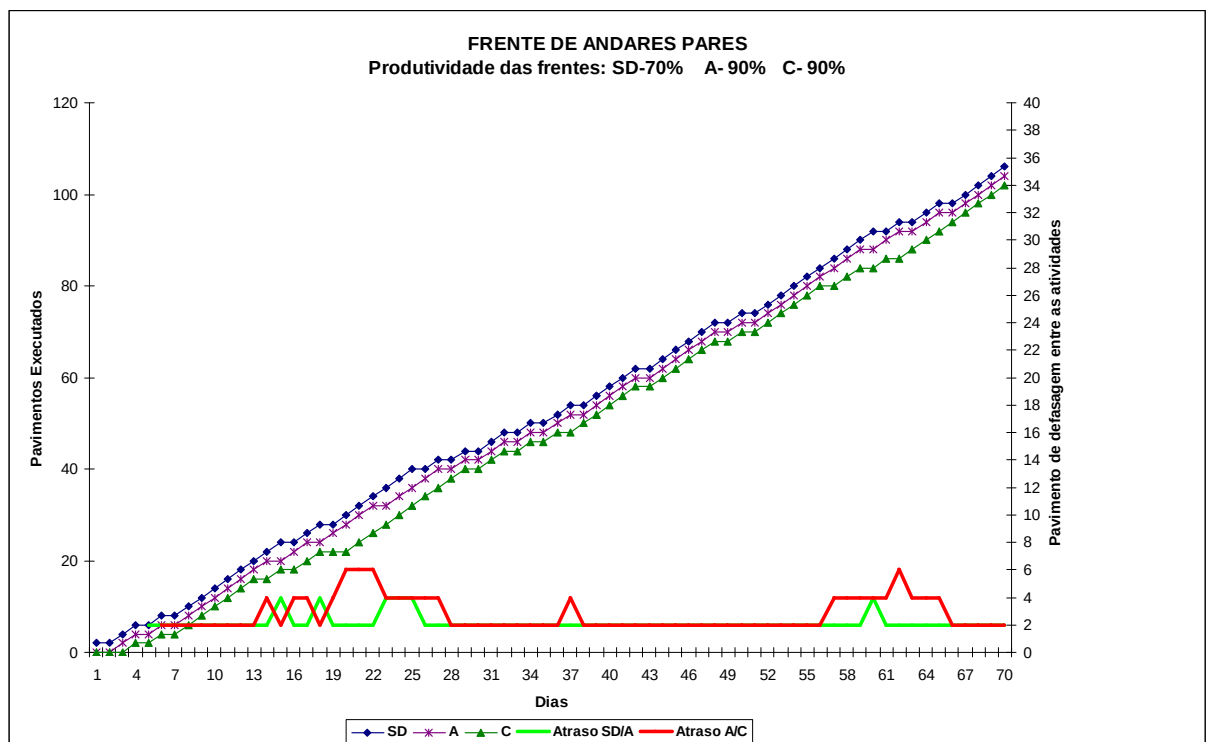


Figura 4. 27: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 90% (frentes simultâneas)

No gráfico da Figura 4. 27 podemos perceber claramente o efeito do quarto princípio do pensamento *Lean*, o "puxar". O panorama completo se configura então com o que Womack et al. (2004) definiu como "perfeição" o quinto e último conceito do pensamento *Lean*. Essa seria a configuração a ser perseguida.

O ideal então, se avizinha a uma configuração onde possa existir alguma folga nas datas de conclusão das tarefas sem que com isso todo o sistema em fluxo falhe.

No gráfico da Figura 4. 28 verifica-se que em função da queda de produtividade do *steel deck*, o número de pavimentos ao final dos setenta dias do intervalo observado caiu para noventa. O número de pavimentos defasados entre as atividades SD/A e A/C chega a dez pavimentos no pico, mas nota-se uma tendência nas atualizações da simulação, a se manter numa média de cinco pavimentos.

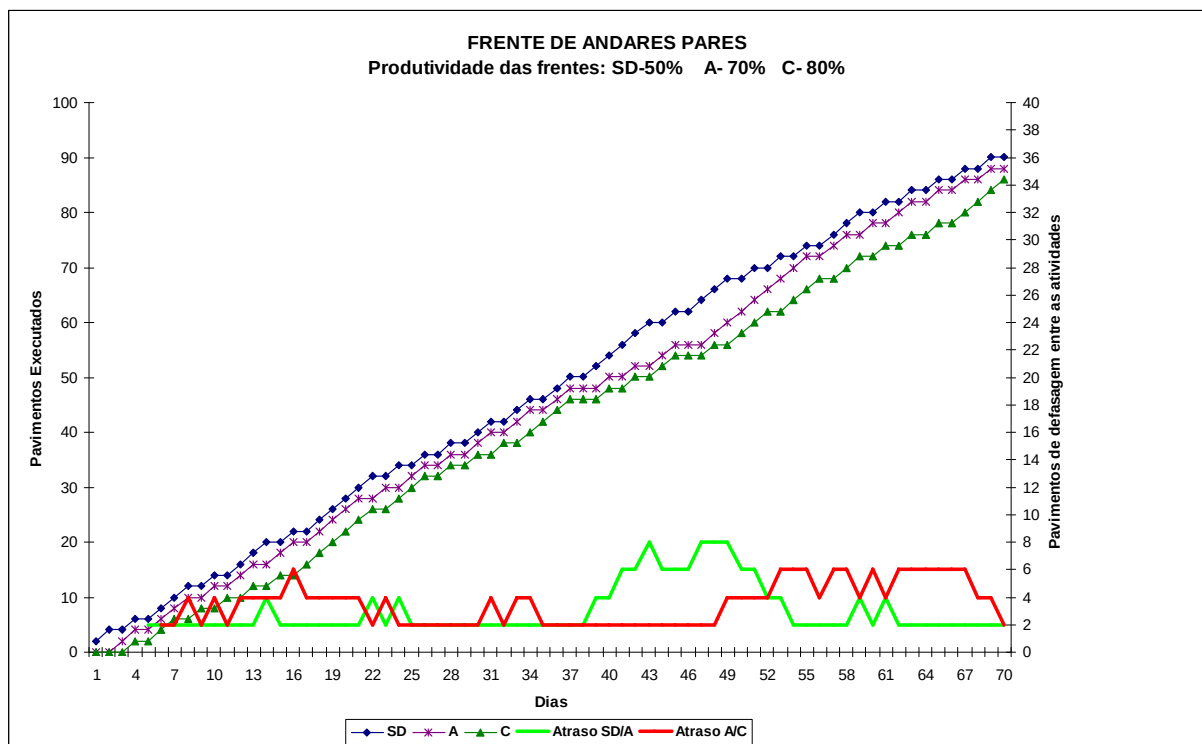


Figura 4. 28: Gráfico de Produtividade SD 50%-A 70%-C 80% (frentes simultâneas)

Nesse gráfico percebe-se uma relação mais discretiva entre as atividades. Esta seria uma situação onde ainda que interdependentes, as frentes de serviço possuem certa folga o que poderia sugerir desperdício numa análise superficial, mas que mantém certa regularidade ao longo do tempo. Essas são características imprescindíveis à obtenção da regularidade dos tempos de ciclo e favoráveis à implementação das ferramentas de controle *Lean*.

4.3.2.2. Representação gráfica para frentes independentes

O mesmo recurso da representação gráfica pode ser empregado ao se fazer uma análise de tendência de comportamento dessas iterações de variabilidade na produtividade de SD, A e C. Para isso será necessário voltar à programação para simulação em Excel e alterar as condições e premissas de tal forma a permitir que se possam executar tantos pavimentos sejam possíveis de qualquer uma das atividades, desde que, seja mantida sua condição de pré-requisito (o SD é antecessora da A que é antecessora de C).

O que se deseja ao simular um arranjo de frentes independentes de serviço é investigar qual resultado de performance de conjunto pode ser obtido com a seguinte estratégia de planejamento:

Equipes de trabalho são organizadas para, no tempo alvo de um dia (ou dois numa estimativa pessimista), executar um pavimento de SD, um pavimento de A e um pavimento de C. Não existe impedimento além da condição de precedência da atividade. Este plano pode implicar em algumas modificações de organização de canteiro. As concretagens não seriam mais em dias alternados ou em pares de pavimentos prontos de A. Mas esse pode ser um caminho viável caso a redução de prazo seja preponderante ou justificável.

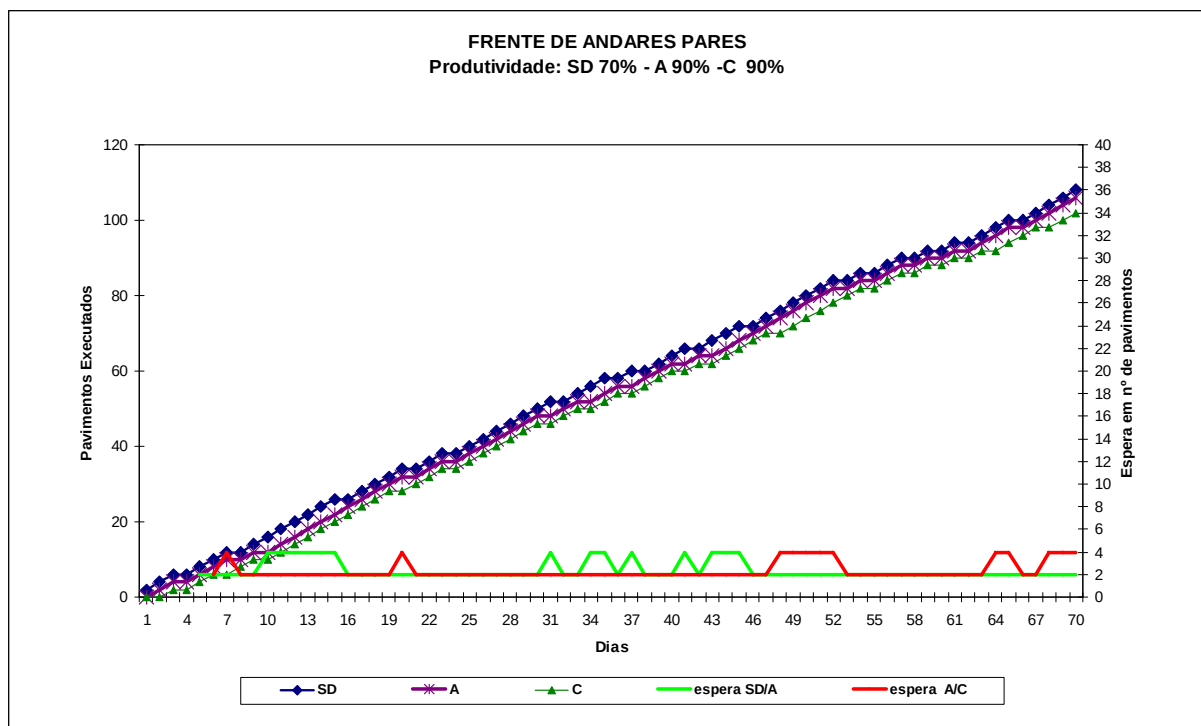


Figura 4. 29: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 90% (frentes independentes)

Posto isso, o resultado dessa nova configuração se verifica no gráfico da Figura 4. 29. Ao ser comparado com o gráfico da Figura 4. 27 que possui as mesmas faixas de produtividade, talvez o que mais facilmente seja identificado é que no mesmo período a quantidade total de pavimentos executados praticamente não se modifica para a nova configuração. O número de pavimentos em espera porém, diminui para uma faixa média de dois pavimentos por frente de serviço. Esse comportamento pode ser justificado pelos altos percentuais de confiança na produtividade das atividades.

A mudança de comportamento pode ser melhor percebida no gráfico da Figura 4. 30 quando comparado ao da Figura 4. 25. A perda de produtividade na atividade de concretagem é compensada pela liberdade de se executar essa atividade em qualquer dia mesmo que não se tenha dois pavimentos prontos de armação. O gráfico aponta para 90 o número de pavimentos executados no intervalo observado contra 74 na simulação para frentes simultâneas. Esse valor representa um acréscimo de 21,62% no resultado da performance do conjunto e é de apenas um o número de pavimentos em espera de SD/A e sete de A/C.

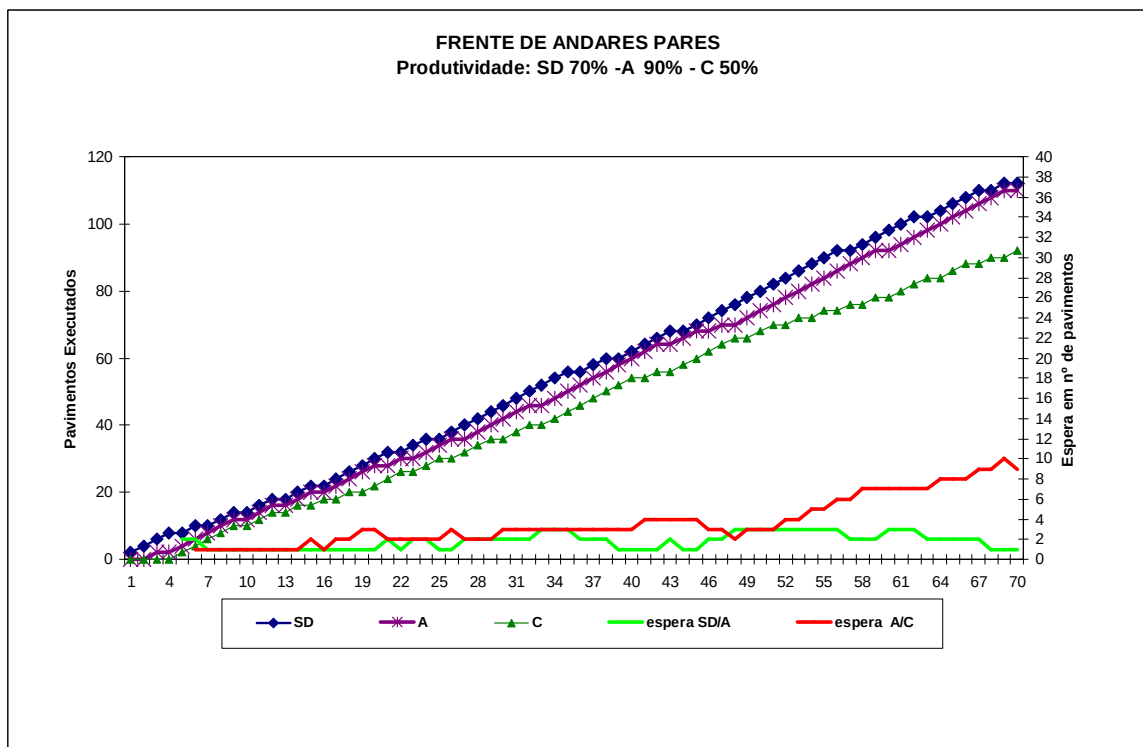


Figura 4. 30: Gráfico de Produtividade SD 70%-A 90%-C 50% (frentes independentes)

O gráfico da Figura 4. 31 mostra que a queda na confiabilidade da atividade armação atrasa a execução da atividade sucessora concretagem chegando a treze pavimentos de

diferença no pico, contrastando com apenas dois no pico entre A e C. Essa configuração causa uma descontinuidade no fluxo entre as duas tarefas iniciais, acarreta desperdício na forma de andares em espera para a próxima atividade e embora a confiabilidade de C seja alta o resultado final do conjunto na forma de andares concluídos no período é prejudicado.

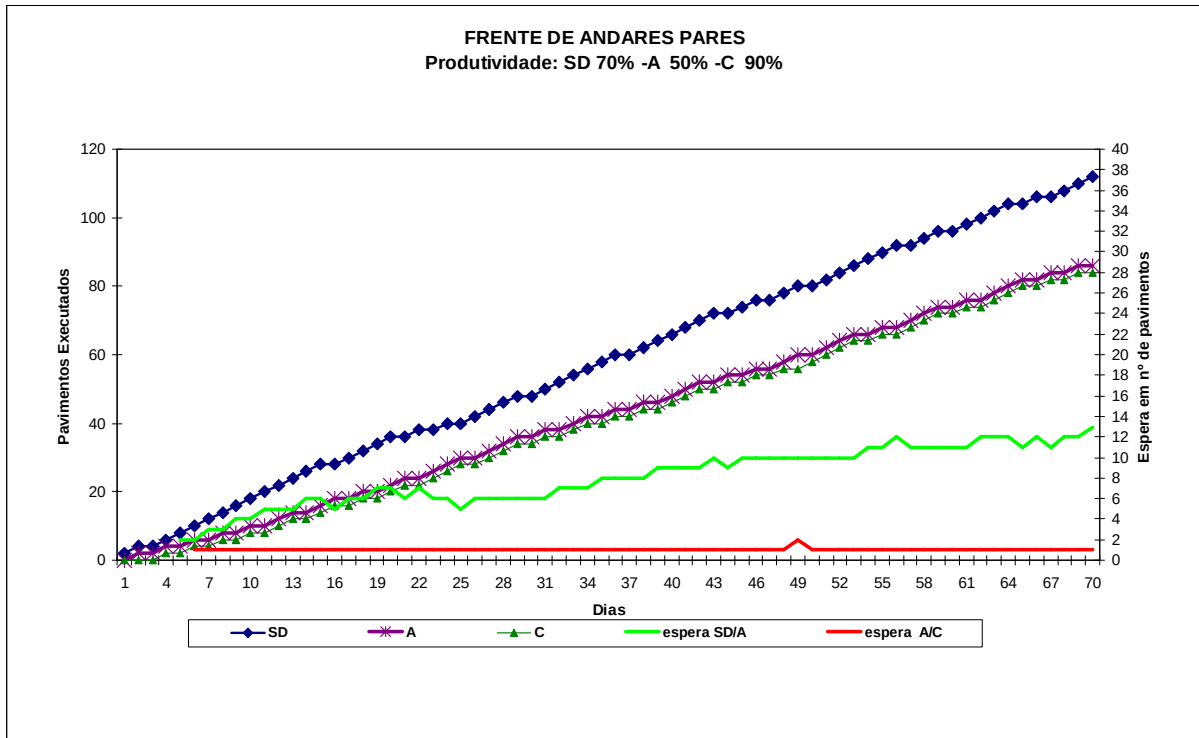


Figura 4. 31: Gráfico da Produtividade SD 70%-A 50%-C 90% (frentes independentes)

As tendências de comportamento de performance individual, do conjunto e das esperas que os gráficos apontam em função da variabilidade da confiança dos sistemas na manutenção dos prazos, podem ser utilizadas como balizador das condições necessárias de desempenho para obtenção dos resultados desejados em planejamento.

O elemento mais representativo e que realmente caracteriza a diferença entre o planejamento por frentes simultâneas e o de frentes independentes é a tendência ao aumento da produtividade do conjunto da segunda. Esse fato foi observado após efetuarem-se várias atualizações com diferentes produtividades. A independência das frentes também sugere que, se mantidos em níveis aceitáveis as produtividades das atividades, resolve-se satisfatoriamente o problema da variabilidade da demanda interna o que se traduz no balanceamento das frentes de serviço, condizente com um sistema construtivo *Lean*.

4.3.3. Submetendo o fluxo à análise pela teoria das filas de espera

A análise das filas de espera é de interesse porque afeta o projeto, o planejamento da capacidade, o planejamento do arranjo físico, o gerenciamento de estoques e a programação (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004).

As instalações de serviço consistem em pessoal e equipamentos necessários para executar um serviço para um “cliente” (HENDRICKSON, 2003) e a escolha do arranjo tem como base o volume de clientes e a natureza dos serviços executados. Neste caso considerou-se que para o processo de execução das lajes o problema se trata de análise de canal único e fase única. Para especificar detalhes para esse modelo, parte-se das seguintes hipóteses:

1. A população de clientes é infinita.
2. Os clientes chegam de acordo com uma distribuição de Poisson, apresentando uma média de chegada λ .
3. A distribuição do atendimento é exponencial, com uma taxa média de serviço μ .
4. Os clientes são atendidos em função de sua chegada (PCP).
5. O comprimento da fila de espera é ilimitado.

Com essas hipóteses, pode-se descrever algumas características operacionais do sistema, tais como:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4.2)$$

ρ = utilização média do sistema

$$L_q = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (4.3)$$

L_q = número médio de clientes na fila de espera

No caso de um fluxo de atividades para execução das lajes de um edifício a atividade A (armação) é cliente de SD (*steel deck*) aguardando os pavimentos de SD serem entregues. Então os pavimentos prontos de SD disponíveis, representam filas de espera

para execução da armação que por sua vez representam filas de espera para a execução da concretagem.

Os valores obtidos para L_q entre as atividades SD/A e A/C a partir da experimentação de diversas produtividades (Anexo H) foram organizados na forma de tabelas (Tabela 4. 1 e Tabela 4. 2) e representam o número de pavimentos em espera e deram origem aos gráficos abaixo.

Fila		SD				
		0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
A	0,65	26,0				
	0,70	12,1	25,0			
	0,75	7,4	11,6	24,0		
	0,80	5,1	7,1	11,1	23,0	
	0,85	3,8	4,9	6,8	10,6	22,0
	0,90	2,9	3,6	4,7	6,5	10,1

Tabela 4. 1: Pavimentos de SD à espera de A

Fila		A				
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
C	0,75	24,0				
	0,80	11,1	23,0			
	0,85	6,8	10,6	22,0		
	0,90	4,7	6,5	10,1	21,0	
	0,95	3,4	4,4	6,1	9,6	20,0

Tabela 4. 2: Pavimentos de A à espera de C

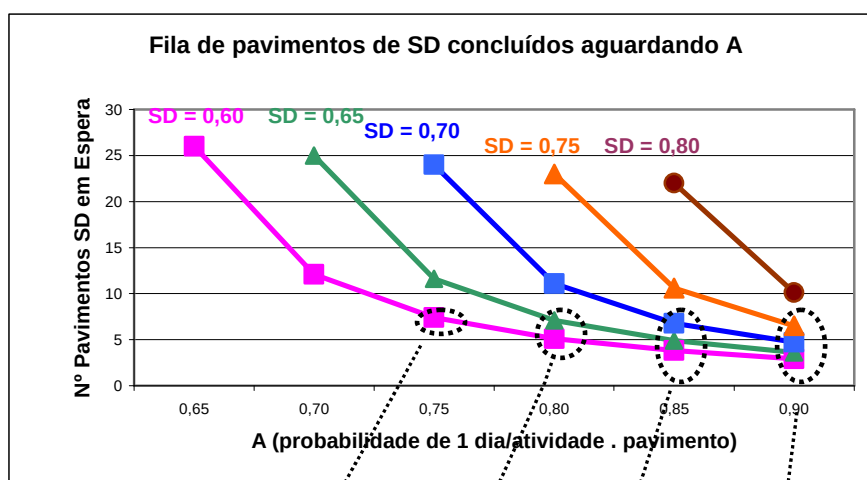


Figura 4. 32: Filas de SD/A

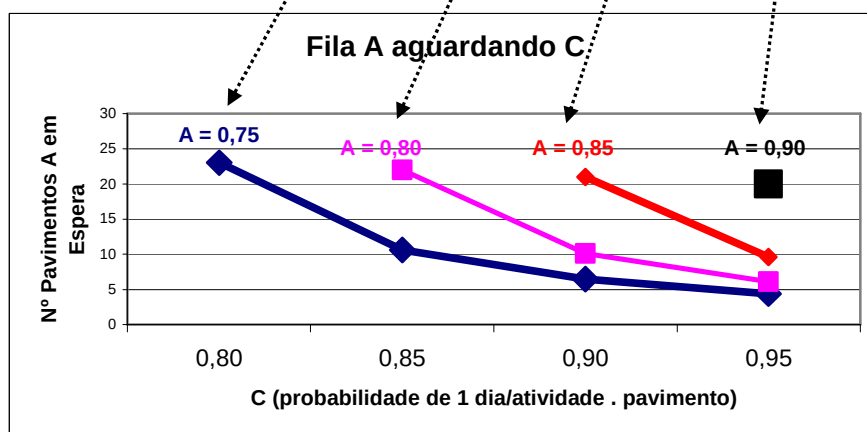


Figura 4. 33: Filas de A/C

Observando-se os valores do gráfico da Figura 4. 32 verifica-se que quando a probabilidade de concluir uma atividade em um pavimento em um dia for por exemplo para SD igual a 60% e de A igual a 80% tem-se 5,1 pavimentos de SD à espera de A. No gráfico da Figura 4. 33, para 80% de A e 95% de C o número de pavimentos em espera sobe para 9,6. O que pode ser depreendido desses gráficos é que existe uma tendência em se obter melhores resultados, isto é menores esperas, quando a confiabilidade da atividade sucessora for crescente.

4.3.4. Análise dos resultados

Ao se conceber o planejamento de uma obra, leva-se em conta uma infinidade de condicionantes. Muitas vezes a localização geográfica do canteiro ou as condições de acesso são preponderantes sobre todas as demais. Noutras o prazo de entrega.

Inicialmente, na reflexão das condições de contorno para esse estudo, sem querer criar muitas restrições, imaginou-se uma obra em estrutura metálica e com severas condições de canteiro. Daí a opção pela organização em frentes simultâneas, onde se criaria com este artifício, as condições de movimentação e descarga de materiais pelo menos em dias alternados. A organização das equipes de serviço visou obter mais flexibilidade no aproveitamento da mão-de-obra e a otimização na utilização dos equipamentos, uma vez que as “equipes do aço” estariam em pavimentos diferentes uma executando SD e a outra executando A. Mas o ritmo do grupo é afetado pela condicionante concretagem em pares de andares e pode representar um bloqueador ao fluxo.

As frentes independentes, por outro lado, representam um caminho alternativo para quem busca redução de prazo. Nesse caso seria importante verificar as condições de canteiro e acesso, se a obra possui algum terreno adjacente disponível para movimentação das tarefas relacionadas à atividade concretagem sem prejuízo das demais.

As simulações em Excel para as frentes simultâneas, confirmam o resultado obtido no PERT para estimação do prazo de conclusão do processo, o mesmo não acontece em relação às filas. Percebe-se uma distorção em algumas combinações de SD/A e A/C (ver Tabelas 4.1 e 4.2) mesmo para taxas altas de confiança nas atividades.

Embora o estudo esteja restrito à execução das lajes, é evidente que num estudo de caso teríamos que levar em consideração as etapas executivas em sequência do processo construtivo. Para isso seria necessário considerar na obra a movimentação de material e pessoal para execução das próximas tarefas como proteção contra fogo, fechamentos internos e externos, instalações (hidráulica, elétrica, especiais, entre outras), refrigeração, teto, piso elevado e demais atividades, que não necessariamente teriam início após o término de todas as lajes.

Mesmo não sendo citado, o fator custo é sempre um norteador de decisões. Mas, se outras condições que não essas se apresentarem num planejamento de obra, deve-se explorar as alternativas e verificar o custo benefício de cada uma delas. Os idealizadores do sistema *Lean* enfatizam na sua busca pela perfeição que devemos nos desprender dos conceitos habituais, para atingir as melhorias incrementais que muitas vezes, inicialmente não nos parecem viáveis.

Na avaliação da organização das atividades fica evidenciado que na trilha das frentes simultâneas tem-se mais liberdade de movimentação no canteiro e um *staff* gerencial menor (tendência que vem sendo adotada no mercado), mas essa alternativa representa também um acréscimo no prazo final de conclusão do processo. Nesse caso, as ferramentas de controle do processo *Lean* estariam mais vulneráveis às variações da produtividade da obra. Atividades que apresentam baixa confiabilidade não estabelecem a manutenção do fluxo e o puxar (*kanban*) e inviabiliza a prática do JIT. Contudo, deve-se

considerar que toda melhoria de processo passa necessariamente pelo treinamento e motivação da mão-de-obra.

As frentes independentes tornam o fluxo um caminho natural. Balancear o ritmo de execução dos serviços sem a restrição da simultaneidade torna-se mais fácil, por outro lado, em função da escala do empreendimento, esse caminho necessita do emprego de uma mão-de-obra mais preparada e de controle operacional efetivo, sem falar nas condições físicas especiais do canteiro. O ganho na velocidade de conclusão das tarefas não pode representar insegurança nem perda de qualidade. Mas, se obtidas as condições essenciais para o seu funcionamento, conjugadas com a baixa variabilidade do sistema de suprimento, os resultados das simulações sugerem que essa formatação possibilita a utilização dos elementos de produção *Lean*. Mais importante que manter a produtividade das atividades em níveis elevados é manter baixa a variabilidade relativa entre as tarefas. Não é produtivo manter a confiança da ordem de 90% em determinado serviço em contraste com 50% para a atividade seguinte. Isso fará com que surja espera (desperdício). Mais eficiente tentar obter uma média crescente entre as atividades, e estabelecer um ritmo (*takt*) que possibilite:

- a) o fluxo sem sobressaltos,
- b) o “puxar”,
- c) que não dispare a necessidade de materiais não previstos (MRP) ocasionando aumento do custo ou perdas,
- d) a utilização do JIT que propicia entre outros, o planejamento do fluxo de caixa,
- e) manter em níveis aceitáveis a rotatividade da mão-de-obra,
- f) o investimento na qualificação, treinamento e motivação do operário,
- g) a sistematização da qualidade (padronização),
- h) o aumento da produtividade,
- i) estabelecer um banco de dados característico do perfil da empresa.

5. Conclusões

Este estudo nos leva a reflexão de que é preciso estabelecer uma linha de “pensamento” afinada com os esforços empreendidos pela indústria da construção e sintonizada na contribuição que ambos os setores (acadêmico e produtivo) podem e devem trocar.

A indústria da construção civil possui peculiaridades que a torna tão especial quanto complexa. Na indústria o habitual é que o produto se mova através das diferentes ilhas de produção. Na construção civil o produto (obra) permanece estático enquanto operários e matéria-prima se movem e se juntam num dinâmico e gigantesco processo de montagem tal qual um quebra cabeças que segue a orientação de vários mapas (projetos).

Talvez não pareça, mas essa diferença transforma todo o estudo e análise do processo de transferência das práticas e tecnologias de um processo produtivo normal em tarefa potencialmente complexa, já que envolve nuances próprias do processo construtivo. Todos os processos possuem singularidades, mas nada comparado à especificidade e ao grau de incerteza habitual do processo construtivo.

Como são poucas as publicações pertinentes, a escolha da execução das lajes possibilitou a primeira simplificação necessária ao deslanchar do estudo. É, após a montagem da estrutura metálica, a fase que oferece mais afinidade para a adoção dos conceitos *Lean* de produção.

A revisão bibliográfica fortalece a idéia de que para se obter uma prática *Lean*, é necessária uma visão gerencial qualificada calcada no espírito inovador, e que contrarie a prática tradicional com um novo olhar sobre o processo construtivo. Essa mudança paradigmática deve ser concebida na fase de anteprojeto, para que todas as ações, determinações e especificações sigam no intento de “transformar o projeto” utilizando as técnicas de gestão de processo *Lean*. No entanto migrar para um processo nos ditames dessa filosofia não é tão simples. Há que se compreender e atender às condições que impedem o processo de funcionar dentro desses princípios.

O planejamento inicial foi concebido com auxílio do PERT, e a partir dele foram estabelecidos os prazos iniciais para conclusão de cada uma das atividades. O mapa do fluxo facilitou o detalhamento de todas as tarefas envolvidas na execução do processo, organizando-as de modo a eliminar todo desperdício. A seguir verificou-se com as

simulações em Excel a viabilidade de se cumprir os prazos e estabelecer as relações de influência oriundas das variações das produtividades. O uso da teoria das filas para simular o resultado obtido com as variações de produtividade, mostra claramente que bons resultados são esperados para índices de produtividade crescentes.

Obteve-se assim o perfil de desperdício representado na forma de andares a espera da próxima atividade. Como um dos objetivos da filosofia *Lean* de produção é a eliminação de qualquer forma de desperdício, as simulações podem ser utilizadas para identificar em que níveis de produtividade o construtor deve trabalhar para maximizar seu resultado.

Essas simulações também mostraram que estabelecer o fluxo com as frentes de serviço balanceadas pode ser tornar tarefa de difícil execução se não for obtido o equilíbrio entre a demanda e o suprimento, por exemplo. Sendo que a demanda, embora pareça mais fácil por estar numa região de domínio do construtor, está sujeita entre outras, às variações climáticas, cliente interno, fluxo de caixa e atualmente com a excessiva terceirização, ao problema da mão-de-obra. Isto sem falar da complexidade do nosso sistema de suprimentos, carente de empresas que forneçam materiais padronizados.

Tal fato se deve entre outros motivos, ao caráter customizado das soluções arquitetônicas, sempre em busca de elementos diferenciados com objetivo de obter vantagem num mercado tão competitivo. Muitas tecnologias importadas não atendem à expectativa e ao conceito de valor do cliente final por questões culturais ou porque, apenas parte da tecnologia foi importada para adequá-la ao custo que o cliente pode e/ou está disposto a pagar.

Este tem sido o principal entrave à adoção de técnicas e tecnologias no mercado nacional que possibilitem o desenvolvimento de um sistema mais industrializado no lugar do tradicional artesanal. Nosso atual sistema sobrevive num ambiente híbrido onde convive a mais alta tecnologia executada muitas vezes com técnicas artesanais primitivas. Difícil estabelecer o funcionamento de um fluxo produtivo totalmente *Lean* dentro dessas características construtivas.

5.1.Consistência

A metodologia empregada procurou analisar o “problema” de três formas. Num primeiro momento, a partir das técnicas convencionais de planejamento de processo. Essas técnicas envolvem a utilização de ferramentas tradicionais como cronograma de serviços, cadeia de valor, PERT/CPM, levantamentos de recursos material e pessoal necessários com dados disponíveis no sistema (índices de produtividade, taxas de consumo entre outros), fornecidos por construtores, fabricantes ou entidades ligadas ao setor. O objetivo

inicial foi estabelecer a partir de um planejamento convencional, as condições de contorno necessárias ao estabelecimento do fluxo eficiente e quais as probabilidades de sucesso na conclusão das metas nos tempos estimados.

Numa segunda etapa o comportamento das variações de produtividade do fluxo foi verificado por uma simulação e apontou as tendências de performance individual e do conjunto. Estas tendências auxiliam no balanceamento das frentes de serviço para obtenção de um fluxo contínuo e com mínimo desperdício, tal como desejável num sistema *Lean* onde se queira utilizar minimamente o JIT.

Finalmente a terceira e última verificação foi feita analisando-se o fluxo, tal como uma estrutura de problema de fila de espera, onde o desperdício aparece na forma de andares prontos de *steel deck* aguardando a próxima atividade armação que aguarda a atividade seguinte, a concretagem.

Com o processo, submetido às três diferentes formas de análise alcançou-se o principal objetivo com a obtenção das tendências de comportamento de atividades em fluxo seqüencial, característico do processo construtivo.

5.2.Sugestões para Trabalhos Futuros

Como o tema em discussão ainda é novo no mercado nacional, existe um amplo campo de pesquisa a ser explorado. Se estendido às fases seguintes de uma construção, pode-se verificar o impacto das diversas atividades que são executadas simultaneamente no corpo da edificação, implicando na criação do que podemos chamar de “supermercado” de abastecimento, para atender à demanda dos serviços.

A questão do custo é outro aspecto que não pode ser ignorado. Toda tecnologia se justifica a partir da relação custo benefício. O caminho das “frentes simultâneas” restringe, mas pode ser uma alternativa para condições específicas de canteiro e seus arranjos físicos (layouts). Por outro lado as “frentes independentes” parece ser o caminho natural para quem busca redução de prazo de cronograma, mas ter uma atividade como a concretagem em regime quase contínuo na obra pode gerar alguns transtornos operacionais.

A simulação é uma ferramenta bastante interessante para testar o comportamento e a interação das atividades em fluxo, contudo seria importante verificar sua capacidade quando estendida a vários processos simultâneos. No caso da teoria das filas, o resultado em termos de número de andares em espera mostrou-se mais conservador, se comparado com os resultados obtidos com a simulação no Excel. Talvez porque esse último trabalhe com variáveis discretas. Pode ser também que a função exponencial não seja a distribuição

mais adequada para representar a taxa média de serviço para esse tipo de evento. Caberia o aprofundamento e verificação dessas hipóteses.

6. Referências Bibliográficas

ABNT: P-TB-134. **PERT/CPM: Terminologia Brasileira**, Set. 1972.

ARBULU, Roberto.; BALLARD, Glenn. **Lean Supply Systems in Construction**. IGLC, 12. Elsinore, Denmark, 2004. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>> Acesso em: 25/08/05.

BALLARD, G.; HOWELL, G. A. **An Update on Last Planner**. IGLC, 11. Blacksburg, Virginia, USA, 2003. Disponível em: <<http://strobos.cee.vt.edu/IGLC11/PDF%20Files/08.pdf>> Acesso em 25/08/05.

BEISCHEL, Mark E. **Improving Production with Process Value Analysis**. Journal of Accountancy, Sept. 1990.

BELLEI, I. H.; Pinho F. O.; Pinho, M.O. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2004.

BOITEUX, Colbert Demaria. **PERT/ CPM/ ROY e outras Técnicas de Programação e Controle**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Cient. Edit. S.A., 1985.

BORGES JUNIOR, Cyro Alves; SILVA, Rodrigo Rodrigues Lyra da; BARROS, José Glenio Medeiros de. **Construção Predial Lean em Estruturas Metálicas – Mapeamento da Cadeia de Valor**. Artigo VI Mostra de Pós-graduação UNITAU, Taubaté, SP, 2005.

BORGES JUNIOR, Cyro Alves; SILVA, Rodrigo Rodrigues Lyra da; BARROS, José Glenio Medeiros de; ROCHA, Hércio de Oliveira. **Identificação de Tendências e Oportunidades em Estudos Visando a Utilização de Métodos da Produção Enxuta na Construção**

Civil. Artigo Congresso Brasileiro de Engenharia da Fabricação (COBEF), Joinville, SC, 2005.

BORTOLAZZA, Rodrigo Cremonesi ; COSTA, Dayana Bastos ; FORMOSO, C. T. **Análise Quantitativa da Implementação do Sistema Last Planner no Brasil.** IV Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Porto Alegre, RS, 2005.

ERTAS, Átila. **The Engineering Design Process.** New York: John Wiley, 1996.

FONTANINI, Patrícia Stella Pucharelli; PICCHI, Flávio Augusto. **Lean Thinking na Cadeia de Fornecedores da Construção Civil.** Artigo XII SIMPEP, Bauru, SP, 2005.

FREITAS, Delfino Paiva Teixeira de; PAMPLONA, Edson de oliveira. **Uso da Cadeia de Valor para Definição das Atividades do PERT/CPM.** XIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Artcvpert.pdf>> Acesso em: 17/10/2006.

GITAHY JUNIOR, Ailton Lannes; FARIAS FILHO, José Rodrigues de; QUELHAS, Osvaldo Luís Gonçalves. **Aplicação da Construção Enxuta (Lean Construction) na Orientação do Arranjo Físico em Canteiros de Obra da Construção Civil – Subsetor Edificações.** Rio de Janeiro, sd. Disponível em: <<http://www.simpep.feb.unesp.br/anais10/gestaodaproducao/arg10.pdf>> Acesso em 13/01/2007.

HENDRICKSON, Chris. **Project Management for Construction.** 2. ed. Pittsburgh: Prentice Hall, 2003.

HOPP, W.J.; SPEARMAN, M.L. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management.** 2. ed. Irwin/McGraw-Hill, Boston, USA, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov/home/estatistica/população/estimativa2004/metodologia.pdf>>

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M.; HIROTA, E. H.; ALVES, T. **Lean Construction: Diretrizes e Ferramentas para o Controle de Perdas na Construção Civil.** Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

KAPLAN, Robert S., COOPER, Robin. **Custo e Desempenho: Administre seus Custos para ser mais Competitivo**. São Paulo: Editora Futura, 1998.

KAPLAN, Robert S., NORTON, David P. **A Estratégia em Ação: Balanced Scorecard**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy in Construction Technical Report**. Technical Research Centre of Finland, 1992.

JUNNONEN, Juha-Matti.; SEPPÄNEN, Olli. **Task Planning as a Part of Production Control**. Disponível em: <<http://www.lgic.net/>> Acesso em: 25/08/05.

MOTTA, Magalhães J. E. **Pert Tempo e Custo**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Record, 1976.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações**. 8ª reimpr. da 1.ed. de 1993. São Paulo: Editora Thomson Learning, 2006.

NORMA REGULAMENTADORA -18. Condições e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção. Ministério do Trabalho, FUNDACENTRO. Publicada no D.O.U. em 07/07/1995.

PORTER, Michael E. **Estratégia Competitiva: Técnicas para Análise de Indústrias e da Concorrência**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1986.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson, 2004.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor Para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício**. São Paulo: Lean Institute, 2002.

ROUSSELET, Edson da Silva; FALCÃO, César. **A Segurança na Obra Manual Técnico de Segurança do Trabalho em Edificações Prediais**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1999.

SAURIN, Tarcisio Abreu; FORMOSO, Carlos Torres; GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. **Segurança e Produção: Um Modelo para o Planejamento e Controle Integrado**. Artigo IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, PR, 2002.

SHANK, John K; GOVINDARAJAN, Vijay. **A Revolução dos Custos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

SINDUSCON SP/FGV

<<http://www.sindusconsp.com.br/secao/secao.asp?area=Emprego&numpai=1&descpai=Economia>> Acesso em: 19/03/07.

STANGER, Luiz B. **PERT - CPM: Técnica de Planejamento e Controle**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Cient. Edit. S.A., 1974.

TOMMELEIN, Íris. **Discrete Event Simulation of Lean Construction Processes**. Disponível em: <<http://www.lglc.net/>> Acesso em: 25/08/05.

WEGELIUS-LEHTONEN, T.; PAHKALA, S. **Developing Material Delivery Processes in Cooperation: An Application Example of the Construction Industry**. International Journal of Production Economics, 1998.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. Nova ed. rev. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2004.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Nova ed. rev. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.

Anexo A - Planilha para Recurso Material

[illegible]

[illegible]

Anexo C - Matriz de Ordenação para Execução das Lajes

[illegible]

SD = STEEL DECK **A** = ARMAÇÃO **C** = CONCRETAGEM

STEEL DECK MF-75

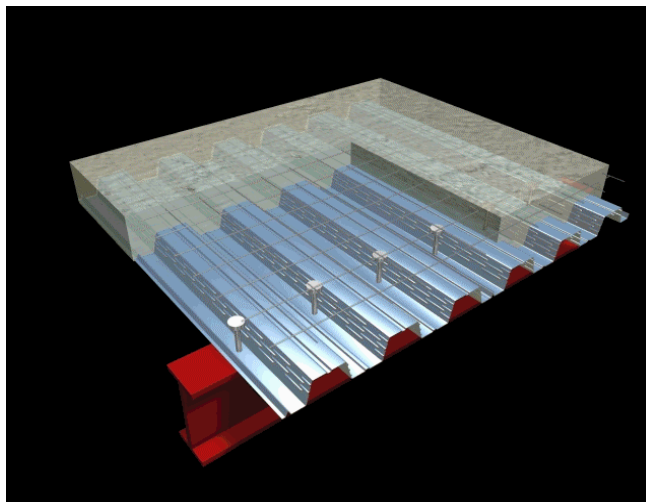
Technical drawing of a corrugated metal profile. The profile has a total width of 820 mm. The dimensions are as follows:

- Overall width: 820 mm
- Flange width (left): 137 mm
- Flange width (right): 135 mm
- Corrugation pitch (center-to-center): 274 mm
- Corrugation height: 75 mm
- Base width (left): 155 mm
- Base width (right): 119 mm

Esp. Final	Esp. Projeto	Altura Total	Peso	Reações Máximas de Apoio		Módulo de Resistên cia	Inércia p/ Deformaç ão	Área de Aço	Centro Gravi- dades
				Externo	Interno				
mm	mm	mm	kg/m ²	kN	kN	mm ³	mm ⁴	mm ²	mm
0,80	0,76	74,98	9,37	6,76	21,01	22.710	1.017.138	1.112	37,49
0,95	0,91	75,13	11,12	8,90	29,70	28.788	1.254.749	1.332	37,57
1,25	1,21	75,43	14,63	14,62	49,53	40.599	1.666.741	1.771	37,72

Propriedades para largura de 1000 mm

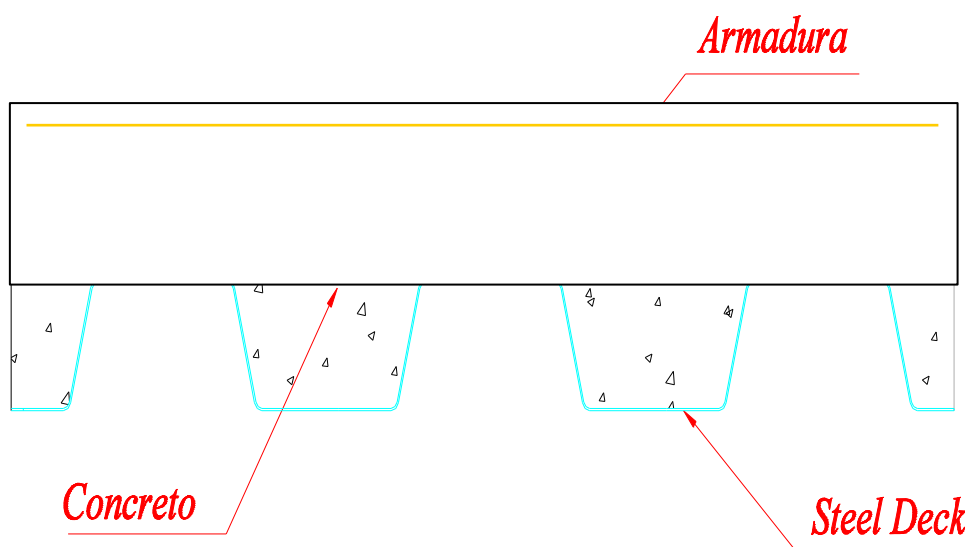
Material: Aço ASTM A-653 Grau 40 (ZAR 280), Tensão de Escoamento: 280 MPa



Vista geral de uma laje com o Steel Deck MF-75, apoiada sobre viga de aço

STEEL DECK MF-75

MATERIAIS UTILIZADOS:



- **Steel Deck:** Em aço galvanizado, ASTM A-653 Grau 40 (ZAR 280), com revestimento de zinco equivalente a 260 gZn/m^2 e tensão de escoamento (f_y) igual a 280 MPa.
- **Concreto:** Concreto estrutural convencional, com resistência a compressão (f_{ck}) maior ou igual a 20 MPa.
- **Armaduras adicionais:** Armaduras em telas soldadas, para controle de fissuração, tendo uma área mínima de 0,1% da área de concreto acima do topo do Steel Deck.

STEEL DECK MF-75**Consumo de Concreto - tipo de armadura para retração**

Altura Total da Laje (mm)	Consumo de Concreto (m ³ /m ²)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m²)
130	0,0925	Q - 75	φ3,8xφ3,8 – 150x150	1,21
140	0,1025	Q - 75	φ3,8xφ3,8 – 150x150	1,21
150	0,1125	Q - 75	φ3,8xφ3,8 – 150x150	1,21
160	0,1225	Q - 92	φ4,2xφ4,2 – 150x150	1,48
170	0,1325	Q - 113	φ3,8xφ3,8 – 100x100	1,80
180	0,1425	Q - 113	φ3,8xφ3,8 – 100x100	1,80
190	0,1525	Q - 138	φ4,2xφ4,2 – 100x100	2,20
200	0,1625	Q - 138	φ4,2xφ4,2 – 100x100	2,20

Exemplo de Utilização da Tabela

Por exemplo, suponha que seja necessário projetar-se uma laje de piso, apoiada em vigas de aço e submetida a vãos múltiplos de 2.800 mm. As cargas de serviço que atuam nesta laje serão: 1 kN/m² de revestimento e 4 kN/m² de sobrecarga.

Será feita a verificação para uma laje com 140 mm de altura total de concreto (75 mm do Steel Deck e 65 mm de cobrimento) e com o Steel Deck MF-75 de espessura 0,80 mm. Para esta laje, não há necessidade de utilização de escoramento. Isto porque o vão de 2.800 mm é inferior aos vãos máximos sem escoramento (para vãos duplos e triplos) relacionados na Tabela de Cargas.

Após a cura do concreto, a carga sobreposta total a atuar na laje mista será: $w_d = 1 + 4 = 5 \text{ kN/m}^2$.

De acordo com a Tabela de Cargas, para a laje adotada com um vão de 2.800 a resistência da laje mista é: $w_n = 5,51 \text{ kN/m}^2$.

$w_n > w_d$ **A laje adotada resiste às cargas de serviço!**

Observações:

- **Norma utilizada:** A tabela de cargas foi elaborada seguindo as prescrições do *anexo C* da norma *NBR-14323*
- **Peso próprio:** O peso próprio da laje foi determinado considerando-se concretos de densidade normal (**2.400 kg/m³**). Entretanto, para a soma das cargas sobrepostas atuantes na laje, o valor do peso próprio da mesma não precisa ser computado. Para lajes com Steel Deck MF-75 devem ser utilizados concretos com resistência mínima à compressão **$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$** .
- **Armaduras adicionais:** Deverá ser especificada uma armadura nas duas direções, a fim de evitar possíveis fissuras devido a retração ou a variações de temperatura do concreto. Além da armadura de retração, deverão ser previstas armaduras *localizadas (acima de vigas principais, no contorno de pilares, etc)* para evitar possíveis fissuras devido a tendência de continuidade da laje sobre os apoios.
- **Escoramento:** Caso o vão utilizado seja superior ao vão máximo sem escoramento indicado na Tabela de Cargas, a laje deverá ser escorada durante a concretagem.
- **Largura de apoio:** A largura mínima do apoio do Steel Deck sobre as vigas de aço deve ser 75 mm para apoios externos e 150 mm para apoios internos.
- **Lajes de piso:** Para lajes de piso, recomenda-se que a altura total de concreto seja maior ou igual à 140 mm.
- **Cargas pontuais ou lineares:** A Tabela de Cargas foi elaborada para cargas uniformemente distribuídas na superfície da laje. Caso existam cargas lineares ou pontuais aplicadas diretamente na laje, o Departamento Técnico da METFORM deverá ser consultado.
- **Situações de incêndio:** Os valores indicados na tabela de cargas correspondem aos carregamentos que podem ser aplicados em temperatura ambiente, ou em situações de incêndio com tempos de atuação de até 30 minutos. Para situações de incêndio com tempos de atuação superiores a 30 minutos a norma *NBR-14323* deverá ser consultada, para que as armaduras adicionais sejam consideradas na resistência nominal das lajes.
- **Manual técnico:** A METFORM dispõe de um manual técnico de dimensionamento e utilização do Steel Deck MF-75. Neste manual encontram-se informações detalhadas das lajes sobre: cargas concentradas, armaduras adicionais, verificações em situação de incêndio e instruções sobre o manuseio e a montagem dos materiais na obra

STEEL DECK MF-75**Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas (kN/m²)**f_y = 280 MPa

Espesura (mm)	Vãos Máximos Sem Escoramento				Peso	Mom.	Vãos da Laje Mista (mm)															
	Simple	Duplo	Triplo	Balanço	Próprio	Inércia	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN/m²)	(10 ⁶ mm ⁴)	Carga Sobreposta Máxima (kN / m²)															
130																						
0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00
1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42
140																						
0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81
150																						
0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59
0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19
160																						
0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73
0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68
1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58

170																							
0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88	
0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91	
1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96	
180																							
0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03	
0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14	
1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35	
190																							
0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18	
0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36	
1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73	
200																							
0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33	
0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59	
1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12	

METFORM S/A

Rua Eng. Gehard Ett, 1100 - Dist. Industrial Camilo Pena - Cep. 32.530-480 - Betim / MG - Brasil

Tel. +55 31 591-1684 - Fax. +55 31 591-1680 - Home Page: <http://www.metform.com.br>

Anexo E - Ficha Técnica Telas Soldadas



Telas Soldadas Nervuradas Belgo

As Telas Soldadas de Aço Nervurado são uma armadura pré-fabricada, constituída por fios de aço Belgo 60 nervurado longitudinais e transversais, de alta resistência mecânica, sobrepostos e soldados entre si em todos os pontos de cruzamento (nós), por corrente elétrica (caldeamento), formando malhas quadradas ou retangulares.

Os fios utilizados na fabricação das Telas Soldadas são obtidos por laminação a frio, a partir de matéria-prima de alta qualidade (fio-máquina). Através desse processo, o aço é encruado e nervurado, atingindo elevados valores de limites de escoamento e resistência. Os fios são preparados em dimensões apropriadas e dispostos automaticamente em cruz, sendo então soldados por "processo a ponto", sem adição de qualquer outro material, através de máquinas eletrônicas de alta precisão. As Telas Nervuradas Belgo oferecem melhor aderência entre o aço e o concreto, ligação dos elementos estruturais e controle da fissuração.

NBR	Especificações	
NBR 7481	Tela Soldada de Aço - Armadura para concreto - Especificações.	
NBR 7480	Barra e Fios de Aço destinados a armaduras para concreto armado - Especificações.	
NBR 5916	Junta de Tela de Aço Soldada para armadura de concreto - Ensaio de resistência ao cisalhamento.	

Aplicações

- Lajes (maciças, nervuradas, pré-moldadas, cogumelo e protendidas)
- Pisos industriais
- Pavimentos de concreto armado (estradas)
- Pré-moldados
- Vigas
- Pilares
- Pontes e viadutos
- Bueiros tubulares e celulares
- Piscinas
- Fundações em geral
- Canais
- Paredes diafragma
- Revestimentos de túneis
- Caixas-d'água
- Mourões
- Paredes autoportantes (tilt-up)
- Revestimentos de tubos submarinos
- Contenção de encostas (concreto projetado)
- Silos, etc.

Vantagens Técnicas

- Uniformidade dos diâmetros (aço trellado)*
- Espaçamento uniforme dos fios*
- Aderência ao concreto através das juntas soldadas
- Segurança na ancoragem
- Facilidade de inspeção pelo engenheiro fiscal
- Posicionamento adequado nas fôrmas
- Controle de qualidade

*seções exatas

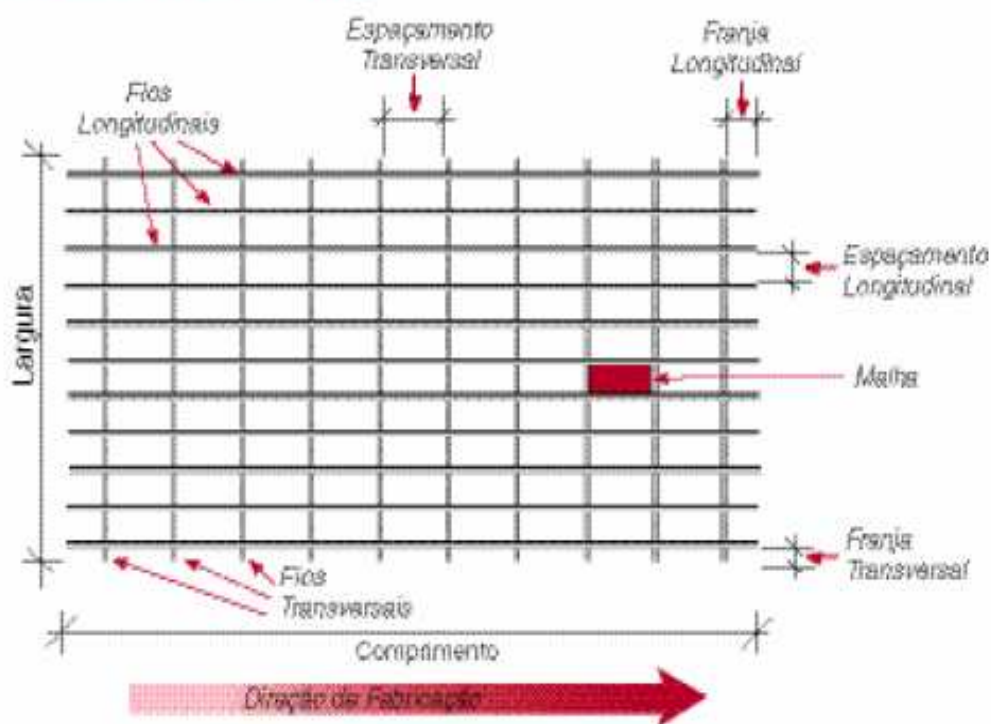
Vantagens Econômicas

- Não há perdas por desbitolamento
- Não há perdas por corte e sobras de pontas
- Dispensa o uso do arame de amarração
- Trespasse menor que a armadura convencional
- Largura de até 2,75 metros
- Quantificada e utilizada por metro quadrado
- Racionaliza o recebimento e armazenagem
- Reduz cortes e dobramentos
- Facilita a montagem
- Toma mais rápida a liberação para concretagem

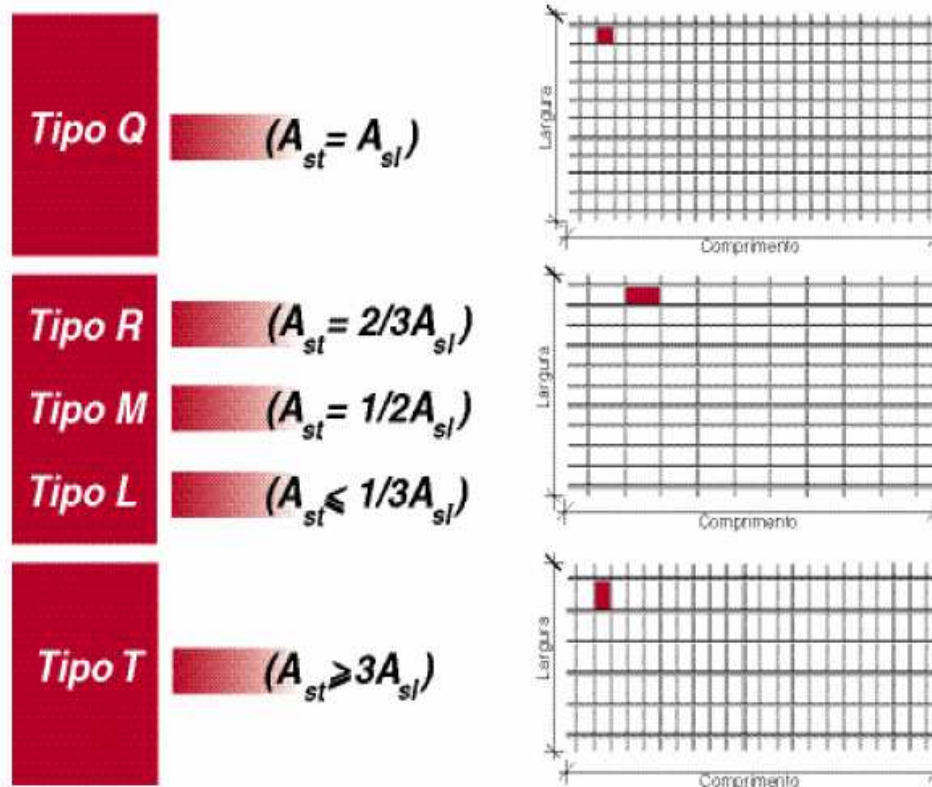
Observação

As Telas Nervuradas Belgo são transportadas através de guinchos, elevadores de obras, guinchos e sistemas de rolantes e cortadas por tesoura corta vergalhão e esmerilhadeira com disco de corte.

Elementos da Tela Soldada



Tipos de Telas



A_{st} = Área da seção dos fios transversais, por metro de tela

A_{sl} = Área da seção dos fios longitudinais, por metro de tela

Telas Soldadas Nervuradas para Argamassa Armada

Aço CA 60		Espaçamento entre fios (cm)	Diâmetro (mm)	Seções (cm²/m)	Apresentação	Dimensões (m)	Peso	
Série	Designação	Long. X Transv.	Long. X Transv.	Long. X Transv.		Larg. x Comp.	kg/m²	kg/Peça
98	EQ 98	5 X 5	2,5 X 2,5	0,98 X 0,98	ROLO	1,20 X 60,00 2,45 X 60,00	1,54	110,9 221,8

Telas Soldadas Nervuradas para Estruturas de Concreto Armado

Aço CA 60		Espaçamento entre fios (cm)	Diâmetro (mm)	Seções (cm ² /m)	Apresentação	Dimensões (m)	Peso	
Série	Designação	Long. X Transv.	Long. X Transv.	Long. X Transv.		Larg. X Comp.	kg/m ²	kg/Peça
61	Q 61	15 X 15	3,4 X 3,4	0,61 X 0,61	ROLO	2,45 X 120,00	0,97	285,2
75	Q 75	15 X 15	3,8 X 3,8	0,75 X 0,75	ROLO	2,45 X 120,00	1,21	355,7
92	Q 92	15 X 15	4,2 X 4,2	0,92 X 0,92	ROLO	2,45 X 60,00	1,48	217,6
	T 92	30 X 15	4,2 X 4,2	0,46 X 0,92	ROLO	2,45 X 120,00	1,12	329,3
113	Q113	10 X 10	3,8 X 3,8	1,13 X 1,13	ROLO	2,45 X 60,00	1,80	264,6
	L113	10 X 30	3,8 X 3,8	1,13 X 0,38	ROLO	2,45 X 60,00	1,21	177,9
	T113	30 X 10	3,8 X 3,8	0,38 X 1,13	ROLO	2,45 X 60,00	1,22	179,3
138	Q138	10 X 10	4,2 X 4,2	1,38 X 1,38	ROLO	2,45 X 60,00	2,20	323,4
	Q138	10 X 10	4,2 X 4,2	1,38 X 1,38	PAINEL	2,45 X 6,00	2,20	32,3
	R138	10 X 15	4,2 X 4,2	1,38 X 0,92	PAINEL	2,45 X 6,00	1,83	26,9
	M138	10 X 20	4,2 X 4,2	1,38 X 0,69	PAINEL	2,45 X 6,00	1,65	24,3
	L138	10 X 30	4,2 X 4,2	1,38 X 0,46	ROLO	2,45 X 60,00	1,47	216,1
	T138	30 X 10	4,2 X 4,2	0,46 X 1,38	ROLO	2,45 X 60,00	1,49	219,0
159	Q159	10 X 10	4,5 X 4,5	1,59 X 1,59	PAINEL	2,45 X 6,00	2,52	37,0
	R159	10 X 15	4,5 X 4,5	1,59 X 1,06	PAINEL	2,45 X 6,00	2,11	31,0
	M159	10 X 20	4,5 X 4,5	1,59 X 0,79	PAINEL	2,45 X 6,00	1,90	27,9
	L159	10 X 30	4,5 X 4,5	1,59 X 0,53	PAINEL	2,45 X 6,00	1,69	24,8
196	Q196	10 X 10	5,0 X 5,0	1,96 X 1,96	PAINEL	2,45 X 6,00	3,11	45,7
	R196	10 X 15	5,0 X 5,0	1,96 X 1,30	PAINEL	2,45 X 6,00	2,60	38,2
	M196	10 X 20	5,0 X 5,0	1,96 X 0,98	PAINEL	2,45 X 6,00	2,34	34,4
	L196	10 X 30	5,0 X 5,0	1,96 X 0,65	PAINEL	2,45 X 6,00	2,09	30,7
	T196	30 X 10	5,0 X 5,0	0,65 X 1,96	PAINEL	2,45 X 6,00	2,11	31,0
246	Q246	10 X 10	5,6 X 5,6	2,46 X 2,46	PAINEL	2,45 X 6,00	3,91	57,5
	R246	10 X 15	5,6 X 5,6	2,46 X 1,64	PAINEL	2,45 X 6,00	3,26	47,9
	M246	10 X 20	5,6 X 5,6	2,46 X 1,23	PAINEL	2,45 X 6,00	2,94	43,2
	L246	10 X 30	5,6 X 5,6	2,46 X 0,82	PAINEL	2,45 X 6,00	2,62	38,5
	T246	30 X 10	5,6 X 5,6	0,82 X 2,46	PAINEL	2,45 X 6,00	2,64	38,8
283	Q283	10 X 10	6,0 X 6,0	2,83 X 2,83	PAINEL	2,45 X 6,00	4,48	65,9
	R283	10 X 15	6,0 X 6,0	2,83 X 1,88	PAINEL	2,45 X 6,00	3,74	55,0
	M283	10 X 20	6,0 X 6,0	2,83 X 1,41	PAINEL	2,45 X 6,00	3,37	49,5
	L283	10 X 30	6,0 X 6,0	2,83 X 0,94	PAINEL	2,45 X 6,00	3,00	44,1
	T283	30 X 10	6,0 X 6,0	0,94 X 2,83	PAINEL	2,45 X 6,00	3,03	44,5
335	Q335	15 X 15	8,0 X 8,0	3,35 X 3,35	PAINEL	2,45 X 6,00	5,37	78,9
	L335	15 X 30	8,0 X 6,0	3,35 X 0,94	PAINEL	2,45 X 6,00	3,48	51,2
	T335	30 X 15	6,0 X 8,0	0,94 X 3,35	PAINEL	2,45 X 6,00	3,45	50,7
396	Q396	10 X 10	7,1 X 7,1	3,96 X 3,96	PAINEL	2,45 X 6,00	6,28	92,3
	R396	10 X 15	7,1 X 7,1	3,96 X 2,64	PAINEL	2,45 X 6,00	5,24	77,0
	M396	10 X 20	7,1 X 7,1	3,96 X 1,98	PAINEL	2,45 X 6,00	4,73	69,5
	L396	10 X 30	7,1 X 6,0	3,96 X 0,94	PAINEL	2,45 X 6,00	3,91	57,5
	T396	30 X 10	6,0 X 7,1	0,94 X 3,96	PAINEL	2,45 X 6,00	3,92	57,6
503	Q503	10 X 10	8,0 X 8,0	5,03 X 5,03	PAINEL	2,45 X 6,00	7,97	117,2
	R503	10 X 15	8,0 X 8,0	5,03 X 3,35	PAINEL	2,45 X 6,00	6,66	97,9
	M503	10 X 20	8,0 X 8,0	5,03 X 2,51	PAINEL	2,45 X 6,00	6,00	88,2
	L503	10 X 30	8,0 X 6,0	5,03 X 0,94	PAINEL	2,45 X 6,00	4,77	70,1
	T503	30 X 10	6,0 X 8,0	0,94 X 5,03	PAINEL	2,45 X 6,00	4,76	70,0
636	Q636	10 X 10	9,0 X 9,0	6,36 X 6,36	PAINEL	2,45 X 6,00	10,09	148,3
	L636	10 X 30	9,0 X 6,0	6,36 X 0,94	PAINEL	2,45 X 6,00	5,84	85,8
785	Q785	10 X 10	10,0 X 10,0	7,85 X 7,85	PAINEL	2,45 X 6,00	12,46	183,2
	L785	10 X 30	10,0 X 6,0	7,85 X 0,94	PAINEL	2,45 X 6,00	7,03	103,3
1131	L1131	10 X 30	12,0 X 7,1	11,31 X 1,32	PAINEL	2,45 X 6,00	10,09	118,6

Outras dimensões sob consulta.

Telas Soldadas Nervuradas Malhas Top*

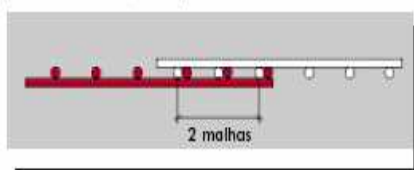
Designação	Malha (cm)	Bitola (mm)	Seções (cm ² /m)	Apresentação	Dimensões (m)		Peso kg/Peça
	L x T	L x T	L x T		Larg.	Comp.	
EQ 45 (leve)	20 X 20	3,4 X 3,4	0,45 X 0,45	PAINEL	2,0	3,0	4,26
EQ 61 (média)	15 X 15	3,4 X 3,4	0,61 X 0,61	PAINEL	2,0	3,0	5,82
EQ 92 (reforçada)	15 X 15	4,2 X 4,2	0,92 X 0,92	PAINEL	2,0	3,0	8,88
EQ 138 (pesada)	10 X 10	4,2 X 4,2	1,38 X 1,38	PAINEL	2,0	3,0	13,20

* Malhas Top são de fácil manuseio devido às suas dimensões reduzidas.

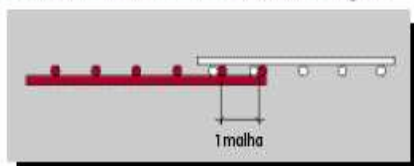
Emendas

Armaduras Principais

(Fios de $\varnothing \geq 8,0$ mm)

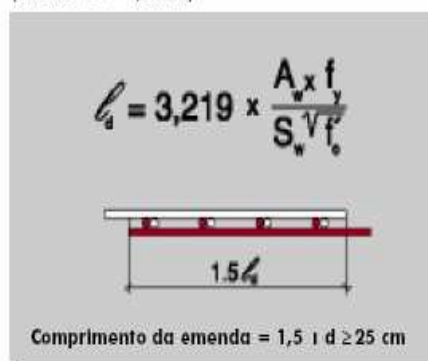


Armaduras de Distribuição



Armaduras Principais

(Fios de $\varnothing > 8,0$ mm)

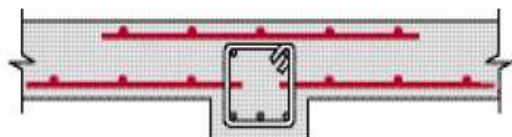


Expressão
para Cálculo
do Comprimento
da Emenda
para $\varnothing > 8$ mm

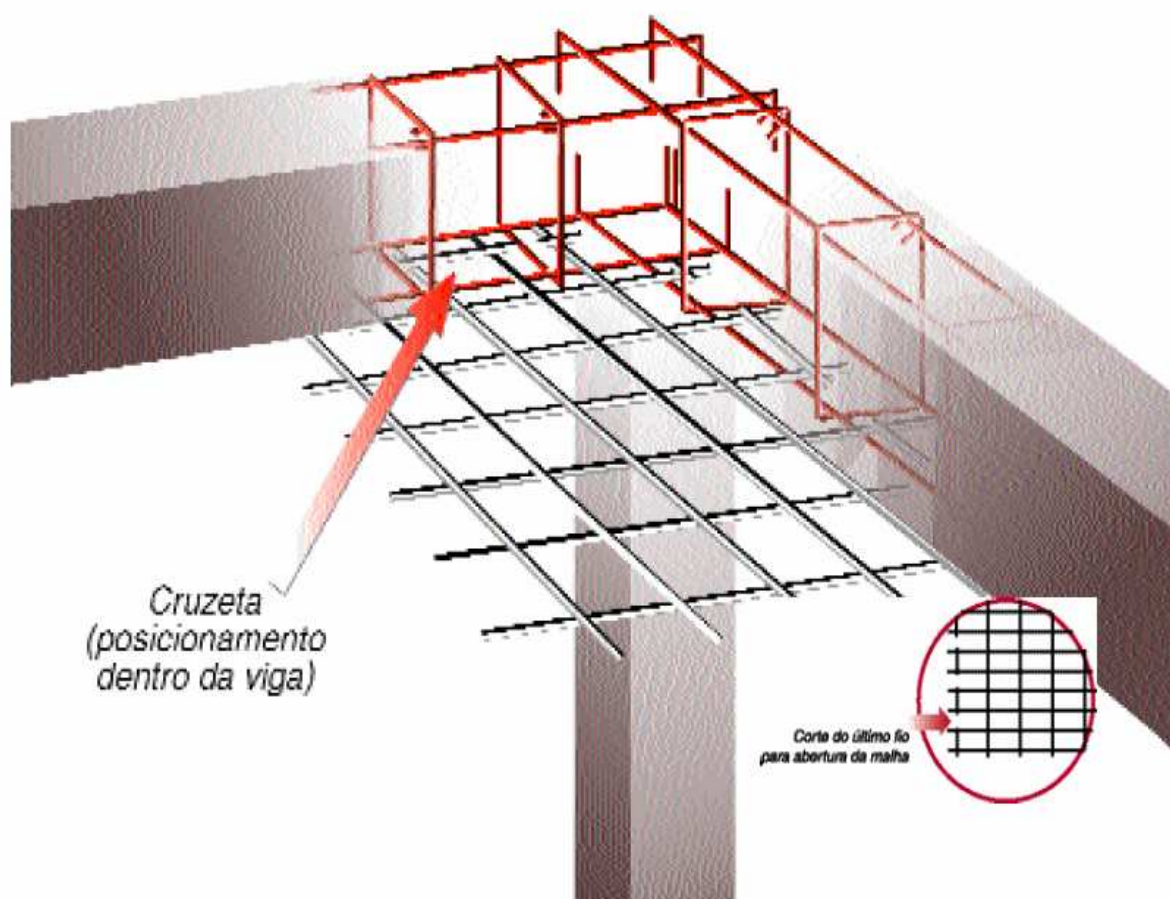
l_a = Comprimento da ancoragem (cm)
 A_s = Área de um fio a ser emendado (cm²)
 f_y = Tensão de escoamento do aço (MPa)
 S_w = Espaçamento do fio a ser emendado (cm)
 f'_c = Resistência à compressão do concreto (MPa)

Ancoragem

Em Vigas Intermediárias com Negativo



Em Vigas de Bordas



Anexo F - Rede PERT para Processo de Execução das Lajes

Uma rede PERT proposta para controle e planejamento deste projeto teria a seguinte configuração:

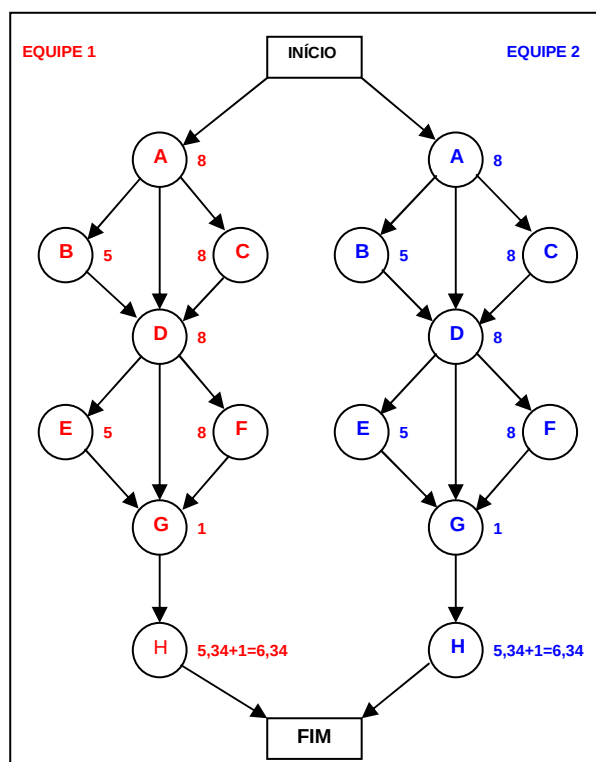


Figura F 1: Rede PERT

Tabela F 1: Atividades, atividades precedentes e duração estimada.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	PREDECESSORA	TEMPO (h)
A	Montagem do Steel Deck	-	8
B	Execução dos corte e fechamentos	A	5
C	Execução dos pontos de solda	A	8
D	Montagem da armação	A	8
E	Colocação dos espaçadores	D	5
F	Fixação da armação (ponteamento)	D	8
G	Montagem da tubulação do concreto	D	1
H	Concretagem (+ transferência da tubulação do concreto)	G	6,34
TOTAL			49,34

Determinação do caminho crítico:

Tabela F 2: Caminhos e seus respectivos comprimentos

CAMINHO	TEMPO PREVISTO (horas)	TOTAL (horas)
A-D-G-H	$8+8+1+6,34$	23,34
A-B-D-G-H	$8+5+8+1+6,34$	28,34
A-C-D-G-H	$8+8+8+1+6,34$	31,34
A-B-D-E-G-H	$8+5+8+5+1+6,34$	36,34
A-C-D-F-G-H	$8+8+8+8+1+6,34$	39,34

→ Caminho Crítico

O caminho crítico foi identificado a partir do cálculo de todos os caminhos a percorrer do projeto. O caminho crítico é o de tempo mais longo e, portanto possui folga igual a zero.

Desta forma o diagrama de rede com o caminho crítico identificado, assume a seguinte configuração:

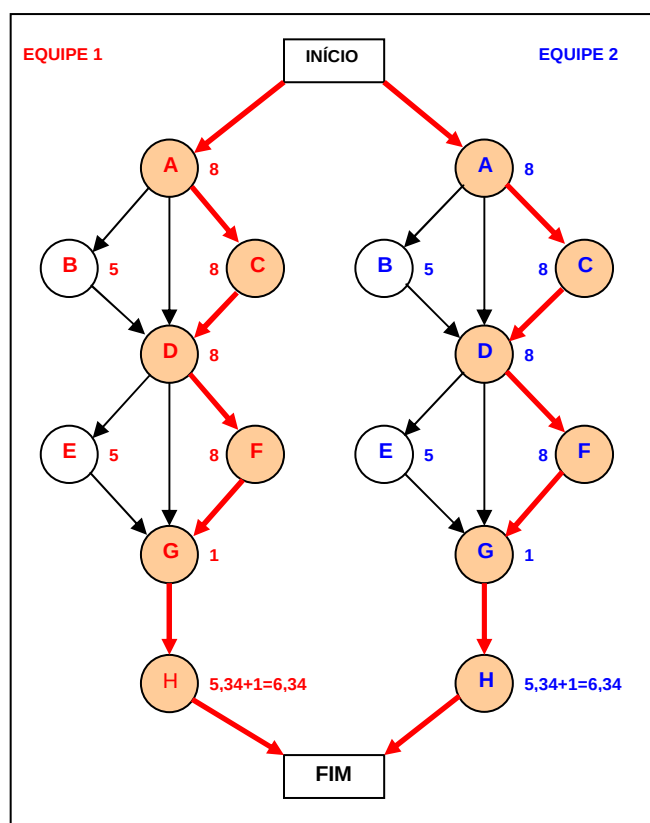


Figura F 2: PERT com caminho crítico

OBS: Esse diagrama foi concebido para representar um trecho do projeto de construção.

Variabilidade da Duração de um Projeto

A variabilidade das atividades é particularmente importante para aquelas que compõem o caminho crítico, mas essa importância pode se estender a outras atividades: se determinada atividade começar a demorar muito, ela pode passar a fazer parte de um novo caminho crítico.

Estimativas da metodologia PERT e cálculo da média e da variância para cada atividade, segundo a Tabela F 3, abaixo.

Tabela F 3: Estimativas PERT

Atividade	o	m	p	Média	Variância
A	7	8	12	8,5	0,69
B	3	5	10	5,5	1,36
C	5	8	12	8,166667	1,36
D	7	8	12	8,5	0,69
E	3	5	10	5,5	1,36
F	5	8	12	8,166667	1,36
G	0,5	1	2	1,083333	0,06
H	5	6,34	12	7,06	1,36

Com os valores da Tabela F 3, podemos, por exemplo, construir o cenário de pior caso, ou seja, determinar o Caminho Crítico utilizando as durações pessimistas. A Tabela F 3 mostra estes cálculos elaborados de maneira análoga aos da Tabela F 2.

Tabela F 4: Caminhos e seus respectivos Comprimentos para o Cenário Pior Caso

Caminho	Comprimento (horas)
Início-A-D-G-H-Fim	12+12+2+12=38
Início-A-B-D-G-H-Fim	12+10+12+2+12=58
Início-A-C-D-G-H-Fim	12+12+12+2+12=50
Início-A-B-D-E-G-H-Fim	12+10+12+10+2+12=58
Início-A-C-D-F-G-H-Fim	12+10+12+12+2+12=60

De acordo com a Tabela F 4 percebe-se que o Caminho Crítico para o cenário **Pior Caso** passa para 60 horas. Mas, qual a probabilidade que este cenário ocorra?

Na maioria dos projetos consideramos que o Caminho Crítico Médio é o caminho através da Rede que deveria ser o Caminho Crítico se a duração de cada atividade fosse a duração média, e ainda que, as atividades sobre o caminho Crítico Médio são **estatisticamente independentes**. A média da distribuição de probabilidade da duração total do projeto pode então ser expressa como:

$$\mu_p = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (\text{F. 1})$$

Onde: μ_i é a duração média da atividade **i** sobre o **Caminho Crítico Médio**.

A variância da distribuição de probabilidade da duração total do projeto é expressa como:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \quad (\text{F. 2})$$

Onde: σ_i^2 é a variância da atividade **i** sobre o **Caminho Crítico Médio**.

Tabela F 5: Estimativas PERT

Atividade	o	m	p	Média	Variância
A	7	8	12	8,5	0,69
B	3	5	10	5,5	1,36
C	5	8	12	8,166667	1,36
D	7	8	12	8,5	0,69
E	3	5	10	5,5	1,36
F	5	8	12	8,166667	1,36
G	0,5	1	2	1,083333	0,06
H	5	6,34	12	7,06	1,36

Verificamos que o Caminho Crítico Médio é Início-A-C-D-F-G-H-Fim, com $\mu_P = 41,48$ e $\sigma_P^2 = 5,53$.

Podemos ainda assumir que a forma da distribuição de probabilidade para a duração total do projeto é igual à de uma distribuição **normal**, e que desta forma é possível calcular a probabilidade de completar o projeto em **d** unidades de tempo. Para um empreendimento que possui T como a duração do projeto e que possui distribuição normal com média μ_P e σ_P^2 , o número de desvios padrão pelo que d excede μ_P é dado por:

$$k_\alpha = \frac{(d - \mu_P)}{\sigma_P} \quad (\text{F. 3})$$

Portanto, utilizando uma tabela dos valores da distribuição normal padrão (média = 0 e variância = 1), a probabilidade de completar o projeto em **d** unidades de tempo é :

$$P(T \leq d) = P(Z \leq k_\alpha) = 1 - P(Z > k_\alpha) \quad (\text{F. 4})$$

Então qual é a probabilidade do processo de execução das lajes ser completado em 37 dias, como calculado anteriormente?

Para este prazo alvo de execução ser alcançado é necessário que o tempo de execução parcial (2 lajes por etapa de concretagem) seja efetuado em $d = 39,34$ horas.

$$k_{\alpha} = (d - \mu_P) / \sigma_P = (39,34 - 41,48) / 2,35 = -0,910638298$$

e

$$P(T \leq d) = P(Z \leq k_{\alpha}) = 1 - P(Z > k_{\alpha}) = 1 - (0,18141) = 0,81859 \approx 0,82$$

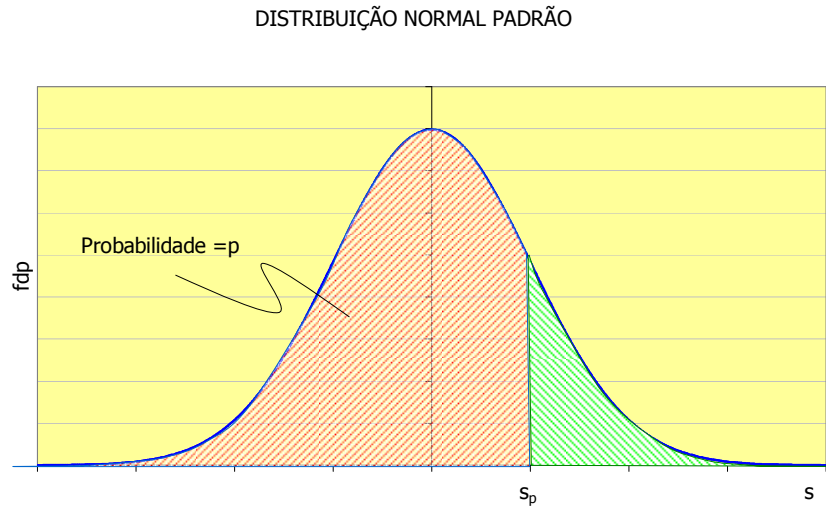


Figura F 3: Gráfico da distribuição normal padrão

Assim a probabilidade de terminar a etapa parcial em 39,34 horas é de 0,82 (que corresponde à área da figura hachurada laranja que é aproximadamente 0,82) isto é 82%.

Anexo G - Simulação dos Arranjos das Frentes de Serviço

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13	FRETE #1															#1#2	FRETE #2					
14	PRODUTIVIDD		Nº Pavim =		678	677	665	Tempo Execução			Conclusão Program.				Data	Data	PRODUTIVIDD		Nº Pavim =		671	667
15			Ocorrência		Pavimento			dias			data				Prox.	Prox.			Ocorrência		Pavimento	
16	Dia	SD	A	C	SD	A	C	SD	A	C	SD	A	C	C*	Event	Event	Dia	SD	A	C	SD	A
17	0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	1	2	3	4	1	1	0	0	0	0	0	0
18	1	1	0	0	1	-1	-1	1	0	0	2	2	4	4	2	2	1	1	0	0	2	0
19	2	1	1	0	3	1	-1	1	1	0	3	3	4	4	3	3	2	1	1	0	4	2
20	3	1	1	0	5	3	-1	1	2	0	4	5	4	5	4	4	3	0	0	0	4	2
21	4	1	0	0	7	3	-1	2	0	0	6	5	5	5	5	5	4	1	0	0	6	2
22	5	0	1	1	7	5	1	0	1	2	6	6	7	7	6	6	5	0	1	1	6	4
23	6	1	1	0	9	7	1	1	2	0	7	8	7	7	7	7	6	1	1	0	8	6
24	7	1	0	1	11	7	3	1	0	1	8	8	8	8	8	8	7	0	0	1	8	6
25	8	1	1	1	13	9	5	1	1	1	9	9	9	9	9	9	8	1	1	1	10	8
26	9	1	1	0	15	11	5	1	1	0	10	10	10	10	10	10	9	0	0	0	10	8
27	10	1	1	1	17	13	7	1	1	1	11	11	11	11	11	11	10	1	1	1	12	10
28	11	1	1	0	19	15	7	1	1	0	12	12	12	12	12	12	11	0	0	0	12	10
29	12	1	1	1	21	17	9	1	2	2	13	14	14	14	13	13	12	1	1	1	14	12
30	13	1	0	0	23	17	9	2	0	0	15	14	14	14	14	14	13	1	1	0	16	14
31	14	0	1	1	23	19	11	0	1	1	15	15	15	16	15	15	14	1	1	1	18	16
32	15	1	1	0	25	21	11	2	2	0	17	17	16	16	16	16	15	0	0	0	18	16
33	16	0	0	1	25	21	13	0	0	1	17	17	17	17	17	17	16	1	1	1	20	18
34	17	1	1	1	27	23	15	1	2	2	18	19	19	19	18	18	17	1	1	1	22	20

Figura G.1:Simulação (parte)

Aspectos gerais

A planilha acima é a representação de um trecho da planilha em Excel, originalmente concebida para análise da execução das atividades num intervalo de 1000 dias. A partir da utilização das funções do Excel é possível preparar uma programação que permita a simulação da chamada causa/efeito dos condicionantes de um processo. O resultado da simulação pode ser traduzido na forma de gráficos de produtividade (como mostra o capítulo 4).

Descritivo da concepção da programação

A Coluna A a partir da linha 17 representa a numeração dos dias de 0 a 1000.

As Colunas B, C e D representam a ocorrência dos eventos SD, A e C respectivamente *steel deck*, armação e concretagem. Nestas colunas a partir da linha 13, a **não ocorrência** do início da atividade é representada pelo algarismo **zero** e a **ocorrência do início** da atividade pelo algarismo **um**.

	A	B	C
13	FRENT		
14	PRODUT	Nº Pavimt =	
15		Ocorrência	
16	Dia	SD	A
17	0	0	0
18	=P17	=SE(\$A18=K17;1;0)	=SE(\$A18=L17;1;0)*SE(E17>F17+2;1;SE(B18>0;1;0))
19	=P18	=SE(\$A19=K18;1;0)	=SE(\$A19=L18;1;0)*SE(E18>F18+2;1;SE(B19>0;1;0))
20	=P19	=SE(\$A20=K19;1;0)	=SE(\$A20=L19;1;0)*SE(E19>F19+2;1;SE(B20>0;1;0))
21	=P20	=SE(\$A21=K20;1;0)	=SE(\$A21=L20;1;0)*SE(E20>F20+2;1;SE(B21>0;1;0))

Figura G.2

	D
13	
14	
15	
16	C
17	0
18	=SE(\$A18=N17;1;0)*SE(F17>G17+2;1;SE(C18=1;1;0))*SE(\$Q18=AD17;1;0)*SE(V17>W17+2;1;SE(S18=1;1;0))
19	=SE(\$A19=N18;1;0)*SE(F18>G18+2;1;SE(C19=1;1;0))*SE(\$Q19=AD18;1;0)*SE(V18>W18+2;1;SE(S19=1;1;0))
20	=SE(\$A20=N19;1;0)*SE(F19>G19+2;1;SE(C20=1;1;0))*SE(\$Q20=AD19;1;0)*SE(V19>W19+2;1;SE(S20=1;1;0))
21	=SE(\$A21=N20;1;0)*SE(F20>G20+2;1;SE(C21=1;1;0))*SE(\$Q21=AD20;1;0)*SE(V20>W20+2;1;SE(S21=1;1;0))

Figura G.3

As Colunas E, F e G a partir da linha 17 representam o número de pavimentos concluídos. Nestas colunas o algarismo um negativo (-1) indica que não foi executado nenhum pavimento.

	E	F	G
13			
14	$=((E1016+1)/2)*(1000/\$A1016)$	$=((F1016+1)/2)*(1000/\$A1016)$	$=((G1016+1)/2)*(1000/\$A1016)$
15	Pavimento		
16	SD	A	C
17	=-1	=-1	=-1
18	=B18*SE(\$A18=K17;2;0)+E17	=C18*SE(\$A18=L17;2;0)+F17	=D18*SE(\$A18=N17;2;0)+G17
19	=B19*SE(\$A19=K18;2;0)+E18	=C19*SE(\$A19=L18;2;0)+F18	=D19*SE(\$A19=N18;2;0)+G18
20	=B20*SE(\$A20=K19;2;0)+E19	=C20*SE(\$A20=L19;2;0)+F19	=D20*SE(\$A20=N19;2;0)+G19
21	=B21*SE(\$A21=K20;2;0)+E20	=C21*SE(\$A21=L20;2;0)+F20	=D21*SE(\$A21=N20;2;0)+G20

Figura G.4

As Colunas H, I e J calculam os tempos de execução de cada atividade. A função PROCV (que possui três argumentos) gera inicialmente a cada atualização um número aleatório, o 2º argumento indica que a leitura deve ser feita entre D6 e E9 (se for o caso da coluna H para SD) e o 3º argumento informa em que coluna do quadro do INPUT deve ser lido o resultado.

	H	I	J
13			
14	Tempo Execução		
15	dias		
16	SD	A	C
17	=PROCV(ALEATÓRIO(),\$D\$6:\$E\$9,2)	=PROCV(ALEATÓRIO(),\$F\$6:\$G\$9,2)	=PROCV(ALEATÓRIO(),\$H\$6:\$I\$9,2)
18	=B18*PROCV(ALEATÓRIO(),\$D\$6:\$E\$9,2)	=C18*PROCV(ALEATÓRIO(),\$F\$6:\$G\$9,2)	=D18*PROCV(ALEATÓRIO(),\$H\$6:\$I\$9,2)
19	=B19*PROCV(ALEATÓRIO(),\$D\$6:\$E\$9,2)	=C19*PROCV(ALEATÓRIO(),\$F\$6:\$G\$9,2)	=D19*PROCV(ALEATÓRIO(),\$H\$6:\$I\$9,2)
20	=B20*PROCV(ALEATÓRIO(),\$D\$6:\$E\$9,2)	=C20*PROCV(ALEATÓRIO(),\$F\$6:\$G\$9,2)	=D20*PROCV(ALEATÓRIO(),\$H\$6:\$I\$9,2)
21	=B21*PROCV(ALEATÓRIO(),\$D\$6:\$E\$9,2)	=C21*PROCV(ALEATÓRIO(),\$F\$6:\$G\$9,2)	=D21*PROCV(ALEATÓRIO(),\$H\$6:\$I\$9,2)

Figura G.5

Colunas K, L e M indicam a data programada para conclusão da atividade e funciona somando o dia da execução na coluna A com a da H da mesma linha. Por exemplo, a 1ª data programada para conclusão de SD (K17) deve ser A17 + H17. A 1ª data programada para conclusão de A (L17) é igual a K17 mais o tempo de execução da atividade I17 e finalmente a 1ª data programada para conclusão do concreto M17 é igual a L17 mais o tempo para execução da atividade J17.

	K	L
13		
14	Conclusão Program.	
15	data	
16	SD	A
17	=A17+H17	=K17+I17
18	=K17+H18	=SE(\$C18=0;SE(L17=MÍNIMO(\$K17:\$M17);L17+1;L17+I18);L17+I18)
19	=K18+H19	=SE(\$C19=0;SE(L18=MÍNIMO(\$K18:\$M18);L18+1;L18+I19);L18+I19)
20	=K19+H20	=SE(\$C20=0;SE(L19=MÍNIMO(\$K19:\$M19);L19+1;L19+I20);L19+I20)
21	=K20+H21	=SE(\$C21=0;SE(L20=MÍNIMO(\$K20:\$M20);L20+1;L20+I21);L20+I21)

Figura G.6

	M
13	
14	
15	
16	C
17	=L17+J17
18	=MÁXIMO(N17;SE(\$D18=0;SE(M17=MÍNIMO(\$K17:\$M17);M17+1;M17+J18);M17+J18))
19	=MÁXIMO(N18;SE(\$D19=0;SE(M18=MÍNIMO(\$K18:\$M18);M18+1;M18+J19);M18+J19))
20	=MÁXIMO(N19;SE(\$D20=0;SE(M19=MÍNIMO(\$K19:\$M19);M19+1;M19+J20);M19+J20))
21	=MÁXIMO(N20;SE(\$D21=0;SE(M20=MÍNIMO(\$K20:\$M20);M20+1;M20+J21);M20+J21))

Figura G.7

Coluna N é igual a data efetiva da concretagem C* que é a maior data entre as duas datas M17 e AC17 (tempo mais tarde) para que se faça a concretagem dos dois pavimentos ao mesmo tempo isto é Máximo(M17:AC17).

	N
13	
14	
15	
16	C*
17	=MÁXIMO(M17;AC17)
18	=MÁXIMO(M18;AC18)
19	=MÁXIMO(M19;AC19)
20	=MÁXIMO(M20;AC20)
21	=MÁXIMO(M21;AC21)

Figura G.8

Coluna O indica a data do próximo evento que é a menor data entre as datas de K17, L17 e N17 usando a função Mínimo(K17:L17;N17) para a frente de serviço 1 e Mínimo(AA17:AB17;AD17) para a frente de serviço 2.

13	
14	Data
15	Prox.
16	Event
17	=MÍNIMO(K17:L17;N17)
18	=MÍNIMO(K18:L18;N18)
19	=MÍNIMO(K19:L19;N19)
20	=MÍNIMO(K20:L20;N20)
21	=MÍNIMO(K21:L21;N21)

Figura G.9

As colunas P e AF representam a data das duas frentes ou do prédio e é a menor das datas de O17 e AE17 ou seja o Mínimo(O17;AE17).

	P
13	#1#2
14	Data
15	Prox.
16	Event
17	=MÍNIMO(O17;AE17)
18	=MÍNIMO(O18;AE18)
19	=MÍNIMO(O19;AE19)
20	=MÍNIMO(O20;AE20)
21	=MÍNIMO(O21;AE21)

Figura G.10

Coluna A e linha 18 é igual a P17 que é a data do próximo evento das duas frentes de serviço (do prédio).

Coluna B e linha 18 informam a ocorrência ou não do evento SD (1 ou 0) e utiliza a função SE e pergunta se a data de hoje (A18) é igual a data de conclusão do evento (K17), se for verdadeiro ocorreu o evento e a célula B18 informa 1, se for falso informa zero.

Coluna C e linha 18 informam a ocorrência ou não do evento A (1 ou 0) e utiliza a função SE e pergunta na 1ª parte se a data de hoje é dia de conclusão de A programada. Se for verdadeiro é 1, se for falso zero. Então na 2ª parte da função SE ele pergunta se E17>F17+2 (o andar de execução tem **mais** de dois pavimentos de defazagem) se for verdadeiro a resposta é 1, e pode ocorrer o evento, se for falso é zero (se for por exemplo igual a dois os pavimentos subiriam ao mesmo tempo).

	A	B	C
13	FRENTE		
14	PRODUT	Nº Pavimt =	
15		Ocorrência	
16	Dia	SD	A
17	0	0	0
18	=P17	=SE(\$A18=K17;1;0)	=SE(\$A18=L17;1;0)*SE(E17>F17+2;1;SE(B18>0;1;0))
19	=P18	=SE(\$A19=K18;1;0)	=SE(\$A19=L18;1;0)*SE(E18>F18+2;1;SE(B19>0;1;0))

Figura G.11

Coluna D e linha 18 informam a ocorrência ou não do evento C (1 ou 0) e utiliza a função SE e pergunta na frente 1 se a data de hoje é dia de conclusão de C programada e se a atividade armação possui dois pavimentos prontos, se não hoje tem concreto e armação. Na frente 2 pergunta em Q18 se hoje é dia programado de concreto e a atividade armação possui dois pavimentos de vantagem, se não hoje tem concreto e armação.

	D
13	
14	
15	
16	C
17	0
18	=SE(\$A18=N17;1;0)*SE(F17>G17+2;1;SE(C18=1;1;0))*SE(\$Q18=AD17;1;0)*SE(V17>W17+2;1;SE(S18=1;1;0))
19	=SE(\$A19=N18;1;0)*SE(F18>G18+2;1;SE(C19=1;1;0))*SE(\$Q19=AD18;1;0)*SE(V18>W18+2;1;SE(S19=1;1;0))

Figura G.12

Coluna E e linha 18 comparam com B18 se hoje é data de conclusão do SD coloca-se 2 e soma-se com o andar do dia anterior.

Coluna F e linha 18 comparam com C18 se hoje é data de conclusão de A coloca-se 2 e soma-se com o andar do dia anterior.

Coluna G e linha 18 comparam com D18 se hoje é data de conclusão de C nas duas frentes de serviço, coloca-se 2 e soma-se com o andar do dia anterior.

	E	F	G
13			
14	$=((E1016+1)/2)*(1000/$A1016)$	$=((F1016+1)/2)*(1000/$A1016)$	$=((G1016+1)/2)*(1000/$A1016)$
15	Pavimento		
16	SD	A	C
17	=-1	=-1	=-1
18	=B18*SE(\$A18=K17;2;0)+E17	=C18*SE(\$A18=L17;2;0)+F17	=D18*SE(\$A18=N17;2;0)+G17
19	=B19*SE(\$A19=K18;2;0)+E18	=C19*SE(\$A19=L18;2;0)+F18	=D19*SE(\$A19=N18;2;0)+G18

Figura G.13

Coluna H e linha 18 é igual a B18 multiplicado pelo prazo de SD definido pela função PROCV(ALEATÓRIO) de D6 a E9 com INPUT na 2ª coluna. O mesmo acontece em I18 e J18.

	H	I	J
13			
14	Tempo Execução		
15	dias		
16	SD	A	C
17	=PROCV(ALEATÓRIO);\$D\$6:\$E\$9;2)	=PROCV(ALEATÓRIO);\$F\$6:\$G\$9;2)	=PROCV(ALEATÓRIO);\$H\$6:\$I\$9;2)
18	=B18*PROCV(ALEATÓRIO);\$D\$6:\$E\$9;2)	=C18*PROCV(ALEATÓRIO);\$F\$6:\$G\$9;2)	=D18*PROCV(ALEATÓRIO);\$H\$6:\$I\$9;2)
19	=B19*PROCV(ALEATÓRIO);\$D\$6:\$E\$9;2)	=C19*PROCV(ALEATÓRIO);\$F\$6:\$G\$9;2)	=D19*PROCV(ALEATÓRIO);\$H\$6:\$I\$9;2)

Figura G.14

Coluna K e linha 18 é igual a data programada para conclusão de SD (K17) mais o tempo de execução de SD (H18).

Coluna L e linha 18 utilizam a função SE e perguntam se ocorreu o evento conclusão da armação C18, se verdadeiro então L17 que é a data da conclusão anterior vai ser somado ao tempo de conclusão da atividade (I18), se não, verificar se L17 é o mínimo de K17 a M17, se for verdadeiro o resultado é L17 + 1, se não, o resultado é L17 + I18.

	K	L
13		
14	Conclusão Program.	
15	data	
16	SD	A
17	=A17+H17	=K17+I17
18	=K17+H18	=SE(\$C18=0;SE(L17=MÍNIMO(\$K17:\$M17);L17+1;L17+I18);L17+I18)
19	=K18+H19	=SE(\$C19=0;SE(L18=MÍNIMO(\$K18:\$M18);L18+1;L18+I19);L18+I19)

Figura G.15

	M
13	
14	
15	
16	C
17	=L17+J17
18	=MÁXIMO(N17;SE(\$D18=0;SE(M17=MÍNIMO(\$K17:\$M17);M17+1;M17+J18);M17+J18))
19	=MÁXIMO(N18;SE(\$D19=0;SE(M18=MÍNIMO(\$K18:\$M18);M18+1;M18+J19);M18+J19))

Figura G.16

Anexo H - Análise pela Teoria das Filas

A análise dos problemas de filas de espera tem início com uma descrição dos elementos básicos da situação. Cada situação específica terá características diferentes, porém quatro elementos são comuns a todas as situações:

1. um *input*, ou população de clientes, que gera clientes potenciais;
2. uma fila de espera de clientes;
3. as instalações de serviço, que consistem em uma pessoa (ou equipe), uma máquina (ou grupo de máquinas) ou ambas necessárias para executar o serviço para o cliente;
4. uma regra de prioridade, que seleciona o próximo cliente a ser atendido pelas instalações de serviço.

População de clientes

Uma população de clientes é a fonte de *inputs* para o sistema de serviço.

População finita: quando o número de clientes novos para o sistema for consideravelmente afetado pelo número de clientes já existentes no sistema.

População infinita: quando o número de clientes no sistema não afeta o índice pelo qual a população gera novos clientes.

Sistema de serviços

É função do número de filas e pelo arranjo das instalações de serviço.

Número de filas: As filas de espera podem ser únicas ou múltiplas.

Arranjo das instalações de serviço: Existem cinco tipos básicos de arranjo das instalações de serviço – canal único e fase única, canal único e fases múltiplas, canais múltiplos e fase única, canais múltiplos e fases múltiplas, arranjo misto.

Regra de prioridade

Determina qual cliente será atendido em seguida. A maioria dos sistemas de atendimento utiliza a regra do primeiro a chegar, primeiro a sair (*first in, first out*).

Distribuições de probabilidade

As fontes de variação dos problemas de filas de espera resultam de chegadas aleatórias de clientes e das variações dos tempos de atendimento.

Distribuição das chegadas: Os clientes chegam aleatoriamente. A variabilidade das chegadas dos clientes muitas vezes pode ser descrita por uma distribuição de Poisson.

Distribuição dos tempos de atendimento: A distribuição exponencial é utilizada para fornecer o tempo de atendimento do cliente em uma instalação específica.

Simulação para o processo de execução das lajes:

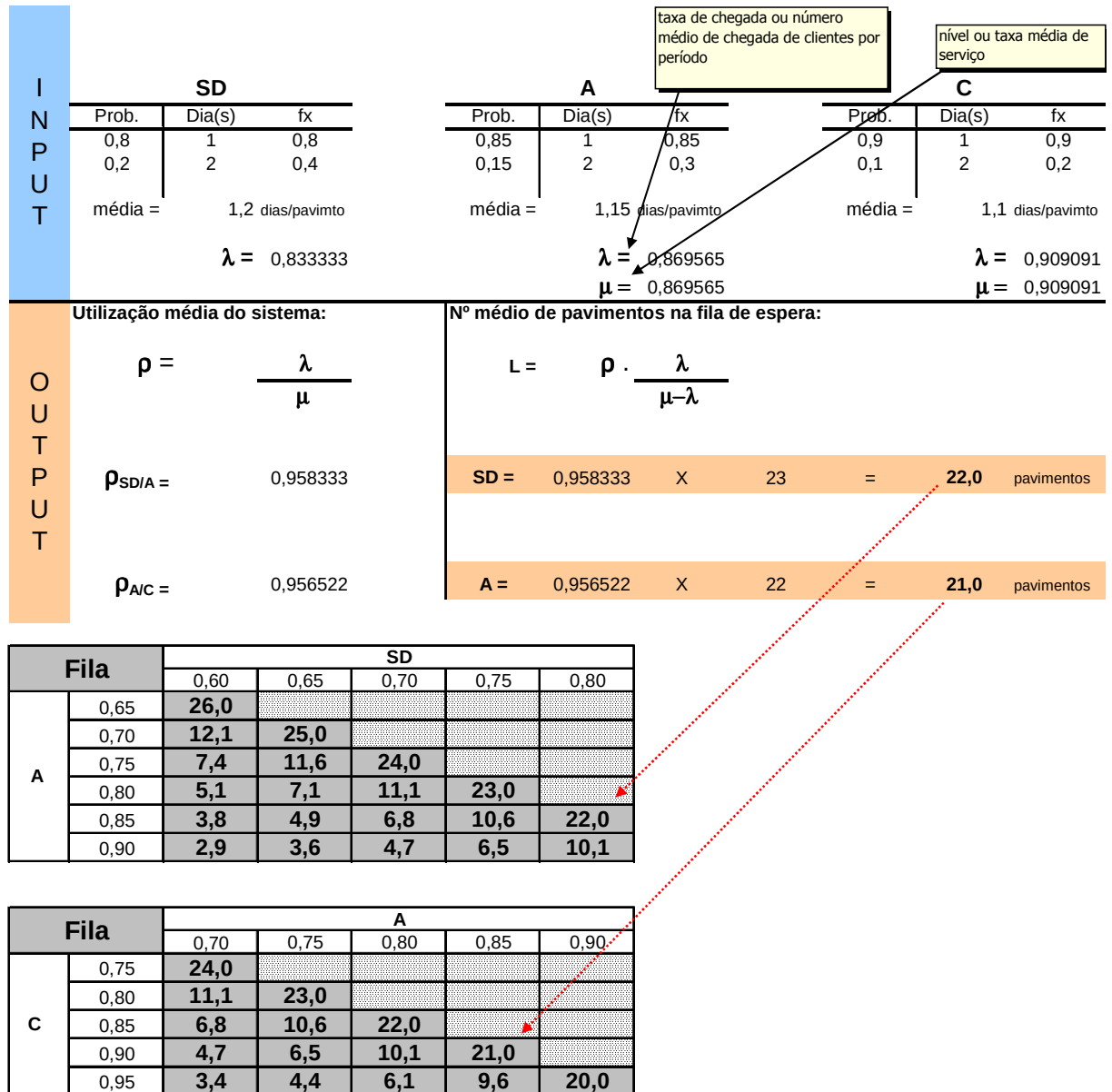


Figura H. 1: Detalhamento do cálculo das filas

Diferentes probabilidades de se executar determinada atividade em um dia são testadas e geram quantidades de andares em espera para a atividade posterior. Esses valores são calculados para diversas combinações de taxa de serviço e organizados na forma de tabelas de fila de SD/A e A/C. Essas tabelas deram origem aos gráficos utilizados para simular as tendências de comportamento das atividades em fluxo de acordo com a variação das taxas de serviço.

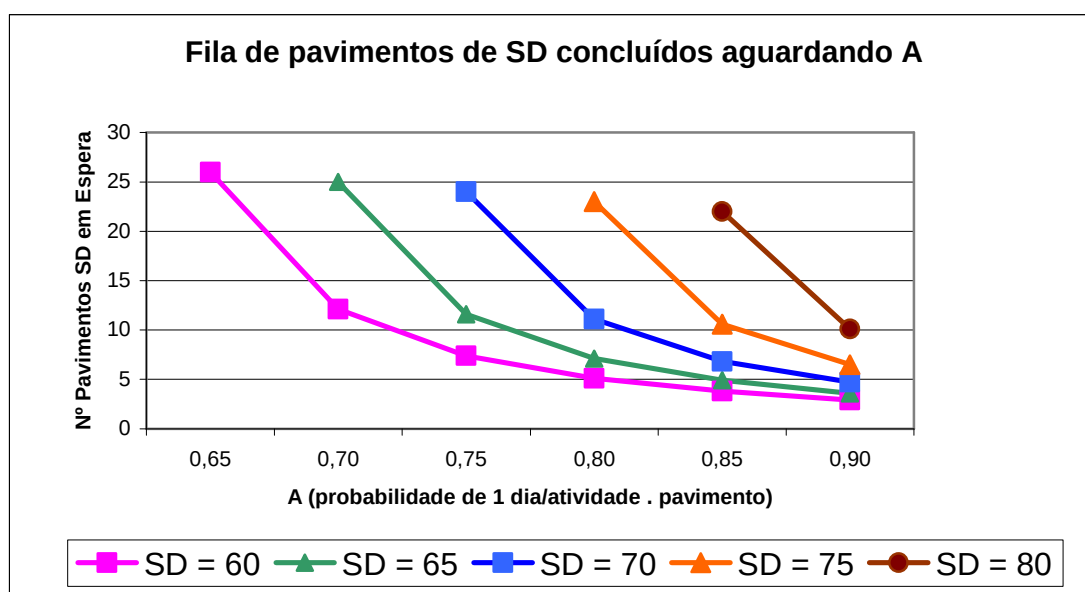


Figura H. 2: Exemplo de gráfico - Fila de SD/A

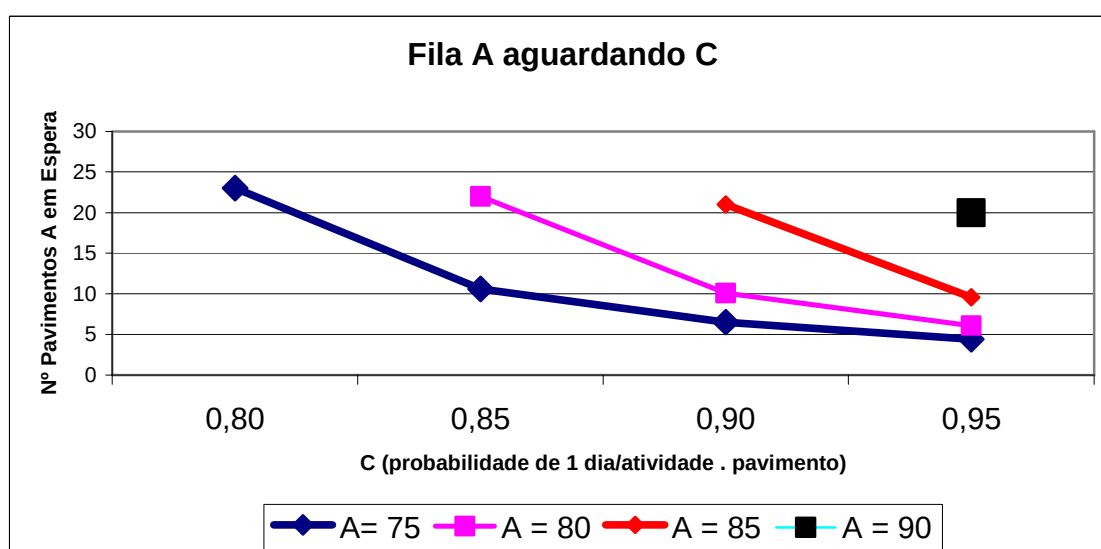


Figura H. 3: Exemplo de gráfico - Fila de A/C