

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

JOÃO BRUNO DOMINGUES BOCETTO

**SIMULAÇÃO DE FLUXO DE PESSOAS E MATERIAIS EM OBRA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Botucatu-SP
Junho – 2015

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

JOÃO BRUNO DOMINGUES BOCETTO

**SIMULAÇÃO DE FLUXO DE PESSOAS E MATERIAIS EM OBRA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Orientador: Prof. Dr. Celso Fernandes Joaquim Jr.

Projeto de Conclusão de Curso
apresentado à FATEC - Faculdade de
Tecnologia de Botucatu, para obtenção do
título de Tecnólogo no Curso Superior de
Logística.

Botucatu-SP
Junho – 2015

RESUMO

O presente trabalho simulou o fluxo de pessoas e materiais movimentados por um elevador vertical cremalheira em uma construção de edifício residencial e comercial na cidade de Botucatu-SP, visando quantificar o tempo gasto em filas de espera neste processo. Foram coletados os intervalos entre chegadas de cada colaborador, horário de subida, tempo em fila, quantidade de entidades que subiram por movimentação e o intervalo de cada subida, através de gravações feitas durante o período de uma semana. Os dados foram analisados através do módulo *Input Analyzer* do pacote computacional do *software* Arena a fim de definir a função estatística que melhor represente o comportamento dos mesmos. A partir das informações obtidas, criou-se o modelo de simulação do processo no *software* Arena, o qual foi validado através da comparação com os dados reais coletados. Os resultados obtidos para este trabalho permitiram quantificar o tempo ocioso dos colaboradores em consequência da espera pelo uso do mecanismo de movimentação por elevador cremalheira, alcançando aproximadamente 2% do tempo total nominal da carga de trabalho na obra, no período de três anos e meio.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Civil, Custos, Movimentação, Simulação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fluxo de materiais e informações.....	12
Figura 2 - Determinística x estocástica.....	28
Figura 3 - Discreta x continua	28
Figura 4 - Metodologia de uma simulação	33
Figura 5 – Intervalos de chegadas semana toda.....	38
Figura 6 - Intervalo de processo semana toda	39
Figura 7 - Agrupamento pessoas por viagem semana toda	40
Figura 8 - Ilustração do processo Arena	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos chegadas segunda-feira (em segundos)	37
Tabela 2 - Intervalos processo subida segunda-feira (em segundos)	39
Tabela 3 - Quantidade pessoas por subida segunda-feira	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Encargos trabalhistas	18
Quadro 2 - Classificação simulações	29
Quadro 3 - Valores reais semana x simulados semana.....	41
Quadro 4 - Resultado da Simulação	42

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivo	9
1.2 Justificativa e relevância do tema	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 Logística	11
2.1.1 A logística na construção civil	12
2.2 Custos na construção civil	13
2.2.1 Planejamento dos custos na logística da construção civil	16
2.2.2 Custo da mão de obra	17
2.3 Sistemas de movimentação de cargas na construção civil	18
2.3.1 Leis da Movimentação	19
2.3.2 Equipamentos de movimentação	21
2.3.2.1 Elevadores para a construção civil	23
2.4 Simulação	24
2.4.1 Vantagens e desvantagens	25
2.4.2 Simulação estática e dinâmica	27
2.4.3 Simulação determinística ou estocástica	27
2.4.4 Simulação discreta e contínua	28
2.4.5 Simulação terminante e não terminante	28
2.4.6 Metodologia para a simulação	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Material	35
3.2 Metodologia	35
3.3 Estudo de caso	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Intervalos entre chegadas dos funcionários	36
4.2 Tempos de transporte no elevador cremalheira	38
4.3 Número de funcionários transportados	39
4.4 Modelagem do estudo de caso no <i>software</i> Arena	41
5. CONCLUSÃO	42
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS	44
Apêndice A – Intervalos entre Chegadas	48
Apêndice B – Ilustração dos Intervalos entre Chegadas	53
Apêndice C – Intervalos entre Processos	55
Apêndice D – Ilustração dos Intervalos entre Processos	58
Apêndice E – Quantidade de Pessoas por Viagem	60

Apêndice F – Ilustração da Quantidade de Pessoas por Viagem	63
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável pela construção de casas, prédios, aeroportos, estádios, portos, faculdades, escolas, etc. Como resultado, é um importante fator impulsor da economia brasileira e da sociedade, contribuindo com o bem estar da população.

A construção civil é a área que mais tem capacidade de elevar a taxa de emprego, de produto e de renda, seja a curto ou médio prazo, pois sua competência de absorver mão de obra é muito grande (GRUPO MANZATO, 2014).

Ao longo dos anos, a construção civil não deu a devida importância à sua área de manufatura, os canteiros de obra. A preocupação dos gestores com o canteiro de obras sempre foi relacionada aos aspectos técnicos do projeto arquitetônico, sem a merecida preocupação com desperdícios, prazos e retrabalhos, ou seja, com o gerenciamento do fluxo de suprimentos. O capital das empresas sempre foi direcionado a parte técnico-estrutural, percebendo a carência de recursos no desenvolvimento de outras frentes que, em um primeiro momento, aparentam não impulsionar a produção, entre elas a logística.

Apesar das exigências pela qualidade relacionadas ao consumidor, ainda persistem os altos índices de desperdícios e improvisação dentro dos canteiros de obras da construção civil. A falta de modulação dos projetos ou de integração entre os mesmos, a tecnologia de informação pouco desenvolvida dentro do setor, a má administração dos materiais, as deficiências de formação e qualidade de mão de obra, as práticas construtivas não racionalizadas e as alterações de projetos que ocorrem no transcorrer do sistema construtivo, são as principais determinantes desta situação que age de forma contundente na redução do índice de produtividade e aumento considerável nos custos de produção.

Estes são fatos que vêm caracterizando a construção civil ao longo dos anos e que devem ser ajustados para que as empresas se tornem mais competitivas e garantam sua permanência no mercado. Porém, isso somente será possível se for atribuída a mesma importância que é dada aos aspectos técnico-estruturais, à gestão da cadeia de suprimentos, ou seja, aos aspectos técnico-logísticos. A gestão logística pouco desenvolvida no suprimento de materiais e serviços é a principal causa apontada da ineficiência produtiva. Entende-se que é necessário atribuir esforços aos aspectos logísticos de produção.

Segundo Barboza, Muniz e Urias (2010), a má administração dos materiais, a falta de mão-de-obra qualificada, a tecnologia da informação pouco desenvolvida no setor e as alterações de projetos, contribuem para um baixo índice da produtividade e aumento dos custos de produção. De acordo com Silva e Cardoso (1998), a competitividade tem

modificado o comportamento das empresas de construção civil, havendo uma maior valorização dos processos produtivos e uma maior atenção à racionalização construtiva, gestão da qualidade, produtividade da mão-de-obra e perdas de materiais. Uma importante ferramenta que aplicada a uma obra visa garantir o abastecimento, armazenagem, processamento e a disponibilização dos recursos nas frentes de trabalho, bem como o dimensionamento das equipes de produção e a gestão dos fluxos físicos de produção é a logística, que proporciona melhores resultados em todos os processos, trabalhando de forma integrada e coordenada.

A construção civil busca em todo o mundo agregar novas tecnologias às edificações, melhorando o conforto, utilidade e habitabilidade, entretanto, a viabilidade para o emprego destas “novas tecnologias” é vinculada a uma relação custo x benefício, ou seja, novas tecnologias somente serão viáveis se esta relação justificar o investimento, quer seja pela valorização do empreendimento, redução de custos, otimização das áreas ou comercialização.

A movimentação de materiais deve ser feita de forma detalhada e bem organizada, analisando todos os fatores que podem influenciar no desenvolvimento da empresa. Há fatores de extrema importância para uma realização eficiente, um deles - senão o principal - é a escolha dos equipamentos de movimentação. Esta importância justifica-se, pois, caso seja feita uma opção equivocada, poderá haver grandes perdas de lucros, já que deve ter um ambiente de trabalho propício para os materiais e equipamentos empenhados na atividade (OLIVEIRA, 2012).

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar o fluxo de pessoas e materiais que são movimentados por um elevador vertical cremalheira em uma construção de edifício residencial na cidade de Botucatu-SP, visando quantificar tempo gasto em filas de espera por movimentação e comparar com os resultados obtidos através da simulação computacional.

1.2 Justificativa e relevância do tema

O trabalho justifica-se por ser um tema que visa melhorar a produtividade e a otimização do tempo no empenho das atividades exercidas. Os resultados previstos para este trabalho permitiram avaliar se o mecanismo de movimentação por elevador cremalheira é um gargalo, resultando em tempo ocioso dos colaboradores. Os resultados também puderam auxiliar a encontrar medidas alternativas para a resolução do problema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com Vieira (2006), a construção civil tem uma grande importância na economia brasileira, representando uma média percentual em torno de 6% do PIB total do país. Sua participação é em média de 40% do total da mão-de-obra da indústria de transformação em geral, sendo a maior entre elas. Outro fator importante é sua interferência na natureza, quanto à grande quantidade de recursos naturais que a mesma utiliza, sendo de grande relevância para as questões ambientais quanto econômicas, referente a perdas ou consumo de materiais no canteiro de obras.

Ainda de acordo com Vieira, a construção civil precisa de melhorias contínuas no seu processo produtivo, e esta não tem dado a devida importância ao gerenciamento do fluxo de suprimentos, convivendo com o desperdício e o retrabalho dos seus processos de produção. As empresas de construção civil não sofreram a mesma ação competitiva sentida pelos outros setores industriais manufatureiros, após a abertura econômica e tecnológica brasileira pós-ditadura militar, pois já havia uma concorrência interna nesse seguimento industrial, o qual ficou mais acentuado com a concorrência externa provocada pela abertura econômica. Na construção civil a competitividade se restringia ao âmbito interno do país, tudo que era produzido era vendido, às vezes com algumas dificuldades em situações de crise econômica, mas era vendido.

A busca pela competitividade tem estimulado as empresas a procurarem alternativas que proporcionem maior eficiência de sua cadeia produtiva. Isso pode ser explicado pela mudança na percepção dos consumidores quanto aos seus direitos, tornando-se mais exigentes no atendimento às suas necessidades, impondo uma nova postura ao setor. Com isso os métodos construtivos têm evoluído, sendo adotada uma nova postura administrativa e de conhecimentos multidisciplinares por parte dos gestores.

Vale ressaltar que a área de suprimentos vem sofrendo uma evolução muito lenta, embora de maneira resoluta relacionada à continuidade produtiva. (VIEIRA, 2006). Está havendo uma aproximação perceptível do canteiro de obras na construção civil com a forma de operar da indústria seriada, a introdução de componentes pré-fabricados com um nível de padronização segue a linha da industrialização seriada, oferecendo 17 condições de ganhos em produtividade e redução de custos. A introdução de novos conceitos e técnicas conduz a necessidade da implementação de tecnologias da informação que possam proporcionar um ambiente integrado e produtivo.

2.1 Logística

A logística possui muitas definições formais formuladas pelos dicionários e também definições técnicas elaboradas por estudiosos. Das definições formais, entre tantas outras, tem-se: “a logística vem do francês *logistique*; é a parte da arte militar relativa ao planejamento, transporte e suprimento de tropas em operações; denominação dada pelos gregos à arte de calcular ou aritmética aplicada” (SLACK et al., 2002).

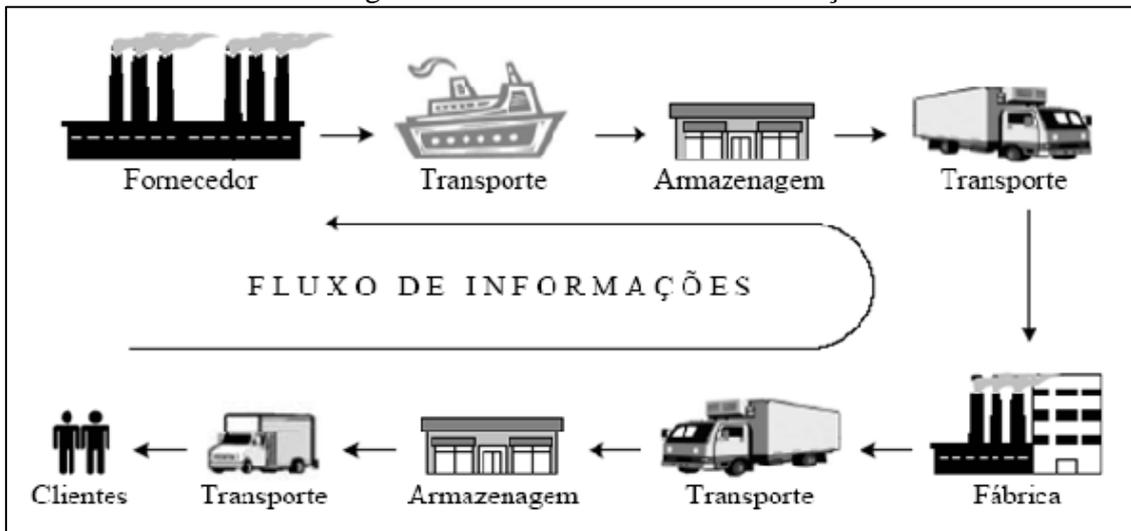
Partindo-se dessa definição formal e traçando-se um paralelo com a moderna logística, ou seja, com o processo sistêmico de administrar com tantos benefícios produzidos na indústria de manufatura, pode-se observar que houve um avanço substancial. Ela evoluiu em muitas outras áreas, constituindo-se numa ferramenta operacional que ultrapassou muitas fronteiras, possuindo, hoje, uma ampla área de atuação e de abrangência, nos mais diversos sistemas produtivos e empresariais. Isso fez com que a palavra logística não se restringisse apenas a materiais e produtos, mas, também, a serviços e mão-de-obra.

De acordo com Dias (2005 citado por BARBOSA et al., 2008, p.3) esses fatos motivaram a que os estudiosos fizessem uma reformulação em termos conceituais atribuindo definições menos específicas, das quais destacam-se duas: “a logística é o planejamento e a operação de sistemas físicos, informacionais e gerenciais necessários para que os insumos e produtos vençam condicionantes espaciais e temporais de forma econômica”.

Ainda de acordo com Dias (2005) pode-se constatar que, de uma forma mais objetiva, a logística é um processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bens, serviços e informações associadas, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor. Podemos também contextualizar operacionalmente a logística como: a função sistêmica de otimização do fluxo de materiais e informações de uma organização. A logística integra duas ou mais atividades gerenciais e operacionais, planejando e implementando o fluxo de materiais e de informações.

Em termos mais amplos, logística é a arte de administrar o fluxo de materiais e produtos da fonte até os usuários, conforme mostra ilustração na Figura 1. A logística é a área funcional presente nas organizações que integra o fluxo de informações e o de materiais, na busca da eficiência e eficácia das operações e do processo.

Figura 1 Fluxo de materiais e informações



Fonte: BARBOSA; MUNIZ; SANTOS, 2008.

2.1.1 A logística na construção civil

A introdução da logística na construção civil pode ser efetivada de uma forma bastante similar ao seu emprego numa indústria de manufatura, dada analogia existente entre um canteiro de obras e uma unidade fabril. Para que se possa iniciar a análise da introdução da tecnologia logística na construção civil, deve-se, inicialmente, definir cadeia de suprimentos sob a ótica de uma indústria seriada. Segundo Gomes (2004), “é o conjunto de organizações que inter-relacionam, criando valor na forma de produtos e serviços, desde o fornecedor da matéria-prima até o consumidor final”.

Essa definição sugere que, ao longo de uma cadeia de suprimentos, exista uma sucessão de serviços, manuseios, movimentações e armazenagens, possibilitando que se faça essa analogia com um canteiro de obras, em que este seria a unidade fabril com suas diversas organizações internas interdependentes (relação de continuidade) e intervenientes (relação de qualidade).

Essas organizações internas seriam as diversas etapas e equipes constituintes de uma obra, ou seja, equipes de infraestrutura (sondagem, escavação, cravação de estacas, confecção de blocos, etc.), equipes de supraestrutura (formas, ferragem, concretagem, alvenaria, pintura, hidráulica, elétrica, etc.), apresentando numa extremidade os fornecedores externos e, na outra, o consumidor do produto. Essas equipes nada mais são do que clientes internos que necessitam serem supridos de frentes de serviço, mão-de-obra ou materiais.

Para Barbosa (2008) essa analogia é racional, porém existem diferenças básicas entre a construção civil e a indústria de manufatura, das quais se destacam:

- a) imobilidade do produto: a mão-de-obra é que se desloca ao longo do produto;
- b) mão-de-obra com alta rotatividade e, geralmente, desqualificada;
- c) produto único e não seriado;
- d) alto custo e tempo elevado de produção;
- e) não existe distribuição física, etc.

Deve-se considerar que essas diferenças de forma alguma servem como barreira ou empecilho para introdução da logística nesse segmento industrial. Ao contrário, entende-se que são situações que requerem gerenciamento mais apurado proporcionado, sem dúvida, pelo gerenciamento logístico.

2.2 Custos na construção civil

Nas grandes obras, é preciso trabalhar a gestão de pedidos, o controle de estoque, o carregamento, o processo de transporte e de descarga do produto na obra, tudo isso sincronizado no tempo, buscando uma operação *just-in-time*. As dificuldades encontradas para suprir estas necessidades estão concentradas em entender as demandas das obras e apresentar a melhor solução.

De acordo com Santos e Farias Filho (1998), "visão de gestão deve ser voltada para a redução dos prazos, dos custos, das perdas e dos desperdícios, e um ambiente baseado na melhoria contínua e na otimização da flexibilidade".

Para Guerrini e Sacomano (2001) construção civil é tradicionalmente tratada a partir do canteiro de obras, como elemento central onde se buscam as soluções para minimizar perdas, deixando de fora o relacionamento com o cliente, fornecedores, atribuição de responsabilidades, capacidade da empresa em gerir e custear obras.

Sabe-se que os grandes vilões da construção civil brasileira sempre foram as perdas e os desperdícios, os quais estão fortemente vinculados, sem dúvida nenhuma, a uma gestão logística pouco desenvolvida. (VIEIRA, 2006).

Estes principais vilões, segundo Vieira (2006) se manifestam dentro do sistema produtivo de diversas formas, como, por exemplo:

- Perda de materiais em transportes;
- Perdas por superdimensionamentos como consumo excessivo de cimento ou outros aglomerantes por traços demasiadamente ricos;

- Perda de materiais em correções de retrabalhos ocasionados por inconformidades com as especificações ou por baixa qualidade;
- Perda de materiais ocasionados por problemas como ruptura de escoramentos, desaprumo e falta de esquadro em paredes, ondulações em revestimentos, vazamentos ou entupimentos de tubulações, pisos com caimentos invertidos, pinturas em superfícies despreparadas, etc.;
- Tempo gasto com mão-de-obra para execução de retrabalhos;
- Tempos ociosos de mão-de-obra devido à falta de "cancha" por deficiência no planejamento da produção;
- Tempos ociosos de equipamentos por deficiência no planejamento da produção e/ou ausência de uma política de manutenção;
- Compras feitas com base no menor preço, refletindo em insumos de baixa qualidade;
- Programa de seleção, contratação e treinamento inadequado;
- Falhas pós-transação, caracterizada por correções de imperfeições construtivas com custos elevados dentro dos prazos de garantia;
- Atrasos de cronogramas, repercutindo em multas, custos financeiros, improvisações, horas extras, etc.

Ainda de acordo com Vieira (2006) os desperdícios na construção civil são muito acentuados quando comparados com outros setores industriais.

Considerando apenas os desperdícios físicos mensuráveis na produção, pesquisa conduzida pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, no ano de 1998, para diferentes materiais e diversos canteiros de obras distribuídos em doze estados brasileiros, revela que, em média, são desperdiçados em torno de:

- 9% de concreto usinado;
- 10% de aço; e,
- 17% de blocos ou tijolos, para citar apenas alguns materiais.

Segundo Coutinho e Ferraz (1994 citado por VIEIRA, 2006), "o desperdício pode representar perdas de 25 % a 30 % do custo total da obra. A falta de projetos adequados e, principalmente, de planejamento contribui com 70% deste problema, provocando erros, falhas, serviços defeituosos e refeitos, ou seja, um constante retrabalho".

Definem-se perdas como qualquer ineficiência e/ou negligência no uso de materiais, mão-de-obra e equipamentos de forma a fazer com que sejam utilizadas quantidades

superiores às efetivamente necessárias à produção de um referido bem, ou seja, utiliza-se mais quantidade sem, com isso, agregar mais valor ao produto. As perdas de determinado material são mensuradas em função da diferença entre as quantidades utilizadas e as previstas no projeto. Emprega-se como indicador referencial a relação entre essa diferença e a quantidade de material prevista, em forma de número percentual, denominando-se de Índice de Perda.

Para Formoso et al. (1996), as perdas e desperdícios de materiais podem se apresentar de diversas formas:

- Por superprodução: ocorre pela produção de quantidades além das necessárias, como na produção de argamassas e concretos em volume superior ao que será utilizado efetivamente no serviço executado ou em espessuras superiores ao projetado para o elemento estrutural e/ou de vedação;
- Por transporte: associada ao manuseio excessivo ou inadequado de materiais em função de um mau planejamento de atividades ou de um layout de canteiro deficiente ou, também, na utilização de equipamentos de transportes inadequados;
- Por substituição: na utilização de um material de valor ou característica de desempenho superiores ao especificado, como no caso de uso de argamassas e concretos com traço de maior resistência que a especificada;
- No estoque: decorre da falta de cuidados no armazenamento dos materiais e da falta de locais adequados para sua armazenagem, como no caso da deterioração do cimento devido ao armazenamento em contato com solo ou empilhamento muito alto;
- Pela elaboração de produtos defeituosos (quando da fabricação de elementos que não atendem aos requisitos de qualidade especificados) com origem: na ausência de integração entre projeto e execução; nas deficiências em termos de planejamento e controle executivo; na utilização de materiais defeituosos; e na falta de treinamento de mão-de-obra, resultando em retrabalhos ou redução do desempenho do produto final;
- No procedimento com origem: na própria natureza das atividades envolvidas na realização do serviço ou na execução inadequada destas, ou seja, decorre da falta de procedimentos padronizados, da ineficiência dos métodos de trabalho, da falta de treinamento dos operários ou de deficiências no detalhamento e construtibilidade do projeto, sendo alguns exemplos a quebra de paredes rebocadas para viabilizar a execução de instalações, quebra manual de blocos devido à falta de meios blocos, etc.

Hoje, com a conscientização do consumidor em relação aos seus direitos e ao aumento da competitividade, a preocupação com a qualidade dos produtos, com a diminuição dos

custos e com o cumprimento dos prazos é uma premissa básica para que as empresas se mantenham no mercado.

Portanto, torna-se necessário que a forma de gestão da produção no seu ambiente produtivo, o canteiro de obras, seja encarado como um diferencial estratégico e como tal mereça toda atenção técnica, gerencial e administrativa, que pode ser viabilizada de forma inequívoca pela administração através da tecnologia logística (VIEIRA, 2006).

2.2.1 Planejamento dos custos na logística da construção civil

As atividades de suprimento e armazenagem de materiais, transporte e movimentação e circulação no canteiro de obras, segundo Farah (1992), são consideradas pontos de estrangulamento importantes na atividade da construção civil. Por outro lado, Laufer (1985) afirma que, apesar de os materiais terem maior participação no custo final da obra, é a mão-de-obra que faz movimentar os materiais e impulsiona a manufatura, residindo aí o maior potencial de redução de custos e aumento da eficiência, sob o controle do gerente da obra e sendo dele que depende a eficácia do objetivo a ser atingido.

Entende-se que ambas as considerações são extremamente fundamentadas e é onde reside efetivamente o ponto merecedor de todas as atenções e de uma forma contundente. Deve-se considerar, por outro lado, que para possibilitar essa tomada de ação são necessários um grande controle, coordenação e integração de todos os agentes envolvidos no processo, tanto os internos como os externos. E é exatamente essa a finalidade de um processo logístico, que embasado em sua metodologia operacional e, com certeza, numa tecnologia de informação eficaz, pode tornar possível alcançar o objetivo pretendido. (VIEIRA, 2006).

Para isso é necessária a conscientização dos problemas existentes, das ferramentas que possam solucioná-los e, principalmente, da determinação em atingir os objetivos propostos.

Para Vieira (2006) a simplificação do processo de gestão é obtida através do planejamento criterioso do ambiente produtivo, o qual deverá estar perfeitamente adequado às especificidades do que será produzido. Esse planejamento inicia-se evidentemente muito antes da construção propriamente dita, ou seja, na fase da elaboração dos projetos através da integração dos mesmos com o objetivo de melhorar os processos já nessa fase. É o que se pode chamar de "Planejamento Logístico Prévio". Sabe-se que um dos problemas que afetam de maneira significativa a continuidade produtiva na construção é a falta de integração entre os projetos intervenientes, e isso tem reflexos diretos em todas as etapas subsequentes de produção.

Ainda de acordo com Vieira (2006) uma vez planejada essa primeira fase, parte-se para a elaboração do planejamento da produção (projeto construtivo), do planejamento da programação do fluxo de suprimentos para cada uma das etapas previstas no projeto construtivo (materiais, serviços e mão-de-obra), necessárias à produção no tempo e no espaço, e da avaliação do desempenho dos processos. Um fluxo de serviço bem planejado, suprido adequadamente de suas ferramentas básicas, que são materiais e mão-de-obra, irá redundar em redução de tempo improdutivo, perdas e retrabalhos.

2.2.2 Custo da mão de obra

Quando o empregador contrata um funcionário (ou vários) para sua obra, ele deve tomar cuidado para não considerar, em seu planejamento, apenas o custo do salário-base do profissional.

Por força da lei trabalhista brasileira, a empresa contratante deve recolher contribuições sobre a folha de pagamento de seus funcionários registrados. Os destinos do dinheiro são diversos: uma parte vai para a previdência social, outra para o FGTS do funcionário, uma fração ajuda na manutenção do sistema Sesi/Senai/Sebrae, e assim por diante.

Segundo Faria (2011) é preciso colocar na ponta do lápis, também, o pagamento de férias, abono pecuniário, 13o salário, etc., que são direitos de todo trabalhador formal. Além disso, toda obra em algum momento acaba, e os operários geralmente são demitidos. Dessa forma, o empregador também deve considerar as indenizações que irá pagar, como aviso-prévio e multa por demissão sem justa causa.

Para dar conta de todos esses custos, chamados de encargos sociais e trabalhistas, o empregador deve reservar uma verba que muitas vezes é maior do que o próprio salário que será pago ao profissional. Mas isso não significa que a empresa vai gastar toda essa verba. A licença-paternidade, por exemplo, é um dos encargos sociais previstos no planejamento de custos. No entanto, o trabalhador poderá não ter um filho durante a construção. Nesse caso, o empregador não precisará custear a licença de cinco dias de trabalho, e o dinheiro reservado vai para o caixa da obra.

Para efeito de planejamento e orçamento, os profissionais são divididos em dois grupos – horistas e mensalistas. A taxa de encargos é diferenciada para cada um deles. Segue abaixo o Quadro 1, que demonstra todos os encargos e a porcentagem para cada um dos grupos.

Quadro 1 - Encargos trabalhistas

Tipo	Descrição	Exemplos	Encargos
Horista	Funcionário que atua na execução da obra e cujo salário se baseia na quantidade de horas trabalhadas (R\$/h) no mês. Nesse tipo de contratação deve ser considerada descanso semanais e feriados remunerados, como encargos trabalhistas o que aumentam a taxa de leis sociais.	Servente, carpinteiro, pedreiro, armador, encanador, eletricitista, azulejista, graniteiro, ladrilhista, etc.	129,34%
Mensalista	Profissionais cujo salário não se baseia em produtividade horária. São integrantes da equipe técnica, administrativa e de supervisão da obra. No salário mensal já estão embutidos descansos semanais e feriados, reduzindo o total dos encargos sociais.	Engenheiros, vigias, secretária, topógrafo, apontador, almoxarife, etc.	78,33%
Encargos Considerados	Previdência Social, FGTS, Salário Educação, Serviço Social da Indústria (SESI), Serviço de Apoio às Microempresas, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Seguro contra acidente de trabalho, Serviço Social da Indústria da Construção Civil (Seconci), Repouso semanal e feriados*, Auxílio a enfermidade*, Licença paternidade*, 13º Salário, Dias de chuva e outras dificuldades*, Multa de rescisão contratual, Férias (+1/3), Aviso prévio.		
* Apenas para horistas, pois já estão cobertos no salário pactuado entre os mensalistas e o empregador.			

Fonte: FARIA, 2011

2.3 Sistemas de movimentação de cargas na construção civil

Para que a matéria-prima possa transformar-se ou ser beneficiada, pelo menos um dos três elementos básicos de produção - homem, máquina ou material - deve movimentar-se; se não ocorrer essa movimentação, não se pode pensar em termos de processo produtivo.

Para Dias (2010), a movimentação e o transporte de material são classificados de acordo com a atividade funcional a que se destinam.

Granel - Abrange os métodos e equipamentos de transportes usados desde a extração, até o armazenamento de toda a espécie de materiais a granel, incluindo gases, líquidos e sólidos.

Cargas unitárias - Basicamente trata-se de cargas contidas em um recipiente de paredes rígidas ou individuais ligadas entre si, formando um todo único do ponto de vista de manipulação.

Embalagem - É o conjunto de técnicas usadas no projeto, seleção e utilização de recipientes para o transporte de produtos em processo e produtos acabados.

Armazenamento - Compreende o recebimento, empilhamento ou colocação em prateleiras ou em suportes especiais, assim como expedição de cargas de qualquer forma, em qualquer fase do processamento de um produto ou na distribuição do mesmo.

Vias de transporte - Abrange o estudo do carregamento, definição do modal do transporte, desembarque e transferência de qualquer tipo de materiais nos terminais das vias de transporte, ou seja, portos, ferrovias e rodovias.

Análise de dados - Nessa área estão contidos todos os aspectos analíticos da movimentação de materiais, tais como: levantamento de rotas de transportes, disposição física do equipamento, organização, treinamento, segurança, manutenção, padronização, análise de custos e outras técnicas para o desenvolvimento de um sistema eficiente de movimentação de materiais.

Ainda de acordo com Dias (2010), o acréscimo no custo do produto que proporciona maior valor agregado pode ser aceitável, mas no caso da movimentação, esta não contribui em nada, podendo somente barateá-la com uma seleção adequada do método mais compatível à natureza e ao regime da produção.

Se considerarmos a movimentação como problema separado dos demais, podemos concluir, por exemplo, que a simples redução nos trajetos percorridos pelo material em suas diversas etapas, do estoque à expedição, constituiria a solução ideal. Quando se pensa em termos macro, porém, esta solução simplista pode acarretar ociosidade de homens e equipamentos em determinadas estações de trabalho, anulando por completo o objetivo, com reflexos negativos na linha de produção, ou seja, aumento de custos e redução de lucros.

2.3.1 Leis da Movimentação

Para Dias (2010), existem leis que devem ser seguidas para que o sistema de movimentação seja mais eficiente:

- Obediência ao fluxo das operações - Disponha a trajetória dos materiais de forma que a mesma seja a sequência de operações. Ou seja, utilize sempre, dentro do possível, o arranjo tipo linear.

- Mínima distância - Reduza as distâncias e transporte pela eliminação de ziguezagues no fluxo dos materiais.
- Mínima manipulação - Reduza a frequência de transporte manual. O transporte mecânico custa menos que as operações manuais de carga e descarga, levantamento e armazenamento. Evite manipular os materiais tanto quanto possível ao longo do ciclo de processamento.
- Segurança e satisfação - Leve sempre em conta a segurança dos operadores e do pessoal circulante, quando selecionar os equipamentos de transporte de materiais.
- Padronização - Use equipamento padronizado na medida do possível. O custo inicial é mais baixo, a manutenção é mais fácil e mais barata e a utilização desse equipamento é mais variada por ser mais flexível que equipamentos especializados.
- Flexibilidade - O valor de determinado equipamento para o usuário é proporcional à sua flexibilidade, isto é, capacidade de satisfazer ao transporte de vários tipos de cargas, em condições variadas de trabalho.
- Máxima utilização do equipamento - Mantenha o equipamento ocupado tanto quanto possível. Evite acúmulo de materiais nos terminais do ciclo de transporte. Se não puder manter o equipamento de baixo investimento, mantenha o quociente tão baixo quanto possível (1/4 é considerado o ideal).
- Máxima utilização da gravidade - Use a gravidade sempre que possível. Pequenos trechos motorizados de transportadores podem elevar carga a uma altura conveniente para suprir trechos longos de transportes por gravidade.
- Máxima utilização do espaço disponível - Use o espaço vertical sempre que possível. Empilhe cargas ou utilize suportes especiais para isso.
- Método alternativo - Faça uma previsão de um método alternativo de movimentação em caso de falha do meio principal de transporte. Essa alternativa pode ser bem menos eficiente que o processo principal, mas pode ser de grande valor em casos de emergência.
- Menor custo total - Selecione equipamentos com base em custos totais e não somente em custo inicial, custo operacional, ou de manutenção. O equipamento escolhido deve ser aquele que apresenta o menor custo total para uma vida útil razoável e a uma taxa de retomo do investimento adequada.

2.3.2 Equipamentos de movimentação

Para Dias (2010) a classificação normalmente adotada para os equipamentos de movimentação e transporte situa-os em grupos bastante amplos, de acordo com uma generalização geométrica e funcional. Nesta classificação são incluídos também os dispositivos de carga, descarga e manuseio que, não sendo máquinas, constituem o meio de apoio à maioria dos sistemas modernos:

- Transportadores - Correias, correntes, fitas metálicas, roletes, rodízios, roscas e vibratórios.
- Guindastes, talhas e elevadores - Guindastes fixos e móveis, pontes rolantes, talhas, guinchos, monovias, elevadores etc.
- Veículos industriais - Carrinhos de todos os tipos, tratores, trailers e veículos especiais para transporte a granel.
- Equipamento de posicionamento, pesagem e controle - Plataformas fixas e móveis, rampas, equipamentos de transferência etc.
- Containers e estruturas de suporte - Vasos, tanques, suportes e plataformas, estrados, pallets, suportes para bobinas e equipamento auxiliar de embalagem.

O problema de movimentação de materiais deve ser analisado junto com o layout; para tal, uma série de dados é necessária: produto (dimensões, características mecânicas, quantidade a ser transportada), edificação (espaço entre as colunas, resistência do piso, dimensão de passagens, corredores, portas etc.), método (sequência das operações, método de armazenagem, equipamento de movimentação etc.), custo da movimentação, área necessária para o funcionamento do equipamento, fonte de energia necessária, deslocamento, direção do movimento, operador.

Ainda de acordo com Dias (2010) se deve atentar para a possibilidade de alteração frequente no layout básico (devido à mudança no método, produto ou regime de operação). Nestes casos, o fator flexibilidade do equipamento passa a ser de importância fundamental, pois o equipamento deverá operar em condições de regime irregular de transporte de materiais de formatos diversos e, em muitos casos, estar apto a receber a adaptação de dispositivos especiais; em outra situação, o transporte e movimentação seriam atendidos por equipamentos especializados para uma só modalidade de operação.

A inversão em equipamento automático ou semiautomático só se justifica diante de um regime elevado de movimentação, com um fluxo uniforme de produtos em trajetória constante.

A velocidade do equipamento tem a sua importância, pois deve se adaptar ao volume de expedição e recebimento. A possibilidade de variação de velocidade em equipamentos automáticos ou semiautomáticos torna-se altamente desejável, para compensar a inexperiência dos operários, o índice de perdas e mesmo a ausência ocasional de pessoal.

Quanto à trajetória, esta influi no depósito, pois exige, conforme o caso, uma apropriação de espaço dentro do qual não se admitem outras operações que ocupam o espaço para operação do equipamento. Um transportador é exemplo de trajetória fixa, enquanto uma ponte rolante funciona em trajetória limitada; empilhadeiras, composições rebocadas por tratores e carrinhos motorizados têm absoluta liberdade de trajetória.

Quanto à carga, o método de avaliação varia também de acordo com o equipamento; os transportadores são selecionados na base do peso por unidade de comprimento ou densidade do material a granel, dimensão das partículas e ângulo de repouso, enquanto nas empilhadeiras, por exemplo, o que interessa é o peso máximo que pode ser transportado em relação à distância do centro de gravidade da carga aos centros das rodas dianteiras.

Partindo-se do volume de material expedido e recebido desejado, sabe-se o volume total que deve ser transportado por unidade de tempo. Este, de acordo com o tempo completo de ciclos e com a capacidade de movimentação, determina a necessidade ou não de se instalar ou lotar mais de um equipamento típico em determinada área do depósito.

O tempo de ciclo é resultado da composição dos tempos de carga, de movimentação, de armazenagem e de descarga (ao qual se deve adicionar o retomo vazio, se for o caso). A determinação do tempo total e dos tempos parciais varia, assim, com o equipamento. Uma empilhadeira não tem tempo de armazenagem, mas, por outro lado, retoma vazia ao ponto inicial de carga; um transportador de roletes apresenta certo tempo de armazenagem ao fim de sua trajetória, mas não há retomo “vazio”, pelas próprias características de sua utilização.

O tempo pode ser medido de maneira elementar, por meio de cronometragem ou, ainda, por sistema de análise mais complexo, como unidades de tempo, amostragem de trabalho ou programação linear, o que representa um ótimo controle (DIAS, 2010).

2.3.2.1 Elevadores para a construção civil

De acordo com Rodrigues (2013) os elevadores de carga na construção civil são equipamentos bastante importantes, pois, contribuem direta e indiretamente para uma maior qualidade da obra e uma maior rapidez. Se não existissem elevadores de carga, os operários teriam que carregar a carga utilizando apenas a força física, o resultado seria: cansaço e demora. Contudo, como existem elevadores, transportar cargas pesadas tornou-se uma tarefa muito mais fácil, acelerando o processo de construção, desta forma os elevadores de carga contribuem diretamente para acelerar a obra permitindo a movimentação rápida de cargas pesadas.

Por outro lado, os elevadores de carga contribuem indiretamente para melhorar a qualidade da construção e para aumentar a velocidade de construção da obra, isto porque vão estar a poupar os operários de esforços físicos que provocariam níveis altos de fadiga, o que se reflete posteriormente na qualidade e velocidade do processo de construção.

Existem dois tipos de elevadores que são utilizados pelas construtoras:

Elevador a Cabo - O elevador a cabo, também apelidado de “prancha” é um elevador de carga constituído por uma torre, uma cabina, e um guincho. A cabina é movimentada através de um cabo de aço que se vai enrolando ou desenrolando á medida que a cabina sobe ou desce.

Temos neste tipo de elevador cabinas semifechadas, que devem ser usadas apenas para transporte de materiais. E ainda existem as cabinas fechadas que são ideais para transporte de pessoas, também podem ser utilizadas para transporte de materiais, contudo não é recomendável que sejam simultaneamente transportadas pessoas e materiais.

Elevador Cremalheira - O elevador cremalheira funciona através de uma barra dentada e de uma engrenagem especialmente desenhada para aquela barra. Todo o sistema deste elevador irá garantir que as pessoas e a carga possam ser facilmente movidas. Acelerando assim o processo de construção.

Ainda de acordo com Rodrigues (2013), o elevador de cremalheira foi desenhado para desempenhar este tipo de atividades na indústria da construção civil. A estrutura é pré-montada, o que significa que o tempo o processo de montagem e desmontagem é extremamente mais simples e rápido quando comparado com o elevador a cabo.

Para ser montado, o elevador cremalheira requer apenas uma semana. Já o elevador a cabo, vai requer pelo menos duas. Já se o caso forem obras industriais, o tempo de montagem

para um elevador a cabo é de 10 a 12 semanas. No entanto, o elevador a cremalheira requer apenas entre 3 a 4 semanas.

No que diz respeito á fixação, considera-se que o elevador cremalheira é mais seguro. Em termos de segurança, os sistemas de frenagem no elevador cremalheira são mais eficazes. O elevador cremalheira transporta o dobro de pessoas que um elevador a cabo, sendo um ponto desfavorável o seu preço; bastante superior ao do elevador a cabo (RODRIGUES, 2013).

2.4 Simulação

A simulação computacional pode ser definida como a representação virtual de um sistema da vida real através de um modelo, tornando possível o estudo do sistema sem que seja necessário construí-lo na realidade, ou mesmo fazer modificações nesse sistema, e estudar os resultados dessas modificações, sem que haja necessidade de se alterá-lo previamente (HARREL et al. 2000).

Para Shannon (1998 citado por TORGA, 2007, p.43), a simulação computacional é uma poderosa ferramenta na análise de processos e sistemas complexos. Tornando possível o estudo, análise e avaliação de situações que não seriam possíveis na vida real. Em um mundo em crescente competição, tem se tornado uma metodologia indispensável de resolução de problemas para os tomadores de decisão nas mais diversas áreas. Johansson (2002) reforça esta diversidade de áreas de aplicação mostrando como a simulação tem sido utilizada desde a representação de operações militares, operações logísticas, linhas de manufatura até operações na área de saúde.

Para Law e Kelton (2000 citado por TORGA, 2007, p.43), simulação computacional é a representação de um sistema real através de um computador para a posterior realização de experimentos para avaliação e melhoria de seu desempenho. Significando a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar seu comportamento sob diversas condições, sem os riscos físicos e/ou custos envolvidos em um estudo convencional.

Para Banks (1999 citado por TORGA, 2007, p.43), a simulação é uma metodologia indispensável de solução para números problemas da vida real. A simulação é utilizada para descrever e analisar o comportamento dos sistemas através de questões “o que aconteceria se” em relação a situação real. Tanto sistemas existentes como conceituais podem ser modelados através da simulação.

Todos os autores citados acima concordam sobre a possibilidade de aplicação da simulação nas mais diferentes áreas, desde a área de saúde, até a militar. No entanto, neste trabalho a linha de estudo é a manufatura onde possibilidade de realização de estudos de simulação torna-se muito interessante.

Alguns exemplos de estudos que podem ser realizados na manufatura através da simulação são a análise de necessidade extra de material e pessoal, Avaliação de desempenho de um processo ou fluxo produtivo, avaliação dos procedimentos operacionais, como programação da produção, revisão das políticas de inventário e políticas de controle da qualidade (LAW; MACCOMAS, 1999).

Alguns exemplos de medidas de desempenho comuns na simulação na manufatura são: Entrada e saída de produtos; O tempo das peças no sistema; O tempo das peças em espera/fila; O tamanho das filas; Tempo de entrega; Utilização dos equipamentos e pessoas;

A maneira como a simulação do sistema trabalha (com o uso de distribuições estatísticas, considerando-se o tempo ou não, ou com variáveis discretas ou não, etc) está diretamente relacionada com o tipo de simulação utilizada (HARREL et al. 2000). As classificações mais usuais são: dinâmica ou estática, determinística ou estocástica, discreta ou contínua e terminante e não terminante.

2.4.1 Vantagens e desvantagens

Os modelos de simulação apresentam inúmeras vantagens em relação aos modelos matemáticos e analíticos. Sua conceituação de fácil compreensão torna fácil sua justificativa seja para a gerência da organização ou para os clientes. Além disso, possui mais créditos, já que é capaz de comparar o modelo virtual com a situação real e assim proporcionar grandes contribuições para o objeto de estudo.

Strack (1984), em seu livro, recomenda a utilização da simulação quando:

1. Não há uma formulação matemática completa para o problema;
2. Não há método analítico para a resolução do modelo matemático;
3. Resultados são mais fáceis de serem obtidos por simulação que por qualquer outro analítico;
4. Não existe habilidade técnica para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica;
5. Torna-se necessário observar o desenvolvimento do processo desde o início até o seu término;

6. Quando são necessários detalhes específicos do sistema;
7. Quando a experimentação na situação real apresenta inúmeros obstáculos ou não é possível.

Shannon (1998) ressalta as seguintes vantagens de utilização da simulação:

1. Possibilidade de se testar novos *designs e layouts* sem a implementação real dos recursos necessários;
2. Pode ser utilizada para explorar novas políticas de alocação de funcionários, procedimentos operacionais, tomadas de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação e etc. Sem causar nenhuma ruptura no sistema real da organização;
3. A simulação permite a identificação de gargalos nos fluxos de informação, material e produto e realiza testes com o objetivo de aumentas cada taxa;
4. Permite a realização de testes de hipótese em relação a como e por que certos fenômenos ocorrem no sistema;
5. A simulação permite o controle do tempo. Assim, sistemas podem ser simulados por meses ou anos em questão de segundos e fornecer resultados visualizados em longo prazo. Além disso, pode-se diminuir a velocidade da simulação para a realização de estudos;
6. Permite adquirir conhecimento em relação a como o sistema funciona e a identificação de quais são as variáveis que mais afetam a performance do modelo;
7. A simulação significa em uma maior possibilidade de realização de experimentos com situações não familiares e responder a questões “e se”.

Apesar das inúmeras vantagens de sua utilização, a simulação apresenta algumas desvantagens, que são as que se seguem (LAW; KELTON, 2000):

1. Os modelos de simulação são caros e consomem tempo para serem desenvolvidos;
2. Cada rodada de cada modelo de simulação estocástico só estima as características verdadeiras do mesmo para um número particular de parâmetros de entrada. Assim, serão necessárias várias rodadas independentes para cada conjunto de parâmetros a serem estudados. Por essa razão é que os modelos de simulação geralmente não são tão eficientes em relação a otimização.
3. A grande quantidade de números gerada por um estudo de simulação faz com que as pessoas confiem no modelo mais do que deveriam. Se um modelo não for a representação exata de um dado sistema, não importa o tipo de informação que será obtida, a real utilidade será mínima.

Além destas desvantagens, Shannon (1998) identifica:

1. A modelagem de um dado sistema é uma arte que requer um treinamento especializado e as habilidades dos modeladores tendem a variar amplamente. A utilidade do estudo dependerá diretamente da qualidade do modelo desenvolvido e das habilidades do modelador;

2. A coleta de dados de entrada altamente confiáveis pode consumir grandes quantidades de tempo e mesmo assim os resultados podem ser questionáveis. A simulação não pode compensar dados inadequados ou uma gerência fraca;

3. Os modelos de simulação são modelos de entrada e saída, produzindo saídas de entradas propriamente ditas, surgidas em função das rodadas realizadas. Os modelos não nos dão uma solução ótima, servindo apenas como uma ferramenta de análise a partir de condições pré estabelecidas pelo modelador.

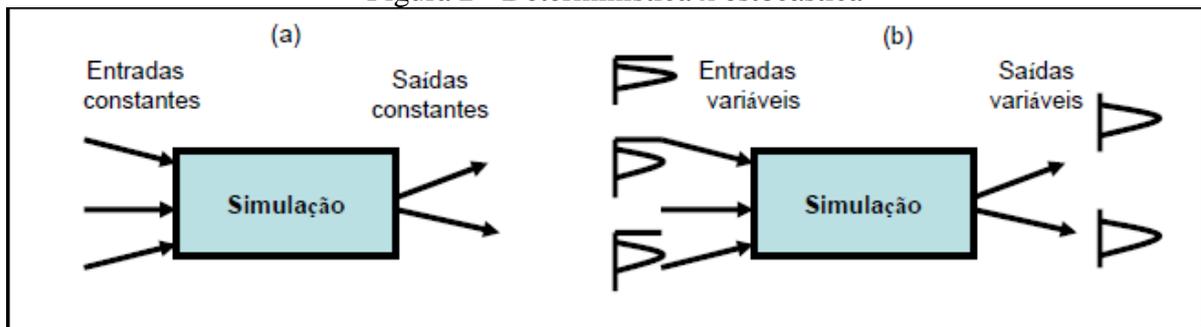
2.4.2 Simulação estática e dinâmica

Para Law e Kelton (2000), simulação estática é a representação de um sistema em um dado momento. Um exemplo é a simulação de Monte Carlo, utilizada desde a área financeira até na de estoques. A simulação dinâmica é a representação de um sistema no decorrer do tempo. Esse tipo de simulação é apropriado para a análise de sistemas de manufatura e serviços que sofrem influência do tempo. Um exemplo é a simulação das atividades ocorridas em um banco ao longo de suas oito horas de funcionamento diárias.

2.4.3 Simulação determinística ou estocástica

Para Pereira (2000 citado por TORGA, 2007, p.45), os modelos de simulação são determinísticos quando as variáveis de entrada assumem valores exatos, assim, os resultados (saídas) desse tipo de simulação serão sempre iguais independentemente do número de replicações. Os modelos estocásticos permitem que as variáveis de entrada assumam diversos valores dentro de uma distribuição de probabilidades a ser definida pelo modelador. Os resultados gerados pelos modelos estocásticos são diferentes a cada replicação, em função da natureza aleatória das variáveis que dão entrada no modelo.

Figura 2 - Determinística x estocástica

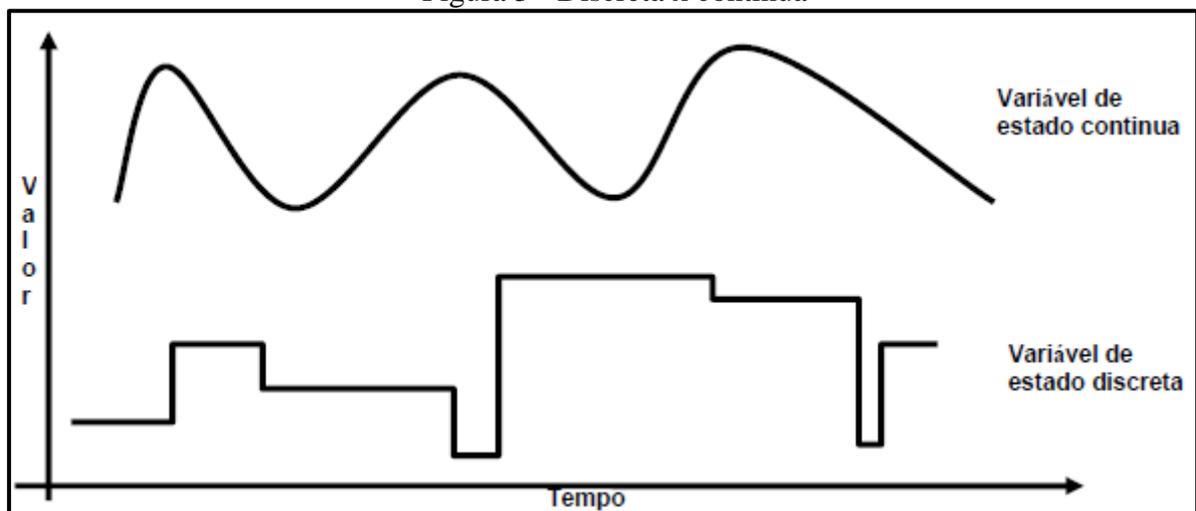


Fonte: Duarte(2003).

2.4.4 Simulação discreta e contínua

Para Strack (1984 citado por TORGA, 2007, p.45), a simulação contínua modela sistemas em que suas variáveis mudam continuamente de valor. É utilizada em estudos que consideram os sistemas constituídos por um fluxo contínuo de informações ou itens. A simulação discreta caracteriza-se por eventos onde as mudanças ocorrem de maneira descontínua, ou seja, sofrem mudanças bruscas. A Figura 3 ilustra essa diferença entre os tipos de simulação discreta e contínua.

Figura 3 - Discreta x contínua



Fonte: Duarte (2003).

2.4.5 Simulação terminante e não terminante

Segundo Law e Kelton (2000 citado por TORGA, 2007, p.46), a simulação é terminante quando o objetivo é estudar um sistema num dado intervalo de tempo, ou seja,

conhecer seu comportamento ao longo deste intervalo, sendo definidas as datas de início e término da simulação. Exemplos são simulações realizadas em postos de cobrança de pedágio onde se deseja definir o número de postos em funcionamento de acordo com a hora do dia; assim, o intervalo de interesse está entre zero e vinte e quatro horas.

Segundo Torga (2007), a simulação pode ser classificada como não terminante quando o objetivo é estudar o sistema a partir do momento em que este atinge um estado estável, alcançado após um período de aquecimento, onde se determina e elimina as tendências iniciais. Presumindo que a simulação poderia continuar infinitamente sem nenhuma mudança estatística no comportamento. Assim, uma simulação do comportamento das pás de uma turbina pode ser considerada não terminante, desde que o interesse seja estudar as características de seu escoamento em condições estáveis, após um período de aquecimento.

No Quadro 2, Pereira (2000) mostra de maneira sucinta a classificação de sistemas e modelos para simulação, além da classificação da própria simulação.

Quadro 2 - Classificação simulações

Sistema	Modelo		Simulação
Discreto: Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	Determinístico: Variáveis assumem valores determinados.	Estatístico: Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	Terminante: Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
Contínuo: Variáveis mudam constantemente com o tempo.	Estocástico: Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	Dinâmico: Representa o sistema a qualquer tempo.	Não Terminante: Há o interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo, prolongar-se indefinidamente.

Fonte: Pereira (2000)

2.4.6 Metodologia para a simulação

A simulação computacional envolve mais do que a utilização de um software. Trata-se de um projeto que requer um planejamento prévio de cada uma de suas etapas e, além disso, um conhecimento do sistema a ser simulado e das pessoas envolvidas.

Segundo Strack (1984 citado por TORGA, 2007, p.47), os resultados insatisfatórios do uso da ferramenta ocorrem em função da não valorização do aspecto humano da simulação. O sucesso depende da habilidade do usuário em analisar as saídas, identificar alternativas de projeto e novas configurações para melhoria do modelo.

Grande parte dos trabalhos de simulações mal sucedidos tem como causa a ausência de um planejamento condizente com a importância de seu estudo. Por isso, simular requer mais do que o conhecimento de um software específico, mas também, pessoas com conhecimento dos passos a serem seguidos, bem como experiência analítica, estatística e organizacional (SILVA, 2005).

A metodologia nos trabalhos de simulação busca sistematizar estes passos de seu desenvolvimento, otimizando a integração entre software, modelador e usuário, e evitando desperdício de tempo, dinheiro e resultados frustrantes.

Entretanto, a construção de um modelo computacional de possa trazer resultados satisfatórios deve passar pelas seguintes etapas (SHANNON, 1998; CARLSON, 2003; LAW e KELTON, 2000; PEREIRA, 2000; DUARTE, 2003; SILVA, 2005).

1. Formulação do problema: Todos os estudos em simulação se iniciam com a descrição do problema. Tal descrição é feita pelas pessoas que presenciam esta situação (os clientes) e o analista/modelador precisa ter muito cuidado com o entendimento do problema. Para isso sugere-se que este formule uma série de hipóteses ou alternativas e as exponha ao cliente, em busca de sua concordância. Mesmo com esses cuidados, as chances do problema ter que ser reformulado assim como os objetivos de estudo, são muito grandes.

2. Definição dos objetivos e planejamento do projeto: Ou estabelecer um propósito. Este passo deve envolver um acompanhamento do analista/modelador e do cliente como consultores internos e externos. Is objetivos indicam a questão que deve ser respondida com o estudo. O planejamento deve envolver uma descrição dos cenários que devem ser investigados. Além disso, deve envolver o tempo necessário, pessoas, recursos computacionais. Assim como os estágios do estudo, resultados de cada um e seus custos.

3. Conceitualização do modelo: O modelo real sob investigação é resumido através do modelo conceitual, que nada mais é do que uma série de relacionamentos matemáticos e lógicos relativos aos componentes e estrutura do sistema.

4. Coleta de dados: Depois da proposta ter sido aceita, uma lista com os dados necessários deve ser entregue ao cliente. Geralmente os clientes possuem esses dados para disponibilizar. No entanto, muitos dados depois de fornecidos parecem ser muito diferentes do previsto. Por exemplo, durante a simulação do sistema de reservas de passagens aéreas de

uma dada empresa foi afirmado que a empresa possuía cada dado referente as chamadas dos últimos cinco anos.

Entretanto, durante a realização do estudo verificou que tais dados eram as médias. São os valores individuais é devem ser usados e não medidas resumidas. A construção do modelo e a coleta de dados se encontram na mesma posição da figura porque podem ser realizados ao mesmo tempo.

5. Construção do modelo: A construção do modelo deve iniciar de forma simples e a complexidade ocorra de maneira evolutiva. Isso pode ser feito adicionando-se detalhes ao modelo de maneira gradativa. Um exemplo é a simulação de uma linha produtiva qualquer, o modelo básico com as chegadas, filas e maquinas é construído. Depois adiciona-se os carregamentos e as peças e logo em seguida, algumas características especiais. A construção de um modelo de grande complexidade significa dispêndio de tempo e dinheiro. O envolvimento do cliente é essencial para a qualidade e desenvolvimento do modelo.

6. Execução do modelo: Nesta etapa o modelo conceitual é executado em um microcomputador através de um software pacote.

7. Verificação: Nesta etapa, o modelador deverá verificar a consistência dos dados coletados para evitar que o modelo se torne inutilizado, já de nada adianta um modelo que não reflita a realidade do sistema.

8. Validação: A validação é a certeza de que o modelo construído reflete o funcionamento do sistema real. Uma das maneiras é chamar o sistema real de sistema base e comparar seus resultados com os do modelo. Se elas forem similares, pode-se dizer então que o modelo é válido. Outra forma de validar o modelo é consultar os operadores do sistema sob a validade do mesmo. Existem muitos métodos de validação de modelos.

9. Planejamento dos experimentos: Para cada execução da simulação e sua posterior análise, decisões precisam ser tomadas em relação ao tempo de duração da simulação e o número de replicações para cada cenário;

10. Realização e análise dos experimentos: As simulações e suas posteriores análises são realizadas com o objetivo de estabelecer medidas de desempenho para próximos cenários a serem simulados.

11. Replicações extras: Com base nas análises realizadas o modelador determina se outras replicações ou simulações serão necessárias assim como a utilização ou não de novos cenários.

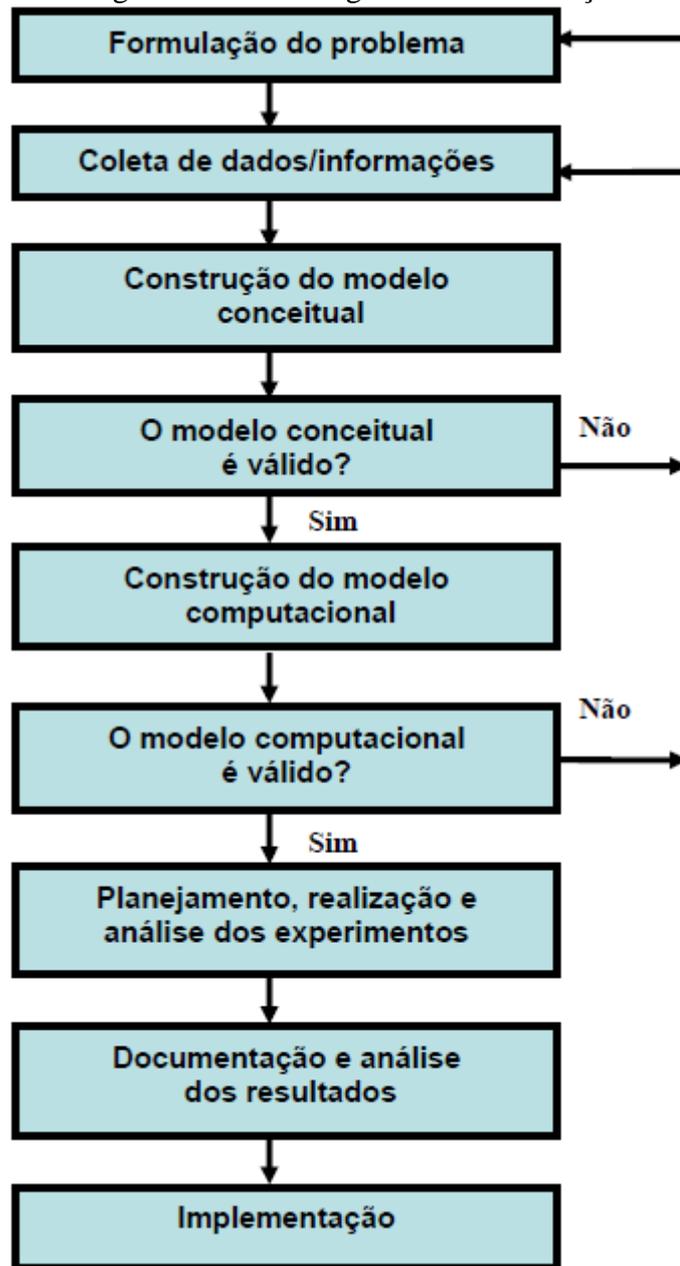
12. Documentação e relato: A documentação é necessária por inúmeras razões. Se um modelo precisar ser utilizado novamente para a mesma análise ou outra, pode ser necessário

lembrar como o modelo funciona. Isso dará mais confiabilidade ao modelo. Por um outro lado, se o modelo precisar ser modificado, através da documentação, essa tarefa se tornará menos árdua. Os resultados devem ser relatados de maneira clara e consciente. Permitindo ao cliente revisar a formulação final, as alternativas criadas, seus critérios de criação e acima de tudo, as recomendações do modelador/analista.

13. Implementação: O analista/modelador atua mais como um relator do que como um defensor do modelo final. Já que o relatório construído item anterior irá ajudar o cliente em sua tomada de decisão. Se o cliente esteve envolvido durante todas as etapas e estas realizadas conforme o recomendado, a probabilidade de sucesso na implementação é muito grande.

A figura 4 sintetiza a relação entre as diversas etapas de um estudo de simulação.

Figura 4 - Metodologia de uma simulação



Fonte: Adaptado de LAW (2003)

A visualização das etapas e da complexidade de se criar uma representação virtual de um sistema real implicam em grandes responsabilidades para o profissional desta área. Resultados podem ser alcançados de maneira muito proveitosa, desde é claro que se siga a metodologia recomendada.

Inúmeras simulações mal sucedidas têm como causa a deficiência de um planejamento eficiente de seus procedimentos de estudo. Simular requer mais do que o conhecimento de um software específico, mas também, pessoas com conhecimento da metodologia a ser seguida, bem como experiência analítica, estatística, organizacional e de engenharia (SILVA, 2005).

Segundo Silva (2005), a modelagem computacional de um sistema é uma tarefa que exige muito esforço por parte do modelador e que, se conduzida com raciocínio cuidadoso e planejado, poderá trazer benefícios muito proveitosos. Para que isto ocorra, o autor propõe cinco princípios básicos e indispensáveis em qualquer metodologia para a implementação da simulação:

1. O modelo deve ser simples apesar de partir de pensamentos complicados. Os modelos não necessitam ser tão complicados quanto a realidade;

2. Ser parcimonioso começando do simples e acrescentar complexidade na medida do necessário;

3. Evitar grandes modelos pela dificuldade em entendê-los. A regra é dividir esses grandes modelos;

4. A definição dos dados a serem coletados deve ser orientada pelo modelo. O modelador não deve “se apaixonar pelos dados” como descreve o autor;

5. O comportamento do modelador na construção do modelo seria como este estivesse desembaraçando-se dos problemas, pois a modelagem de alguma forma é um processo desordenado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para a realização do presente trabalho foram utilizadas:

Planilhas eletrônicas Excel;

Webcam de 8.0 M Pixels;

Notebook;

Software Bloco de Notas;

Software Debut Video;

Software Arena versão 14.5.

3.2 Metodologia

O objetivo deste trabalho foi simular o fluxo de pessoas e materiais que são movimentados por um elevador vertical cremalheira em uma construção de edifício residencial na cidade de Botucatu-SP, visando quantificar tempo gasto pelos funcionários em filas de espera.

A fim de permitir coletar dados como tempo de chegada de cada colaborador (entidade), hora de subida, profissão de cada um, tempo em fila, quantidade de entidades que subiram em uma única viagem e o intervalo de cada subida, utilizou-se de uma webcam conectada a notebook e com o auxílio do software Debut Video foram gravadas nove horas diárias de trabalho de segunda a quinta, e oito horas na sexta, somando um total de quarenta e quatro horas de vídeo.

A partir dos dados coletados com a observação e cronometragem dos vídeos foram feitas planilhas eletrônicas com os mesmos, identificando-se intervalo entre chegadas dos funcionários, tempo de subida e descida do elevador, assim como o número de funcionários transportados por vez.

Após a quantificação e padronização das unidades de tempos medidos segundos, os dados foram analisados através do módulo Input Analyzer do pacote computacional do Arena a fim de definir a função estatística que melhor represente o comportamento do processo de chegada das entidades, assim como do tempo de processo (subida dos elevadores). Foram

levantados, também, através das planilhas Excel, a média de entidades por viagem e a porcentagem de tempo que o elevador utiliza para o processo de subida.

A partir das informações obtidas, criou-se o modelo de simulação do processo no software Arena.

3.3 Estudo de caso

O presente trabalho teve como estudo de caso um edifício em construção na cidade de Botucatu, interior de São Paulo. O prédio tem 22 lajes, sendo 2 subsolos, andar térreo, mezanino, 6 andares comerciais, 10 andares residenciais, uma laje para caixas d'água e outra para barrilete.

O estudo se estendeu em um período de seis dias, de segunda a sábado. Nesse período as 10 primeiras lajes estavam em fase de acabamento e as outras 12 em construção.

Durante o estudo existiam em média cerca de 70 funcionários atuando na obra, divididos entre várias funções como serventes, pedreiros, azulejistas, soldadores, mecânicos, eletricitas, mestre de obras e engenheiros.

O processo de movimentação dos funcionários entre os andares é feito através de um elevador cremalheira que fica localizado no subsolo, onde também é localizada a entrada principal, almoxarifado e o escritório, sendo assim um ponto estratégico para todos. Entretanto como só existe um elevador na obra, o mesmo torna-se um gargalo no processo de movimentação de pessoas e materiais, ocasionando a formação de filas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Intervalos entre chegadas dos funcionários

Os intervalos entre chegadas dos funcionários foram mensurados através da medição de tempo das imagens coletadas ao longo de uma semana (nove horas diárias de trabalho de segunda a quinta-feira, e oito horas na sexta-feira, somando um total de quarenta e quatro horas semanais).

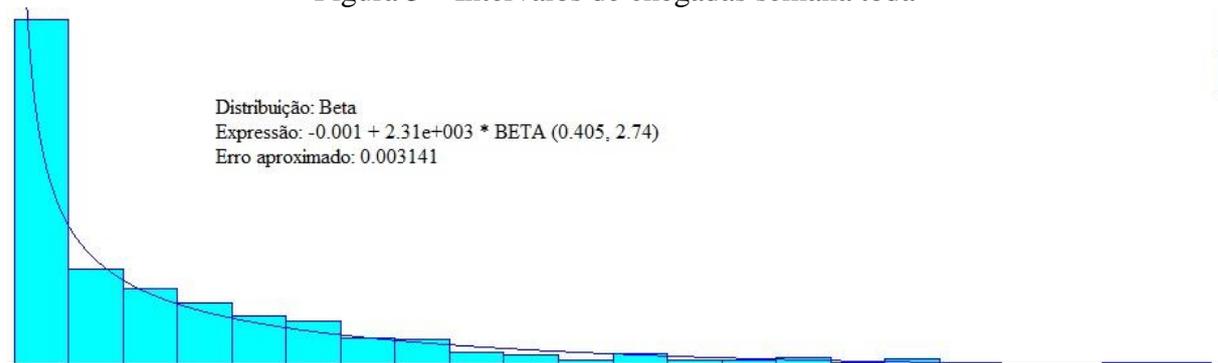
Os resultados das medições para segunda-feira são apresentados na Tabela 1, os resultados para cada dia da semana estão no Apêndice A.

Tabela 1 - Intervalos chegadas segunda-feira (em segundos)

Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	00	31	179	61	00	91	00
2	94	32	00	62	1261	92	537
3	117	33	00	63	467	93	00
4	00	34	00	64	517	94	294
5	58	35	00	65	165	95	229
6	66	36	102	66	146	96	00
7	07	37	510	67	76	97	00
8	00	38	107	68	366	98	274
9	00	39	00	69	375	99	292
10	06	40	111	70	398	100	354
11	76	41	695	71	356	101	539
12	24	42	224	72	75	102	624
13	26	43	1153	73	00	103	731
14	109	44	396	74	00	104	438
15	06	45	00	75	48	105	238
16	17	46	778	76	126	106	679
17	02	47	151	77	66	107	633
18	244	48	39	78	11	108	67
19	282	49	114	79	23	109	1523
20	614	50	402	80	49	110	70
21	79	51	99	81	229	111	841
22	213	52	253	82	107	112	217
23	265	53	145	83	77	113	238
24	09	54	326	84	364	114	328
25	80	55	153	85	98	115	287
26	825	56	00	86	00	116	205
27	327	57	432	87	00	117	510
28	80	58	1192	88	96		
29	245	59	1196	89	959		
30	358	60	432	90	45		

Através do módulo *Input Analyzer* do *software* Arena, foi possível determinar a distribuição estatística que representa o comportamento do processo de chegada de funcionários (tempo entre chegadas). O resultado da semana toda está apresentado na Figura 5, os resultados para cada dia da semana estão no Apêndice B.

Figura 5 – Intervalos de chegadas semana toda



4.2 Tempos de transporte no elevador cremalheira

Os tempos dispendidos com a movimentação de pessoas e materiais no elevador cremalheira também foram mensurados através da medição de tempo das imagens coletadas ao longo de uma semana (nove horas diárias de trabalho de segunda a quinta-feira, e oito horas na sexta-feira, somando um total de quarenta e quatro horas).

Entretanto, apenas os tempos de subida são importantes para o processo, uma vez que é na subida que são descarregados os materiais e pessoas em seus andares de destino. Dada a dificuldade de quantificar o tempo de subida de cada movimentação do elevador cremalheira durante toda uma semana, optou-se por fazer esta medição em forma amostral, por um período de 4 horas, obtendo-se um tempo médio de subida de 54% do tempo total (subida e descida). Desta forma, todos os tempos de movimentação do elevador (subida e descida) foram afetados por este percentual para fins de simulações.

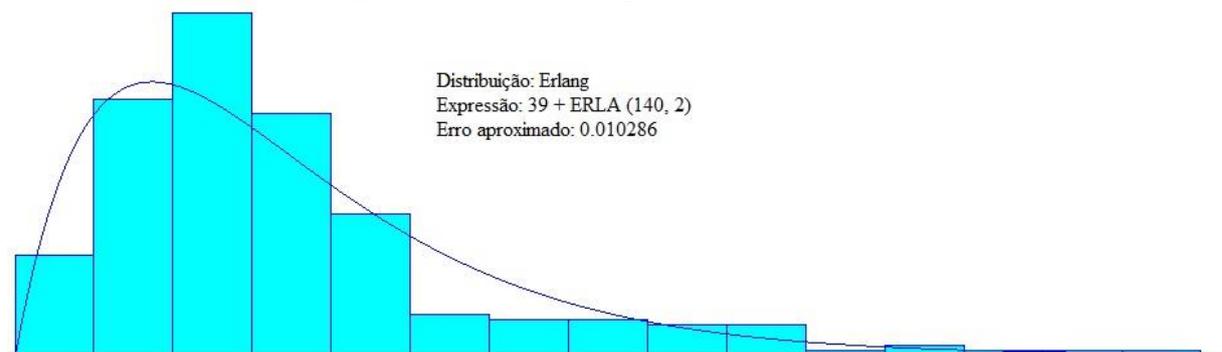
Os resultados das medições de dos tempos de subidas de segunda-feira são apresentados na Tabela 2 e os resultados para cada dia da semana estão no Apêndice C.

Tabela 2 - Intervalos processo subida segunda-feira (em segundos)

Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	172	16	485	31	208	46	332
2	143	17	280	32	274	47	247
3	283	18	191	33	154	48	189
4	187	19	139	34	133	49	380
5	190	20	128	35	341	50	799
6	273	21	293	36	180	51	50
7	222	22	204	37	322	52	441
8	445	23	551	38	277	53	121
9	226	24	194	39	228	54	133
10	301	25	647	40	395	55	191
11	276	26	490	41	233	56	269
12	264	27	513	42	218	57	263
13	388	28	209	43	269		
14	246	29	315	44	351		
15	355	30	332	45	363		

Através do módulo *Input Analyzer* do *software* Arena, foi possível determinar a distribuição estatística que representa o comportamento do processo de subida de funcionários (tempo de processo). O resultado da semana toda está apresentado na Figura 6, os resultados para cada dia da semana se encontra no Apêndice D.

Figura 6 - Intervalo de processo semana toda



4.3 Número de funcionários transportados

O número de funcionários transportados, por vez, no elevador cremalheira é variável, função da demanda de subida dos mesmos e, principalmente, do tipo e quantidade de carga transportados em forma concomitante.

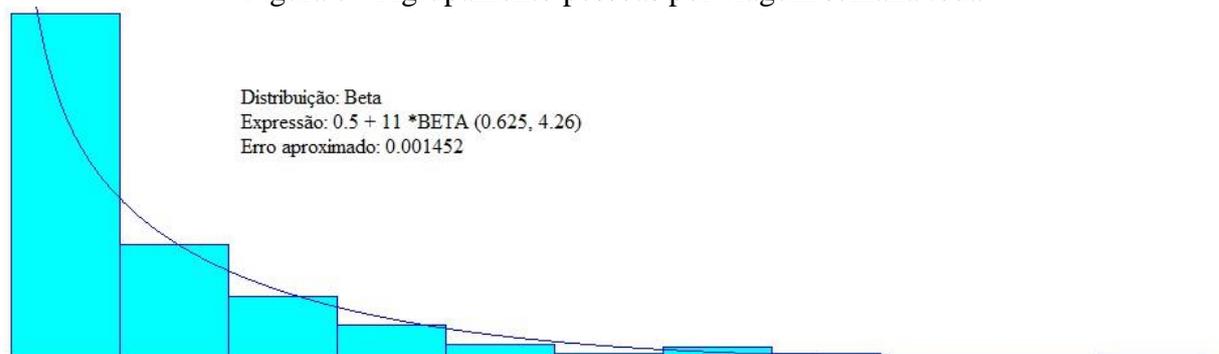
Desta forma, através das imagens coletadas ao longo de uma semana (nove horas diárias de trabalho de segunda a quinta-feira, e oito horas na sexta-feira, somando um total de quarenta e quatro horas) foi possível identificar-se a quantidade de pessoas transportadas a cada subida do elevador, o resultado de segunda-feira é apresentado conforme Tabela 3 em segundos, os resultados para cada dia da semana estão no Apêndice E.

Tabela 3 - Quantidade pessoas por subida segunda-feira

Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade
1	1	16	1	31	4	46	1
2	4	17	3	32	1	47	1
3	7	18	2	33	1	48	1
4	4	19	1	34	1	49	1
5	3	20	2	35	8	50	2
6	2	21	1	36	3	51	1
7	3	22	3	37	4	52	1
8	1	23	2	38	1	53	1
9	2	24	1	39	3	54	1
10	2	25	1	40	2	55	1
11	7	26	1	41	3	56	1
12	1	27	2	42	2	57	2
13	2	28	1	43	2	58	1
14	1	29	1	44	1		
15	1	30	1	45	1		

Através do módulo *Input Analyzer* do *software* Arena, foi possível determinar a distribuição estatística que representa o comportamento da variação do número de funcionários transportados a cada subida do elevador. O resultado da semana toda está apresentado na figura 7, os resultados para cada dia da semana estão no Apêndice F.

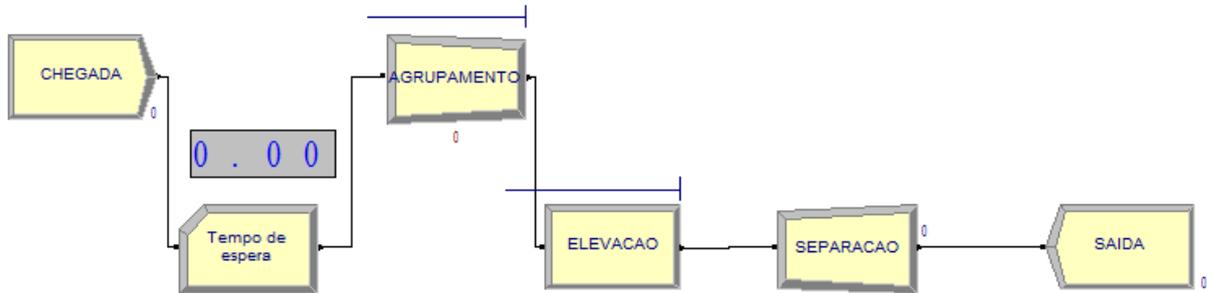
Figura 7 - Agrupamento pessoas por viagem semana toda



4.4 Modelagem do estudo de caso no *software* Arena

O modelo de simulação gerado no software Arena é mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Ilustração do processo Arena



As funções estatísticas que representam os intervalos entre chegadas (processo de chegadas), o tempo de processo (elevação) e a variação do número de pessoas transportadas são dadas pelas equações mostradas nas Figuras 5, 6, e 7.

A carga horária de trabalho semanal do setor, conforme legislação vigente, é de 44 horas, porém o modelo foi simulado por 42,78 horas semanais, com 10 replicações. Este foi o tempo semanal efetivamente computado no levantamento real realizado, caracterizado pelas horas nas quais o elevador fez as movimentações, já descontado o horário de parada para almoço dos funcionários. Os resultados da simulação foram comparados aos dados reais coletados, obtendo-se os seguintes valores que são mostrados no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores reais semana x simulados semana

	Valor real	Valor simulado	Diferença (%)
Nº funcionários transportados	505	508	0,6
Tempo médio de espera em filas (minutos)	4,57	4,62	1,09
Tempo total de espera (minutos)	2307,85	2346,96	1,69

Os dados simulados para o período de uma semana foram utilizados para validação do modelo de simulação, o qual, pelas diferenças apresentadas em relação aos valores reais, mostrou-se plenamente aplicável.

Considerando-se a simulação do processo para o período total da obra, estimado em 42 meses, os resultados foram obtidos conforme as equações 1, 2, 3.

Onde:

t = tempo médio de espera (minutos);

T = Tempo total de trabalho (minutos);

t_m = tempo médio de espera em filas simulado (minutos);

t_o = tempo ocioso aguardando movimentação (%);

n = número de saídas da simulação, correspondendo à quantidade de funcionários transportados em 3,5 anos;

N = número meio de funcionários da obra.

Assim:

$$t = t_m * n = 5,02 * 110296 = 553.685,92 \text{ minutos}; \quad (1)$$

$$T = N * 44(\text{horas/semanais}) * 168(\text{semanas}) = 31.046.400 \text{ minutos} \quad (2)$$

$$t_o = t/T * 100 = 1,78\%. \quad (3)$$

Os resultados obtidos são apresentados no quadro 4.

Quadro 4 - Resultado da Simulação

	Valor simulado
Número de funcionários transportados	110 296
Tempo médio de espera em filas (minutos)	5,02
Tempo total de espera (minutos)	553.686
Tempo total trabalhado (minutos)	31.046.400
Tempo ocioso aguardando movimentação (%)	1,8

5. CONCLUSÃO

Através do levantamento do comportamento de chegada de funcionários, número de pessoas transportadas por movimentação e tempo de processo de subida de um sistema de movimentação de cargas tipo elevador cremalheira, de uma obra de construção civil de edifício residencial-comercial na cidade de Botucatu, foi possível estimar-se, por meio da simulação de um modelo devidamente validado, o tempo ocioso dos funcionários decorrentes deste processo pelo período total esperado de duração da obra, de três anos e meio.

Concluiu-se que, do total nominal de horas disponíveis de trabalho no período da obra, aproximadamente 2% são gastos em tempo de espera decorrente de filas no processo de

movimentação por elevador cremalheira o que corresponde a aproximadamente 15 dias úteis de obra.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se verificar qual o custo associado a esta ociosidade e seus impactos financeiros e contratuais na obra. Em consequência, seria possível analisar o efeito e viabilidade da instalação de um segundo elevador, aproveitando-se do outro poço de elevador existente no edifício.

REFERÊNCIAS

ARRELL, Charles; GHOSH, Biman K.; BOWDEN JUNIOR, Royce O. **Simulation Using ProModel**. 3. ed. New York: Mcgraw-Hill, 2000. 704 p.

BANKS J., Introduction to Simulation. In: Proceeding of the Winter conference, Atlanta, 1999, USA.

BARBOSA, Adriano Aurélio Ribeiro; MUNIZ, Jorge; SANTOS, Angelo Urias dos. Contribuição da Logística na Indústria da Construção Civil Brasileira. **Revista Ciências Exatas**, Taubate, v. 14, n. 1, p.1-9, jun. 2008. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/view/707/667>>. Acesso em: 02 maio 2015.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais**: princípios, conceitos e gestão. São Paulo: Atlas, 2005.

DIAS, Marco Aurélio P. **Administração de Materiais**: Uma Abordagem Logística. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010. 528 p.

DUARTE, Roberto Nunes. **Simulação computacional**: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças. 2003. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003. Disponível em: <http://www.iepg.unifei.edu.br/arnaldo/download/dissertacoes/dissertacao_roberto.pdf>. Acesso em: 03 maio 2015.

FARAH, M. F. S. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**. São Paulo: Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Sociais da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, 1992, 296 p.

FARIA, Renato. **Custo da mão de obra**: Custos dos funcionários da construção vão muito além do salário pago a cada mês.. 2011. Edição 39 - Setembro/2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/39/custo-da-mao-de-obra-custos-dos-funcionarios-da-227875-1.aspx>>. Acesso em: 02 maio 2015.

GOMES, F. C. **Administração da produção e gestão da produtividade e competitividade na construção civil**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004

GRANDO, L. Otimização do transporte vertical na construção civil. Novas tecnologias permitem reduzir a área destinada aos elevadores e atender ao tráfego vertical nas edificações.

Metodologia para Cálculo de Tráfego de elevadores considerando novas tecnologias, Porto Alegre, p. 2 – 21, 2003. Disponível em < <http://www.abemec-rs.org.br/abemec/artigo-twin-abemec.pdf>>. Acesso em 14 mar. 2015.

GRUPO MANZATO (Caxias do Sul) (Org.). **A importância da Construção Civil.** 2014. Disponível em: <<http://www.manzato.com.br/pt-br/noticias/a-importancia-da-construcao-civil-61>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

JOHANSSON B., Discrete Event Simulation – present situation and future potential. Department of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2002.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation Modeling and Analysis.** 3. ed. New York: Mcgraw-hill, 2000. 745 p.

LAW, Averill M.; MCCOMAS, Michael G.. SIMULATION OF MANUFACTURING SYSTEMS. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 24., 1999, Tucson. **Simulation of Manufacturing Systems.** Tucson: Ieee, 1999. p. 59 - 59. Disponível em: <<http://www.informs-sim.org/wsc99papers/007.PDF>>. Acesso em: 03 maio 2015.

OLIVEIRA, Fernanda. **Movimentação de materiais.** 2012. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-financas/movimentacao-de-materiais/63977/>>. Acesso em: 31 mar. 2015.

PEREIRA, Ivan Costa. **PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO PARA FABRICAÇÃO EM LOTES.** 2000. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2000. Disponível em: <http://www.iepg.unifei.edu.br/arnaldo/download/dissertacoes/dissertacao_Ivan.PDF>. Acesso em: 03 maio 2015.

PISO SALARIAL. **Tabela de Piso Salarial da Construção Civil:** Abril de 2015. 2015. Disponível em: <<http://www.pisosalarial.com.br/construcao-civil/tabela-de-piso-salarial-da-construcao-civil-abril-de-2015/>>. Acesso em: 02 maio 2015.

PORTAL BRASIL. Custo da construção civil recua em fevereiro, indica IBGE. **Pesquisa de Preços.** p. 1, 2015. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/custo-da-construcao-civil-recua-em-fevereiro-indica-ibge-indice-sinapi-caixa-desacelerou-de-0-21-em-janeiro-para-0-18-no-mes-mao-de-obra-tambem-ficou-mais->>

barata-com-variacao-de-0-18-ante-0-22-em-janeiro-o-indice-nacional-da-construcao-civil-sinapi>. Acesso em 14 mar. 2015.

RODRIGUES, Ricardo. Importância dos Elevadores de Carga na Construção Civil. 2013. Disponível em: <<http://engiobra.com/cat/maquinas-equipamentos/page/2/>>. Acesso em: 02 maio 2015.

SHANNON R. E., Introduction to the art and science of simulation. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998.

SILVA, F. B.; CARDOSO, F. F. A Importância da Logística na Organização dos Sistemas de Produção de Edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AMBIENTE CONSTRUIDO, 7., 1998, Florianópolis. **Qualidade no Processo Construtivo: anais.** Florianópolis: ANTAC, UFSC, 1998. v. 2. p. 277-285.

SILVA, Wesley Alves da. **OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DA GESTÃO BASEADA EM ATIVIDADES APLICADA EM UMA CÉLULA DE MANUFATURA.** 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2005. Disponível em: <<http://www.iepg.unifei.edu.br/arnaldo/download/dissertacoes/DissertacaoWesley.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2015.

SLACK, N. et al. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 2002.

STRACK, Jair. **GPSS: Modelagem e Simulação de Sistemas.** São Paulo: Ltc Livros Técnicos e Científicos, 1984. 176 p.

TORGA, Bruno Lopes Mendes. **Modelagem, Simulação e Otimização em Sistemas Puxados de Manufatura.** 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007. Disponível em: <<http://www.iepg.unifei.edu.br/arnaldo/download/dissertacoes/Bruno.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2015.

VIEIRA, Helio Flavio. **LOGÍSTICA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL: Como melhorar o fluxo de produção nas obras.** São Paulo: Pini, 2006. 177 p. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/asccaldas/logstica-aplicada-a-construo-civil-hlio-flavio-vieira>>. Acesso em: 31 mar. 2015.

VIEIRA, Priscilla Araujo. **LOGÍSTICA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA RN ENGENHARIA EM FORMIGA – MG.** 2010. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2010. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/93/1/PriscillaAraujoVieira-EP.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2015.

Apêndice A – Intervalos entre Chegadas

Intervalos chegadas segunda-feira (em segundos)							
Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	00	31	179	61	00	91	00
2	94	32	00	62	1261	92	537
3	117	33	00	63	467	93	00
4	00	34	00	64	517	94	294
5	58	35	00	65	165	95	229
6	66	36	102	66	146	96	00
7	07	37	510	67	76	97	00
8	00	38	107	68	366	98	274
9	00	39	00	69	375	99	292
10	06	40	111	70	398	100	354
11	76	41	695	71	356	101	539
12	24	42	224	72	75	102	624
13	26	43	1153	73	00	103	731
14	109	44	396	74	00	104	438
15	06	45	00	75	48	105	238
16	17	46	778	76	126	106	679
17	02	47	151	77	66	107	633
18	244	48	39	78	11	108	67
19	282	49	114	79	23	109	1523
20	614	50	402	80	49	110	70
21	79	51	99	81	229	111	841
22	213	52	253	82	107	112	217
23	265	53	145	83	77	113	238
24	09	54	326	84	364	114	328
25	80	55	153	85	98	115	287
26	825	56	00	86	00	116	205
27	327	57	432	87	00	117	510
28	80	58	1192	88	96		
29	245	59	1196	89	959		
30	358	60	432	90	45		

Intervalos chegadas terça-feira (em segundos)							
Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	00	35	00	69	757	103	766
2	66	36	288	70	00	104	400
3	34	37	415	71	350	105	53
4	00	38	51	72	432	106	00
5	08	39	13	73	372	107	69
6	04	40	05	74	549	108	08
7	11	41	00	75	00	109	141
8	118	42	808	76	10	110	00
9	00	43	951	77	33	111	693
10	26	44	36	78	52	112	305
11	76	45	463	79	00	113	00
12	25	46	00	80	89	114	632
13	92	47	356	81	03	115	940
14	62	48	666	82	07	116	348
15	76	49	672	83	07	117	376
16	83	50	276	84	15	118	172
17	124	51	498	85	00	119	307
18	34	52	946	86	22	120	00
19	00	53	228	87	37	121	405
20	119	54	270	88	00	122	596
21	222	55	103	89	54	123	96
22	81	56	816	90	67	124	1427
23	596	57	00	91	1243	125	578
24	285	58	30	92	92		
25	175	59	434	93	541		
26	216	60	210	94	1042		
27	23	61	323	95	533		
28	568	62	213	96	384		
29	439	63	08	97	85		
30	145	64	508	98	00		
31	422	65	00	99	315		
32	06	66	294	100	476		
33	06	67	305	101	15		
34	00	68	370	102	21		

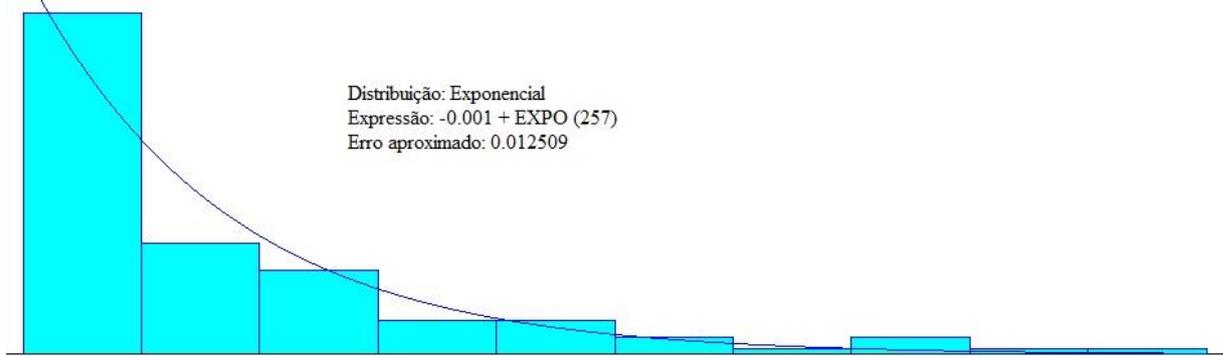
Intervalos chegadas quarta-feira (em segundos)							
Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	00	31	00	61	00	91	51
2	169	32	46	62	206	92	367
3	75	33	00	63	28	93	390
4	25	34	663	64	00	94	531
5	134	35	116	65	48	95	319
6	35	36	407	66	148	96	00
7	44	37	58	67	18	97	138
8	10	38	551	68	745	98	643
9	32	39	620	69	114	99	250
10	110	40	118	70	17	100	26
11	11	41	605	71	266	101	70
12	225	42	773	72	202	102	554
13	110	43	409	73	00	103	1345
14	772	44	581	74	00	104	85
15	266	45	364	75	00	105	582
16	135	46	1233	76	00	106	202
17	258	47	1198	77	169	107	175
18	00	48	00	78	11	108	00
19	00	49	72	79	00	109	755
20	67	50	953	80	00	110	271
21	188	51	190	81	00	111	300
22	281	52	1556	82	454	112	272
23	988	53	1744	83	10	113	791
24	00	54	503	84	14	114	57
25	137	55	00	85	00	115	165
26	116	56	106	86	250	116	457
27	00	57	09	87	140	117	00
28	55	58	08	88	61	118	00
29	33	59	24	89	784	119	476
30	483	60	12	90	577	120	1359

Intervalos chegadas quinta-feira (em segundos)					
Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	00	31	380	61	908
2	196	32	121	62	10
3	45	33	464	63	317
4	01	34	128	64	912
5	157	35	270	65	443
6	00	36	101	66	409
7	142	37	45	67	39
8	00	38	1582	68	00
9	272	39	14	69	439
10	1236	40	355	70	369
11	348	41	277	71	497
12	158	42	1184	72	114
13	656	43	647	73	1447
14	2308	44	00	74	1473
15	708	45	13	75	642
16	56	46	57	76	589
17	151	47	04	77	1561
18	00	48	10	78	179
19	98	49	00	79	214
20	98	50	16	80	00
21	217	51	07		
22	887	52	606		
23	41	53	246		
24	121	54	481		
25	870	55	00		
26	568	56	00		
27	715	57	00		
28	767	58	755		
29	316	59	00		
30	329	60	531		

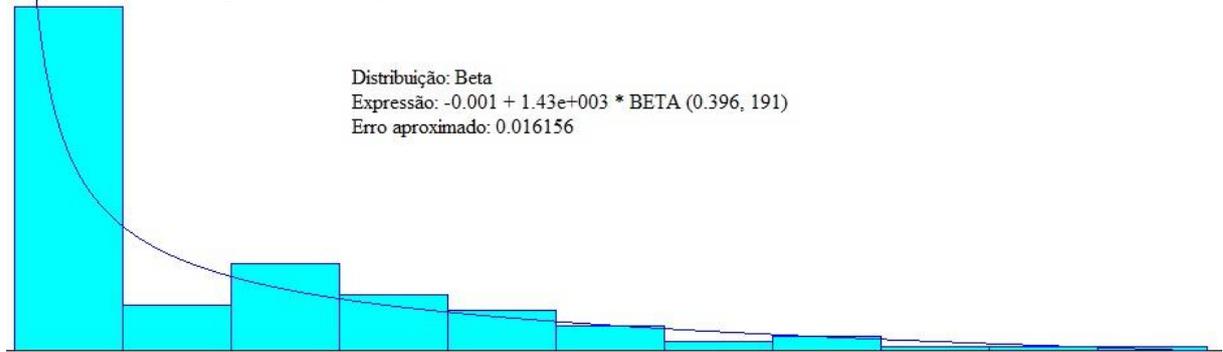
Intervalos chegadas sexta-feira (em segundos)					
Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo	Entidade	Intervalo
1	00	31	926	61	1103
2	39	32	168	62	143
3	03	33	320	63	272
4	193	34	82		
5	00	35	271		
6	05	36	1137		
7	75	37	03		
8	78	38	42		
9	206	39	666		
10	54	40	1744		
11	58	41	544		
12	461	42	150		
13	00	43	759		
14	107	44	197		
15	536	45	503		
16	318	46	181		
17	05	47	676		
18	515	48	425		
19	445	49	00		
20	453	50	556		
21	74	51	892		
22	42	52	00		
23	00	53	00		
24	293	54	34		
25	259	55	1734		
26	14	56	625		
27	95	57	838		
28	22	58	561		
29	1712	59	1418		
30	2152	60	1502		

Apêndice B – Ilustração dos Intervalos entre Chegadas

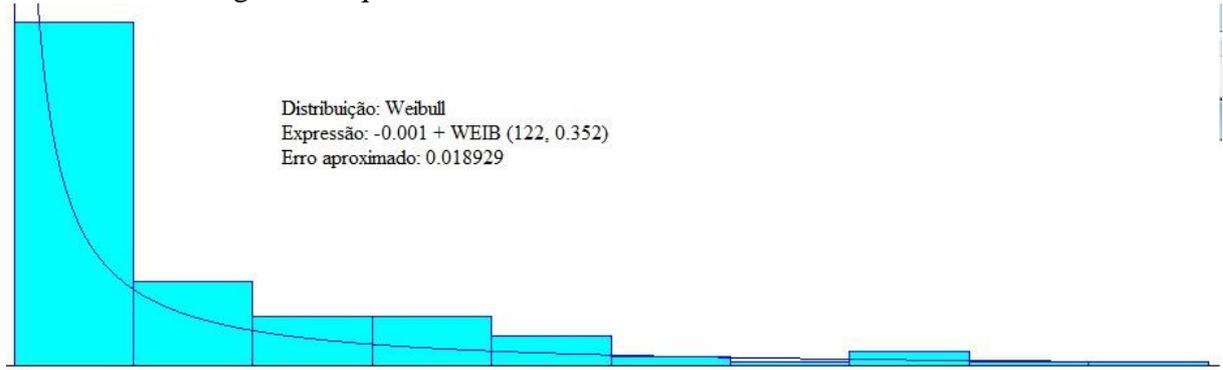
Intervalo de Chegadas de segunda-feira



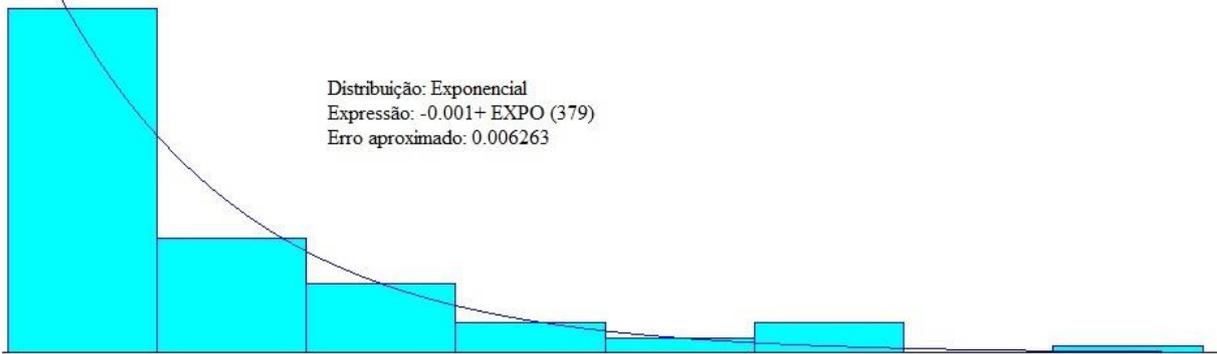
Intervalo de Chegadas de terça-feira



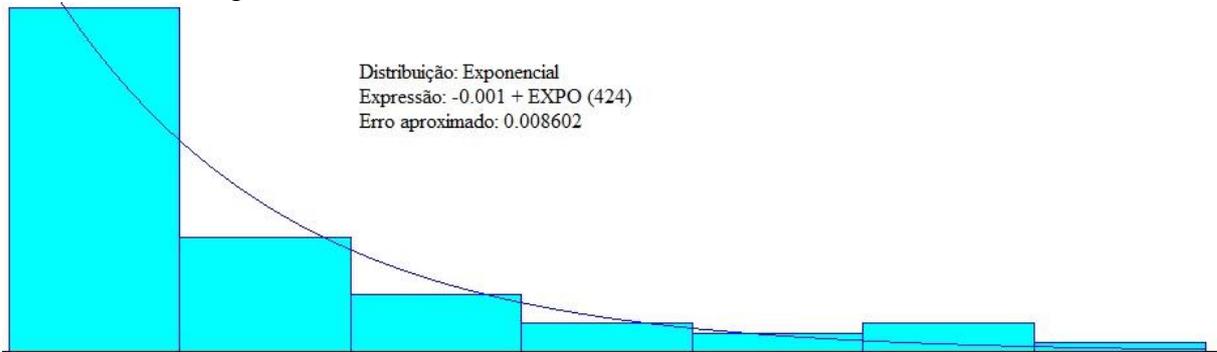
Intervalos de Chegadas de quarta-feira



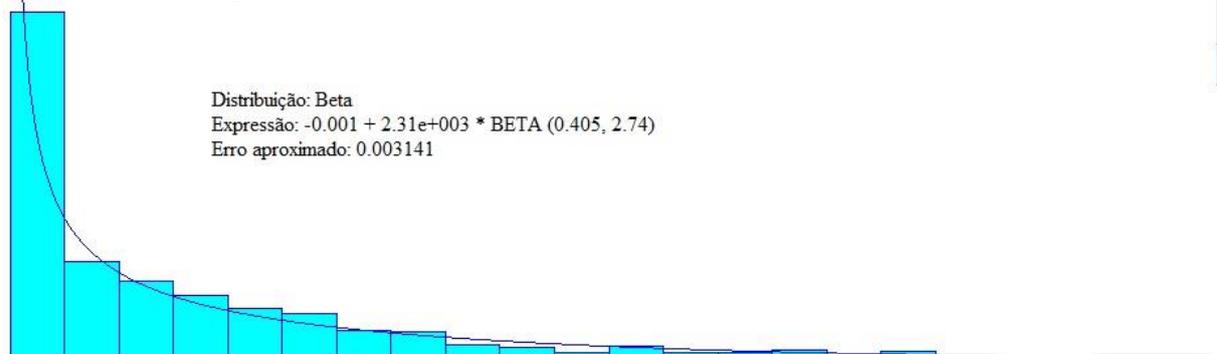
Intervalos de Chegadas de quinta-feira



Intervalos de Chegadas de sexta-feira



Intervalos de Chegadas Semana Toda



Apêndice C – Intervalos entre Processos

Intervalos de processo segunda-feira (em segundos)							
Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo
1	172	16	485	31	208	46	332
2	143	17	280	32	274	47	247
3	283	18	191	33	154	48	189
4	187	19	139	34	133	49	380
5	190	20	128	35	341	50	799
6	273	21	293	36	180	51	50
7	222	22	204	37	322	52	441
8	445	23	551	38	277	53	121
9	226	24	194	39	228	54	133
10	301	25	647	40	395	55	191
11	276	26	490	41	233	56	269
12	264	27	513	42	218	57	263
13	388	28	209	43	269		
14	246	29	315	44	351		
15	355	30	332	45	363		

Intervalos de processo terça-feira (em segundos)							
Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo
1	223	16	790	31	153	46	141
2	235	17	240	32	143	47	126
3	278	18	428	33	379	48	240
4	39	19	294	34	285	49	565
5	144	20	238	35	364	50	150
6	251	21	439	36	685	51	197
7	262	22	250	37	267	52	324
8	187	23	277	38	233	53	173
9	442	24	423	39	165	54	310
10	52	25	126	40	329	55	304
11	416	26	43	41	80	56	531
12	435	27	407	42	290	57	328
13	608	28	336	43	228		
14	278	29	187	44	324		
15	215	30	440	45	200		

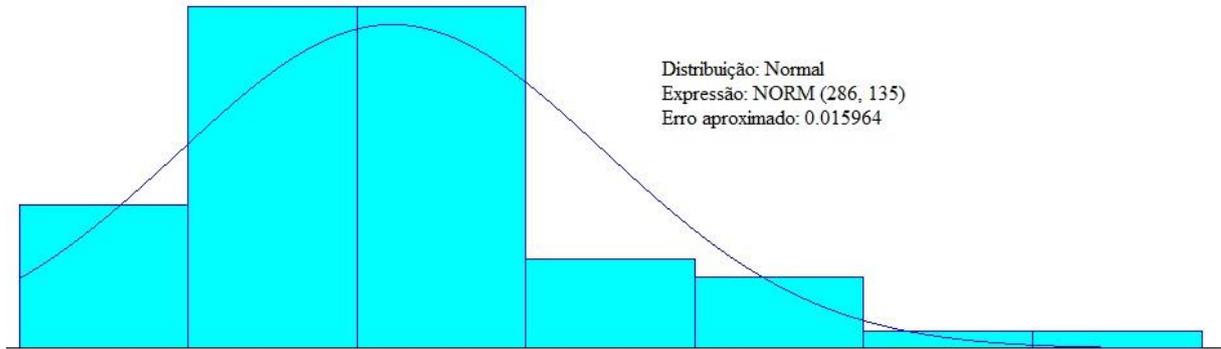
Intervalos de processo quarta-feira (em segundos)							
Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo
1	196	17	120	33	78	49	278
2	277	18	419	34	258	50	661
3	129	19	304	35	320	51	150
4	255	20	361	36	80	52	235
5	108	21	161	37	97	53	197
6	258	22	298	38	298	54	277
7	205	23	708	39	241	55	132
8	262	24	553	40	54	56	139
9	310	25	253	41	281	57	205
10	170	26	277	42	225	58	169
11	163	27	115	43	203	59	410
12	443	28	834	44	285	60	80
13	169	29	947	45	181	61	309
14	289	30	382	46	181	62	660
15	222	31	222	47	248	63	304
16	340	32	409	48	270		

Intervalos de processo quinta-feira (em segundos)							
Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo
1	170	13	403	25	334	37	713
2	320	14	197	26	168	38	786
3	503	15	156	27	369	39	306
4	282	16	338	28	478	40	325
5	348	17	252	29	245	41	842
6	1256	18	251	30	672	42	116
7	744	19	909	31	315	43	117
8	398	20	132	32	356		
9	305	21	309	33	279		
10	412	22	602	34	60		
11	330	23	238	35	209		
12	312	24	330	36	181		

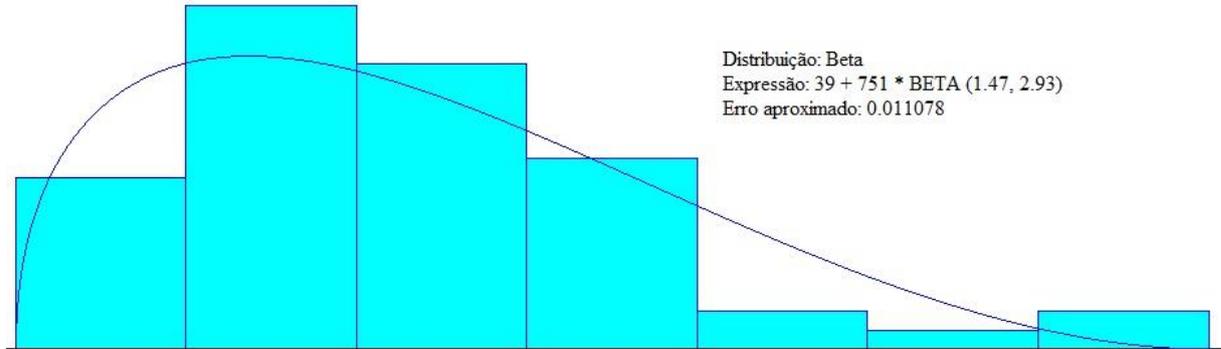
Intervalos de processo sexta-feira (em segundos)							
Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo	Processo	Intervalo
1	266	10	222	19	953	28	1108
2	397	11	276	20	528	29	202
3	52	12	710	21	423	30	665
4	150	13	1032	22	235	31	174
5	391	14	560	23	106	32	731
6	63	15	183	24	362	33	776
7	418	16	492	25	237	34	746
8	238	17	372	26	306	35	78
9	137	18	362	27	501		

Apêndice D – Ilustração dos Intervalos entre Processos

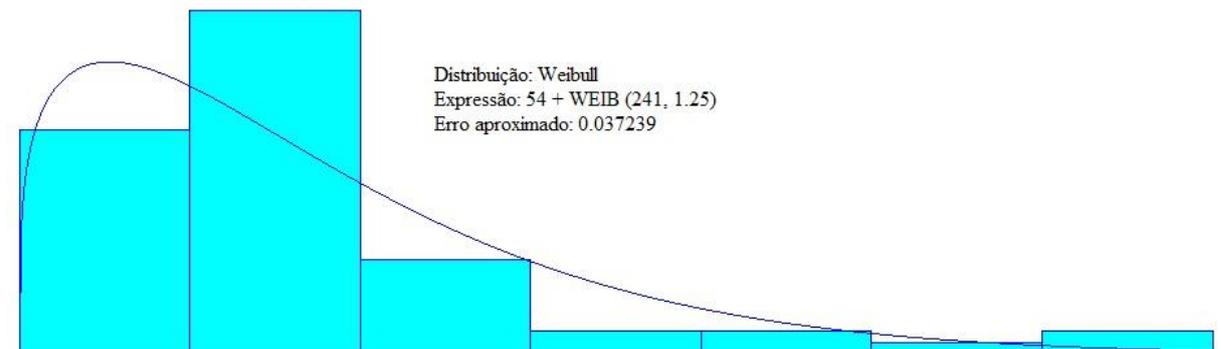
Intervalo de Processo segunda-feira



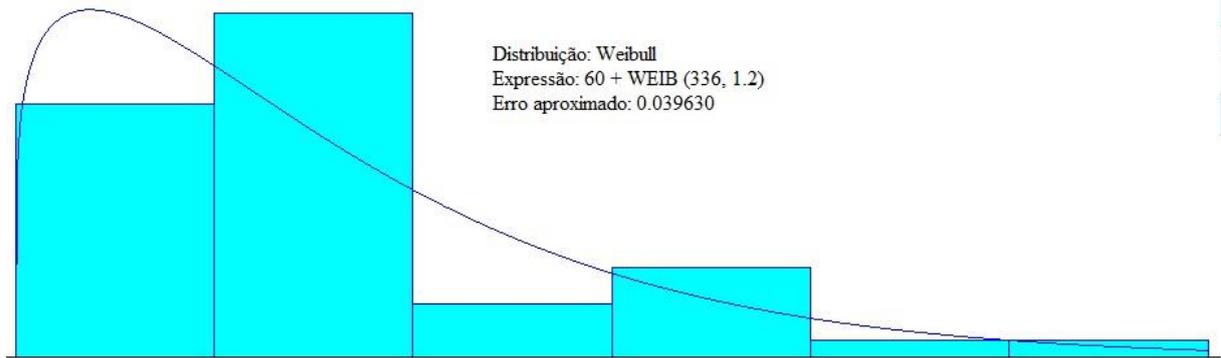
Intervalo de Processo terça-feira



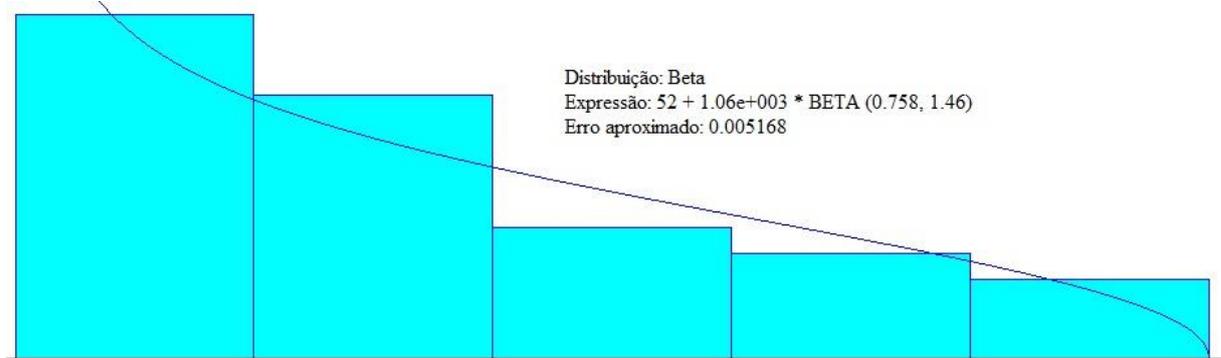
Intervalo de Processo quarta-feira



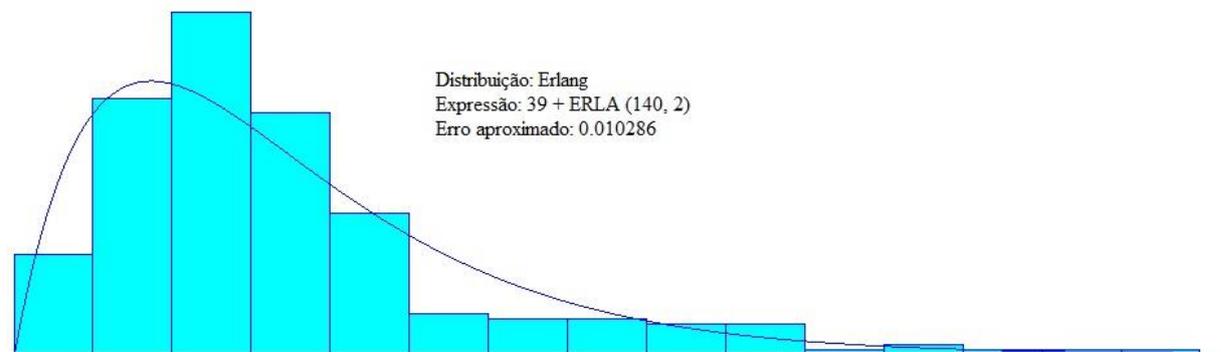
Intervalo de Processo quinta-feira



Intervalo de Processo sexta-feira



Intervalo de Processo Semana Toda



Apêndice E – Quantidade de Pessoas por Viagem

Quantidade pessoas por viagem segunda-feira							
Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade
1	1	16	1	31	4	46	1
2	4	17	3	32	1	47	1
3	7	18	2	33	1	48	1
4	4	19	1	34	1	49	1
5	3	20	2	35	8	50	2
6	2	21	1	36	3	51	1
7	3	22	3	37	4	52	1
8	1	23	2	38	1	53	1
9	2	24	1	39	3	54	1
10	2	25	1	40	2	55	1
11	7	26	1	41	3	56	1
12	1	27	2	42	2	57	2
13	2	28	1	43	2	58	1
14	1	29	1	44	1		
15	1	30	1	45	1		

Quantidade pessoas por viagem terça-feira							
Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade
1	7	16	1	31	1	46	4
2	5	17	2	32	1	47	1
3	5	18	1	33	11	48	2
4	1	19	1	34	4	49	1
5	2	20	2	35	1	50	1
6	3	21	2	36	2	51	1
7	1	22	3	37	1	52	1
8	2	23	1	38	2	53	3
9	1	24	2	39	3	54	1
10	1	25	3	40	1	55	1
11	1	26	1	41	1	56	1
12	7	27	1	42	2	57	1
13	5	28	2	43	1	58	1
14	3	29	2	44	1		
15	2	30	1	45	2		

Quantidade pessoas por viagem quarta-feira

Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade
1	4	18	1	35	5	52	1
2	4	19	1	36	2	53	1
3	3	20	1	37	4	54	1
4	2	21	1	38	4	55	2
5	1	22	1	39	3	56	1
6	1	23	1	40	1	57	1
7	1	24	1	41	1	58	1
8	1	25	1	42	2	59	1
9	4	26	2	43	1	60	2
10	1	27	1	44	1	61	1
11	1	28	1	45	1	62	3
12	5	29	1	46	2	63	1
13	4	30	1	47	1	64	1
14	3	31	7	48	1		
15	2	32	6	49	3		
16	1	33	1	50	1		
17	1	34	1	51	1		

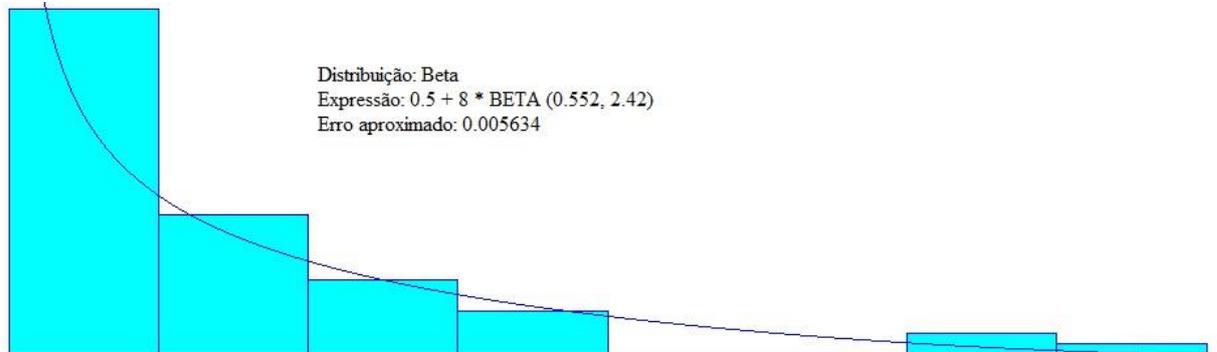
Quantidade pessoas por viagem quinta-feira

Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade
1	4	12	1	23	1	34	1
2	2	13	1	24	8	35	1
3	3	14	1	25	1	36	1
4	1	15	1	26	1	37	1
5	2	16	1	27	4	38	1
6	1	17	2	28	2	39	1
7	1	18	2	29	1	40	1
8	5	19	3	30	2	41	1
9	2	20	2	31	2	42	1
10	3	21	1	32	1	43	1
11	1	22	1	33	3	44	2

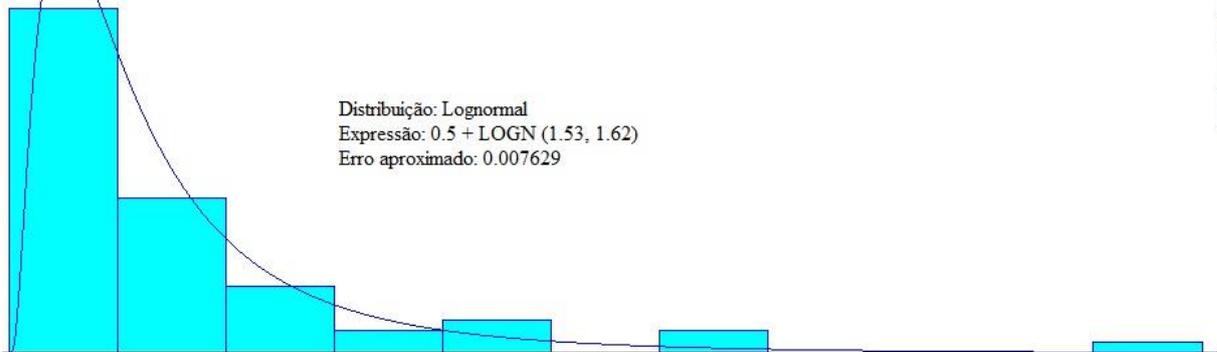
Quantidade pessoas por viagem sexta-feira							
Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade	Viagem	Quantidade
1	6	10	3	19	1	28	4
2	3	11	2	20	1	29	1
3	3	12	3	21	2	30	1
4	2	13	1	22	2	31	1
5	1	14	1	23	1	32	1
6	2	15	1	24	1	33	1
7	1	16	1	25	1	34	1
8	1	17	3	26	1	35	2
9	1	18	3	27	1	36	1

Apêndice F – Ilustração da Quantidade de Pessoas por Viagem

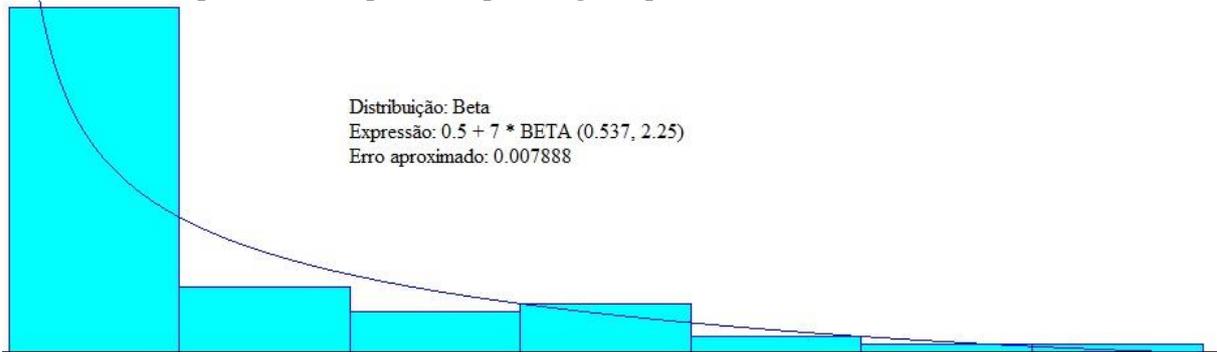
Quantidade de pessoas transportadas por viagem segunda-feira



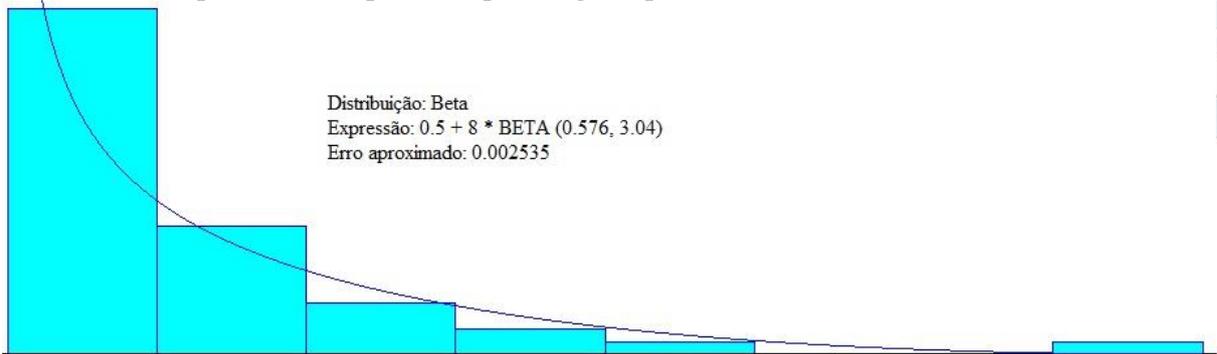
Quantidade de pessoas transportadas por viagem terça-feira



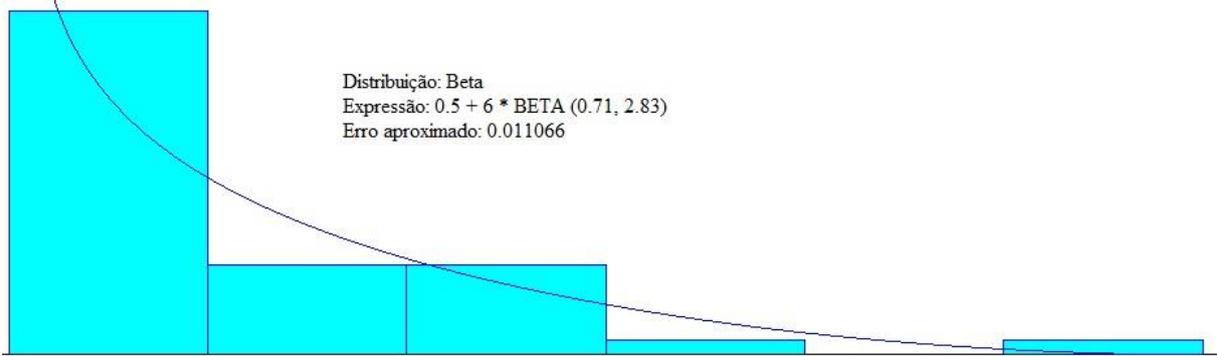
Quantidade de pessoas transportadas por viagem quarta-feira



Quantidade de pessoas transportadas por viagem quinta-feira



Quantidade de pessoas transportadas por viagem sexta-feira



Quantidade de pessoas transportadas por viagem Semana Toda

