

Bárbara Giovana Lima Freitas

**Otimização da operação de transporte e
carregamento de matéria-prima através de
Simulação de Eventos Discretos**

UBERLÂNDIA

2025

Bárbara Giovana Lima Freitas

**Otimização da operação de transporte e
carregamento de matéria-prima através de
Simulação de Eventos Discretos**

Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia
de Controle e Automação da Universidade Federal
de Uberlândia - UFU - Câmpus Santa Mônica,
como requisito para a obtenção do título de
Graduação em Engenharia de Controle e
Automação

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Renato Santos Carrijo

UBERLÂNDIA

2025

FREITAS, Bárbara Giovana Lima

Otimização da operação de transporte e carregamento de
matéria-prima através de Simulação de Eventos Discretos/

Bárbara Giovana Lima Freitas. - UBERLÂNDIA, 2025- 85

p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Renato Santos Carrijo

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Faculdade de Engenharia Elétrica . **2025.**

1. Eventos Discretos 2. Gestão de Projetos 3. Logística I. Prof. Dr. Renato Santos Carrijo. II. Universidade Federal de Uberlândia. III. Faculdade de Engenharia Elétrica. IV. Engenharia de Controle e Automação. V. Otimização da Operação de Transporte e carregamento de matéria-prima através de Simulação de Eventos Discretos.

*À aqueles que foram como
minhas pernas e braços para chegar até aqui,
minha família.*

Agradecimentos

Inúmeros esforços foram feitos para que esta conquista acontecesse. Com forte determinação grandes feitos se tornam próximos, mas apenas a sinergia de uma verdadeira rede de apoio faz acontecer, especialmente o Grande Arquiteto do Universo, Deus.

Ainda que a jornada tenha sido árdua e que a superação de medos tenha sido necessária, há quem fez ainda mais para isso acontecer, minha família. Ao meu pai, agradeço por ter tornado todas as pedras do caminho a sustentação do nosso lar. À minha mãe, que faz o que possível e o impossível de olhos fechados em nome dos nosso sonhos, sem hesitar. E, por fim, ao meu irmão tão companheiro, que esteve ao meu lado em cada momento.

Não posso esquecer das amizades feitas ao longo dessa vida. Àqueles amigos feitos na adolescência ou ainda antes, obrigada por sempre acreditarem e verem valor em mim e me fazer acreditar que posso chegar cada vez mais longe. Às amizades feitas durante a faculdade, vocês deram vida à frase “Não há corrente mais forte do que seu elo mais fraco” e foram mais que colegas de profissão, e sim parceiros nesse desafio.

A conclusão deste Trabalho e, conseqüentemente, da Graduação em Engenharia de Controle e Automação representou uma etapa de grande descoberta. Aos docentes que souberam estimular o anseio e desejo pelo conhecimento durante a graduação, em especial ao professor orientador deste trabalho, Renato Carrijo, e à professora Gabriela Vieira, obrigada por marcarem positivamente esse período. As oportunidades que tive me ensinaram muito sobre resiliência e autoconhecimento, e descobri habilidades e locais onde me destaco e, por fim, me evidenciou a beleza de apreciar a jornada, pois apenas assim se alcança o seu verdadeiro destino.

*“Um navio ancorado é seguro,
mas não foi para isso que um navio foi feito.”*

(William Shedd)

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo estudar a aplicação de técnicas de simulação de eventos para a otimização de processos logísticos. A logística, como componente essencial de diversas cadeias de suprimentos, enfrenta desafios crescentes em termos de eficiência, custo e capacidade de resposta às demandas do mercado. Nesse contexto, a simulação de eventos surge como uma ferramenta fundamental para modelar, analisar e propor melhorias em sistemas logísticos complexos, possibilitando uma tomada de decisão mais embasada e estratégica.

A metodologia adotada envolve a construção de um modelo computacional representativo de um processo logístico específico, permitindo a análise de diferentes cenários e estratégias operacionais. O estudo avalia métricas como tempos de carregamento e transporte de materiais, utilização de recursos, custos operacionais de transportes e armazenamento e taxas de serviço, identificando gargalos e oportunidades de melhoria. Com isso, busca-se demonstrar como a simulação de eventos pode reduzir desperdícios, aumentar a eficiência e melhorar a flexibilidade das operações.

Palavras-chave: Simulação, otimização de operação logística, operações logísticas, transporte, carregamento.

Abstract

The aim of this final project is to study the application of event simulation techniques to optimize logistics processes. Logistics, as an essential component of various supply chains, faces growing challenges in terms of efficiency, cost and responsiveness to market demands. In this context, event simulation has emerged as a fundamental tool for modeling, analyzing and proposing improvements in complex logistics systems, enabling more informed and strategic decision-making.

The methodology adopted involves building a computer model that is representative of a specific logistics process, allowing different scenarios and operational strategies to be analyzed. The study evaluates metrics such as material loading and transportation times, resource utilization, transportation and storage operating costs and service rates, identifying bottlenecks and opportunities for improvement. The aim is to demonstrate how event simulation can reduce waste, increase efficiency and improve the flexibility of operations.

Keywords: Simulation, logistics operation optimization, logistics operations, transport, loading.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Tela Principal do Software Arena	24
Figura 2 – Modelo de Simulação de uma Estação de Petróleo no software Simul8	25
Figura 3 – Modelo de Simulação de uma Rede de Transportes com FlexSim.....	26
Figura 4 – Nível típico de custos e pessoal ao longo do ciclo de vida de um projeto	28
Figura 5 – Cronograma e Descrição de Atividades do Projeto	30
Figura 6 – Dimensões de um carreta LS Sider	31
Figura 7 – Carreta LS Sider.....	31
Figura 8 – Caixa do tipo C48	32
Figura 9 – Calculadora de Fretes ANTT	33
Figura 10 – Máquina Paleteira retirando palete de carreta	34
Figura 11 – Fluxograma Processo AS IS	35
Figura 12 – Fluxograma Processo TO BE.....	36
Figura 13 – Máquina Clamp retirando caixas de carreta.....	37
Figura 14 – Gráfico Boxplot Buscar Veículo	43
Figura 15 – Gráfico Boxplot Estacionar Veículo	43
Figura 16 – Gráfico Boxplot Buscar Paletes – 1ª vez	44
Figura 17 – Gráfico Boxplot Buscar Paletes – 2ª vez	44
Figura 18 – Gráfico Boxplot Posicionar Paletes	45
Figura 19 – Gráfico Boxplot Abrir Gradil.....	45
Figura 20 – Gráfico Boxplot Abrir Travas	46
Figura 21 – Gráfico Boxplot Enrolar Cintas	46
Figura 22 – Gráfico Boxplot Abrir Sider	47
Figura 23 – Gráfico Boxplot Tirar Travessas	47

Figura 24 – Gráfico Boxplot Tirar Fuegos.....	48
Figura 25 – Gráfico Boxplot Descarregamento com Clamp	48
Figura 26 – Gráfico Boxplot Descarregamento com Empilhadeira	49
Figura 27 – Gráfico Boxplot Movimentar Fuegos.....	49
Figura 28 – Gráfico Boxplot Fechar Fuegos.....	50
Figura 29 – Gráfico Boxplot Fechar Travas.....	50
Figura 30 – Gráfico Boxplot Fechar Sider	51
Figura 31 – Gráfico Boxplot Retirar Veículo.....	51
Figura 32 – Gráfico Boxplot Sair Veículo	52
Figura 33 – Distribuição Estatística – Buscar Veículo.....	53
Figura 34 – Legenda de Distribuição Estatística – Buscar Veículo	54
Figura 35 – Distribuição Estatística – Estacionar Veículo	54
Figura 36 – Legenda de Distribuição Estatística – Estacionar Veículo	55
Figura 37 – Distribuição Estatística – Buscar Paletes – 1ª vez	55
Figura 38 – Legenda de Distribuição Estatística – Buscar Paletes – 1ª vez.....	56
Figura 39 – Distribuição Estatística – Buscar Paletes – 2ª vez	56
Figura 40 – Legenda de Distribuição Estatística – Buscar Paletes – 2ª vez.....	57
Figura 41 – Distribuição Estatística – Posicionar Paletes	57
Figura 42 – Legenda de Distribuição Estatística – Posicionar Paletes.....	58
Figura 43 – Distribuição Estatística – Abrir Gradil.....	58
Figura 44 – Legenda de Distribuição Estatística – Abrir Gradil	59
Figura 45 – Distribuição Estatística – Abrir Travas.....	59
Figura 46 – Legenda de Distribuição Estatística – Abrir Travas	60
Figura 47 – Distribuição Estatística – Enrolar Cintas	60

Figura 48 – Legenda de Distribuição Estatística – Enrolar Cintas.....	61
Figura 49 – Distribuição Estatística – Abrir Sider	61
Figura 50 – Legenda de Distribuição Estatística – Abrir Sider.....	62
Figura 51 – Distribuição Estatística – Tirar Travessas.....	62
Figura 52 – Legenda de Distribuição Estatística – Tirar Travessas	63
Figura 53 – Distribuição Estatística – Tirar Fuegos	63
Figura 54 – Legenda de Distribuição Estatística – Tirar Fuegos	64
Figura 55 – Distribuição Estatística – Descarregamento com Clamp.....	64
Figura 56 – Legenda de Distribuição Estatística – Descarregamento com Clamp	65
Figura 57 – Distribuição Estatística – Descarregamento com Empilhadeira	65
Figura 58 – Legenda de Distribuição Estatística – Descarregamento com Empilhadeira.....	66
Figura 59 – Distribuição Estatística – Movimentar Fuegos.....	66
Figura 60 – Legenda de Distribuição Estatística – Movimentar Fuegos	67
Figura 61 – Distribuição Estatística – Fechar Fuegos.....	67
Figura 62 – Legenda de Distribuição Estatística – Fechar Fuegos	68
Figura 63 – Distribuição Estatística – Fechar Travessas	68
Figura 64 – Legenda de Distribuição Estatística – Fechar Travessas	69
Figura 65 – Distribuição Estatística – Fechar Sider	69
Figura 66 – Legenda de Distribuição Estatística – Fechar Sider.....	70
Figura 67 – Distribuição Estatística – Retirar Veículo.....	70
Figura 68 – Legenda de Distribuição Estatística – Retirar Veículo	71
Figura 69 – Distribuição Estatística – Sair Veículo	71
Figura 70 – Legenda de Distribuição Estatística – Sair Veículo.....	72
Figura 71 – Blocos disponíveis utilizados no Software Arena.....	73

Figura 72 – Modelo de Simulação no Arena de AS IS – 1 ^a parte	74
Figura 73 – Modelo de Simulação no Arena de AS IS – 2 ^a parte	74
Figura 74 – Modelo de Simulação no Arena de TO BE – 1 ^a parte	75
Figura 75 – Modelo de Simulação no Arena de TO BE – 2 ^a parte	75
Figura 76 – Modelo de Simulação no Arena de TO BE – 3 ^a parte.....	75

Lista de tabelas

Tabela 1 – Análise de Redução de Viagens.....	33
Tabela 2 – Business Case.....	39
Tabela 3 – Comparação entre AS IS e TO BE após Simulação Arena.....	80
Tabela 4 – Comparação entre AS IS e TO BE Alterado após Simulação Arena.....	81
Tabela 5 – Economia anual média em viagens.....	82
Tabela 6 – Custo anual médio em Recursos Adicionados ao Processo.....	82
Tabela 7 – Economia final total.....	82

Lista de abreviaturas e siglas

2D	2 Dimensões
3D	3 Dimensões
AS IS	Processo Atual
BC	Business Case
CO2	Gás Carbônico
DES	Discrete Event Simulations
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
KPIs	Key Performance Indicators
MSE	Mean Square Error
PIR	Post Implementation Review
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
Q1	Primeiro Quartil
Q2	Segundo Quartil
Q3	Terceiro Quartil
Q4	Quarto Quartil
SED	Simulação de Eventos Discretos
TO BE	Processo Desejado
WBS	Work Breakdown Structure
WIP	Work in Progress

Sumário

Introdução	18
1.1 Objetivo.....	19
2 Referencial Teórico.....	21
2.1 Simulação	21
2.1.1 Simulação de Eventos Discretos.....	21
2.2 Ferramentas para Simulação de Eventos Discretos.....	23
2.2.1 Arena	23
2.2.2 Simul8	24
2.2.3 FlexSim	25
2.3 Gerenciamento de Projetos	26
2.4 Caracterização de Sistemas Logísticos.....	28
3 Metodologia.....	29
3.1 Iniciação	30
3.1.1 Análise de Oportunidades	30
3.1.2 Análise de Viabilidade.....	34
3.1.3 Mapeamento de Riscos e Benefícios	38

3.1.4	Alinhamento de Partes Interessadas	38
3.1.5	Desenvolvimento de <i>Business Case</i>	39
3.2	Planejamento	40
3.2.1	Desenvolvimento da Estrutura Analítica do Projeto.....	40
3.2.2	Planejamento de Testes	41
3.3	Execução	41
3.3.1	Aquisição de Recursos Necessários.....	41
3.3.2	Testes de Transporte e Carregamento sem Paletes	41
3.3.2.1	Tratamento de Dados com software Past	42
3.3.2.2	Distribuição de Dados com Input Analyzer.....	52
3.3.2.3	Modelagem e Simulação com software Arena.....	72
3.3.2.4	Treinamento Operacional.....	76
3.3.2.5	Go Live e Hypercare.....	76
3.4.1	Relatório PIR (<i>Post Implementation Review</i>).....	76
3.5	Controle	76
4	Resultados e Discussões	77
4.1	Resultados da modelagem do Cenário AS IS.....	78
4.2	Resultados da modelagem do Cenário TO BE.....	79

	4.3 Discussões	80
	4.4 Solução Final.....	81
5	Conclusão e Trabalhos Futuros	83
6	Referências Bibliográficas.....	85
	Apêndices.....	87
	Apêndice A	88
	Apêndice B	89
	Apêndice C	90
	Apêndice D	91
	Apêndice E.....	92
	Apêndice F.....	93
	Apêndice G.....	94
	Apêndice H.....	95
	Apêndice I.....	96
	Apêndice J	97
	Apêndice K.....	98
	Apêndice L.....	99
	Apêndice M	100
	Apêndice N.....	101
	Apêndice O.....	102

Apêndice P.....	103
Apêndice Q.....	104
Apêndice R.....	105
Apêndice S.....	106

1 Introdução

A logística desempenha um papel central na economia global, sendo responsável pela coordenação eficiente do fluxo de bens, serviços e informações. Em um cenário de crescente demanda por agilidade e precisão, aliado à competitividade do mercado, as empresas enfrentam o desafio de otimizar suas operações logísticas. Essa necessidade torna-se ainda mais evidente em setores onde pequenas melhorias nos processos podem resultar em significativas reduções de custos e aumento da qualidade do serviço prestado.

No contexto da Engenharia de Controle e Automação, a aplicação de técnicas avançadas para a otimização logística tem se mostrado uma área promissora. Entre essas técnicas, destaca-se a simulação de eventos, uma ferramenta poderosa que permite modelar, analisar e prever o comportamento de sistemas complexos. Por meio da simulação, é possível avaliar diferentes cenários, identificar gargalos operacionais e propor soluções eficazes antes da implementação no mundo real.

A definição de Simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real ou sistema ao longo do tempo, e envolve a geração de uma história artificial do sistema e a observação dessa história para se obter as inferências das características do processo operacional real que se é representada. Ele complementa ainda que, a simulação é uma metodologia de resolução de problemas indispensável para solucionar muitos problemas do mundo real, já que é usada para descrever e analisar o comportamento do sistema e adicionar possibilidades sobre o sistema real a fim de melhorá-lo (BANKS et al., 1998)

Em processos industriais e sistemas de controle, onde é comum a presença de variáveis dinâmicas e interações entre componentes, a Simulação de Eventos Discretos tem grande aplicabilidade, possibilitando a otimização de operações, a melhoria de eficiência e a redução de custos. Essa técnica pode ser utilizada para estudar o comportamento de sistemas como linhas de produção, sistemas de logística, redes de distribuição de energia, sistemas de transporte, entre outros. No contexto de logística, tem o potencial de fornecer soluções práticas para desafios complexos enfrentados por empresas, como a gestão de fluxos logísticos, a previsão de demanda e a organização de recursos, contribuindo para o aprimoramento contínuo das operações logísticas.

No âmbito da Engenharia de Controle e Automação, a simulação de eventos

Discretos permite analisar diferentes cenários operacionais, considerando variações em parâmetros como tempos de processamento, capacidade de máquinas, interrupções e falhas. Essa análise proporciona insights sobre o desempenho global do sistema, permitindo

identificar gargalos, otimizar o uso de recursos e prever possíveis falhas antes que ocorram no mundo real. Além disso, a simulação oferece uma forma eficiente de avaliar alternativas de controle, como a implementação de novos algoritmos ou estratégias de automação.

As industriais de manufatura foram as maiores usuárias de simulação, pois além da facilidade de uso, a pressão competitiva pela eficiência operacional é um fator sempre relevante. Ainda para corroborar com a abrangência desse tema, os novos softwares de simulação têm evoluído cada vez mais e se tornado acessível e flexíveis, permitindo modelagem de funções associadas à indústria, como movimentação de material, distribuição, armazenagem, manutenção e automatização. (HARRELL, 1997)

Por fim, a aplicação de SED é fundamental na área de sistemas de controle e automação devido à sua capacidade de representar com precisão o comportamento de processos complexos, auxiliando engenheiros na tomada de decisões informadas, na melhoria do desempenho de sistemas e na implementação de soluções inovadoras para desafios encontrados em processos industriais e sistemas automatizados. A utilização desta ferramenta é cada vez mais essencial para garantir a competitividade e a sustentabilidade das indústrias no cenário global.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é desenvolver e aplicar uma simulação de eventos discretos (SED) para otimizar o processo logístico relacionado à toda operação envolvendo o transporte de matéria-prima de uma usina de processamento até a fábrica de produção de tabaco. O foco será a análise da eficiência de transporte e carga e descarga, considerando a longa distância (cerca de 1.700 km) envolvendo o trajeto da usina até a fábrica e a ainda, a alta quantidade de viagens envolvidas tanto nesse sentido como na sua logística reversa, de fábrica- usina.

Principalmente quando a operação envolve um indústria de grande porte, a cadeia de suprimentos se torna ainda mais extensa, e conseguir analisá-la de forma integral, do início ao fim, tem sido o objetivo central das empresas. Ainda que o processo seja complexo, SED se apresenta como um ótimo recurso, capaz de identificar gargalos em qualquer parte do processo, entendendo que a logística operacional está presente em todas elas, seja no transporte de matéria-prima do fornecedor até o armazém de fábrica, do armazém às linhas fabris de produção, da fábrica para centros de distribuição, e até o consumidor final. Por isso, analisar esse setor é saber que as possibilidades de melhorias e otimização são vastas.

Entendendo que a Simulação de Eventos Discretos é um importante recurso para

identificação de oportunidades de melhoria em processos, ele será o instrumento usado para conseguir encontrar alternativas para redução de quantidades de viagens ou tempo de carga/descarga nesta operação logística que, por ser diária, quando analisadas dentro de um período de tempo maior como mês ou ainda ano, tem o potencial de trazer grandes economias de tempo, recursos e /ou financeiras. Deseja-se então, avaliar melhorias no processo, que podem envolver redução de viagens, otimização do espaço de veículos e ainda, melhoria no layout de descarregamento/carregamento de materiais.

2 Referencial Teórico

Neste tópico serão embasadas algumas teorias envolvendo simulação de eventos discretos, processos logísticos e estudos envolvendo a simulação de eventos discretos como instrumento para otimização dos processos logísticos.

2.1 Simulação

Considerando a simulação como o foco desse trabalho, é importante partir da definição desta que é para o Dicionário Aurélio: “ substantivo feminino ‘Ato ou efeito de simular. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos’”.

A simulação é uma ferramenta amplamente utilizada para a análise e solução de problemas complexos em diversas áreas do conhecimento, como engenharia, saúde, economia e computação. Em essência, a simulação é o processo de imitar o comportamento de um sistema real ou hipotético, frequentemente por meio de modelos matemáticos ou computacionais, para compreender sua dinâmica ou prever seu desempenho sob diferentes condições.

O objetivo principal da simulação é proporcionar um ambiente controlado e seguro para testar hipóteses, avaliar estratégias e tomar decisões sem os custos ou riscos associados à intervenção em sistemas reais. Além disso, a simulação é especialmente útil em situações onde experimentos diretos são inviáveis devido a limitações de tempo, recursos ou segurança.

As aplicações da simulação abrangem uma ampla gama de contextos, como a previsão de tráfego em redes de transporte, o estudo de epidemias em saúde pública, a análise de desempenho de sistemas de manufatura e a modelagem de mercados financeiros. Independentemente da área, o uso de simulação permite uma melhor compreensão dos sistemas e uma base mais sólida para a tomada de decisões.

2.1.1 Simulação de Eventos Discretos

A metodologia DES (Discrete Event Simulation) modela um sistema conforme sua evolução ao longo do tempo. Representando as mudanças instantâneas de suas variáveis de estado em pontos separados no tempo, correspondente à visão do fluxo de entidades. (PADILHA, 2018).

A simulação baseada em eventos discretos utiliza técnicas matemáticas e computacionais que permitem descrever um sistema e seu comportamento, em virtude da capacidade desta de representar quantitativamente ambientes reais, mostram as dinâmicas de um determinado sistema partindo de um ideia baseada em eventos (BABULAK; WANG, 2010).

A SED se destaca por sua capacidade de modelar sistemas onde o estado permanece inalterado durante períodos de tempo contínuos, mas muda abruptamente quando um evento ocorre. Exemplos incluem filas em sistemas de atendimento, redes de transporte, processos industriais e cadeias de suprimentos.

Conforme apresentado por Miller e Zhan, os elementos básicos de um modelo de SED incluem: Eventos: Ocorrências que provocam mudanças no estado do sistema (ex.: chegada de um cliente, término de um processo); Entidades: Objetos ou componentes que interagem no sistema (ex.: máquinas, pessoas, produtos); Recursos: Elementos limitados que devem ser gerenciados (ex.: servidores, estações de trabalho); Relógio de Simulação: Um mecanismo que avança o tempo de um evento para outro, sem considerar o tempo entre os eventos diretamente. Esses componentes são organizados em um modelo lógico que permite a análise do comportamento do sistema ao longo do tempo.

Miller e Zhan descrevem um processo estruturado para criar modelos SED, com: Definição do Sistema: Identificação dos objetivos da simulação e dos componentes do sistema; Construção do Modelo: Desenvolvimento de uma representação lógica e matemática do sistema; Execução da Simulação: Execução do modelo para coletar dados de desempenho; Validação e Verificação: Garantia de que o modelo é preciso e reflete a realidade; Análise de Resultados: Interpretação dos dados simulados para a tomada de decisão.

Em 2015, Miller e Zhan trazem ainda outro estudo relacionado a SED, em que trata um sistema como “estático” até que “eventos” ocorram, onde conclui-se evento como uma mudança significativa de estado de um sistema, e menciona a chegada de um caminhão em um pátio como exemplo, reforçando ainda mais a aplicabilidade de simulação de eventos discretos em transportes e processos logísticos.

As aplicações da SED são diversas e abrangem sistemas de manufatura, com a avaliação de linhas de produção, otimização de processos e redução de tempos de ciclo, ou a Logística e Transporte, no planejamento de rotas e alocação de recursos em redes de transporte, ou ainda, em redes de comunicação ao simular fluxos de dados e avaliação de desempenho em redes digitais.

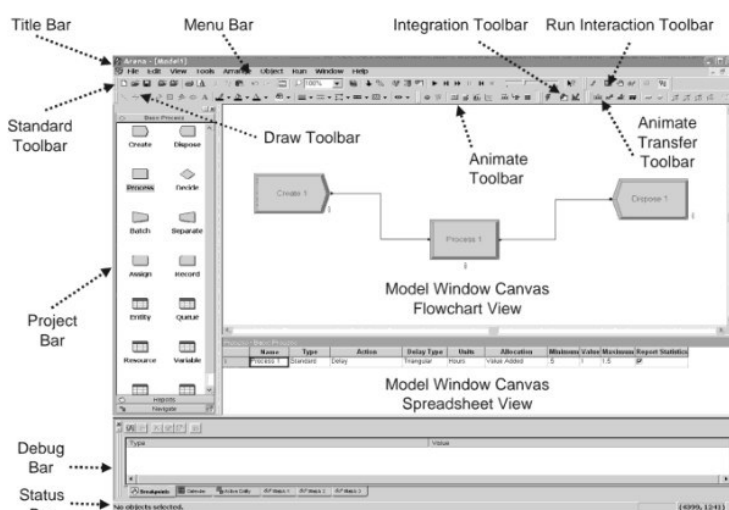
2.2 Ferramentas para Simulação de Eventos Discretos

O avanço dos softwares possibilitou o desenvolvimento de tecnologias mais aprimoradas para simulação, o que, por sua vez, favoreceu a simulação de eventos discretos. Isso facilitou a modelagem de sistemas e processos complexos, eliminando a necessidade de programação extensiva. Dentre os softwares mais utilizados e que contemplam interfaces gráficas e funcionalidades avançadas de modelagem, os softwares Arena, Simul8 e FlexSim se mostram os mais adequados para a aplicação estudada, e serão citadas abaixo:

2.2.1 Arena

O Arena é um software de simulação amplamente utilizado, que oferece uma interface gráfica para modelar eventos discretos em processos industriais e logísticos. Ele possibilita aos usuários criar fluxos de trabalho, configurar parâmetros e analisar os dados das simulações. É comumente empregado para modelar filas, processos de produção e fluxo de transporte. (LAW, 2014)

Figura 1 – Tela Principal do Software Arena



Fonte: ALTIOK (2010).

A linguagem utilizada no software Arena é a SIMAN e consiste de duas classes de objetos: blocos e elementos. Os blocos são contruídos por lógica básica e representam as operações enquanto os elementos são referentes à recursos a serem utilizados. Os ‘módulos’ são componentes fundamentais de modelagem do Arena, um exemplo é o Módulo ‘Process’ que modela o processamento de uma entidade que internamente consiste em alguns blocos de atribuição, fila, atraso e liberação ou apreensão de alguma atividade (ALTIOK, 2010).

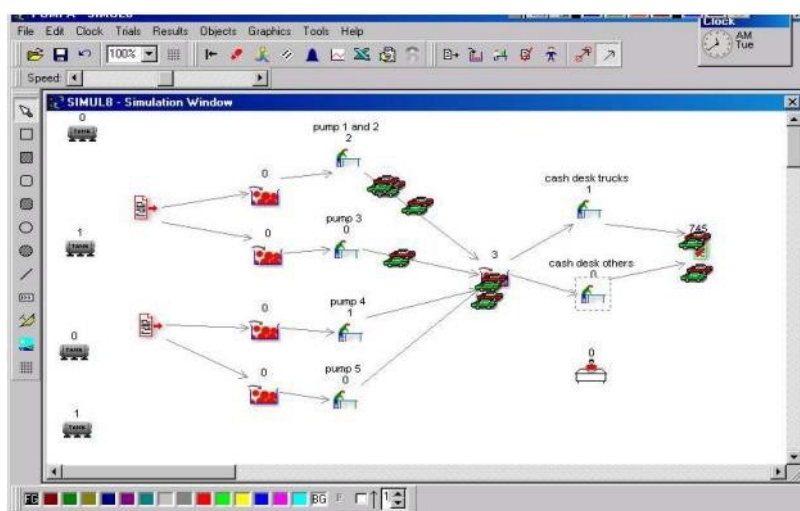
Em resumo, Arena propõe uma ambiente de simulação orientado em módulos para modelar praticamente qualquer cenário envolvendo o fluxo de transações através o processo definido.

2.2.2 Simul8

O Simul8 é outra ferramenta de simulação que simplifica a modelagem e análise de processos. Com ênfase na facilidade de uso, é ideal para modelagem rápida e ajuste de parâmetros, sendo bastante utilizado em áreas como gestão de operações e logística. (PIDD, 2019).

Esse software usa variados componentes gráficos e animações 2D para a representação de um processo. Os objetos são ligados por conectores e isso define a sequência de atividades e também a direção dos movimentos. A imagem abaixo exemplifica o que foi dito:

Figura 2 – Modelo de Simulação de uma Estação de Petróleo no software Simul8



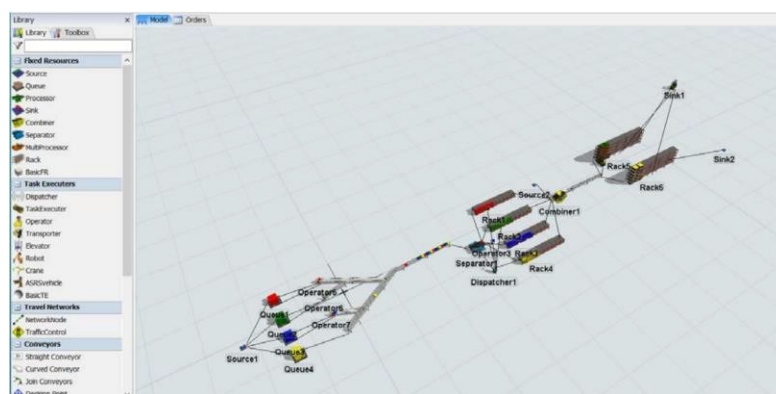
Fonte: FOUSEK (2017).

O Simul8 se mostra fácil para aprender e serve não apenas para modelagem de diferentes serviços como também para simulação de diferentes processos produtivos (FOUSEK, 2017).

2.2.3 FlexSim

O FlexSim é uma plataforma de simulação voltada para a modelagem de fluxos de materiais e processos logísticos. Ela oferece ferramentas gráficas 3D que facilitam a visualização e análise de operações de maneira intuitiva, sendo útil em aplicações industriais e na área da saúde. (LAW, 2014).

Figura 3 – Modelo de Simulação de uma Rede de Transportes com FlexSim



Fonte: VELYKA (2023).

O software se destaca por suas simulações 3D e por possuir ferramentas específicas para modelagem de fluxos logísticos ou de produção, além da sua fácil utilização. Embora seja intuitivo em modelos simples, modelos complexos podem exigir mais experiência e também é menos completo para estudar nas áreas de saúde e finanças, por exemplo.

Após um estudo básico entre as principais ferramentas, acredita-se previamente que o Simul8 se mostra a melhor opção para esse estudo, considerando a facilidade de uso e que seus pontos de melhoria se dão apenas em modelagem que sejam muito complexas. Porém, ao longo do desenvolvimento e estudo de simulação, será definida a melhor opção final.

2.3 Gerenciamento de Projetos

Um projeto é um empreendimento único, com início e fim definidos, que utiliza recursos limitados, conduzido por pessoas, visando atingir metas e objetivos pré-definidos e estabelecidos dentro do parâmetro de prazo, custo e qualidade. (PMI, 2008).

Para que a implementação ou otimização de um novo processo seja bem sucedido, o bom gerenciamento de projetos se faz crucial. Considerando a temática do estudo deste trabalho que busca otimizar uma operação, caso seja aprovado precisará passar por fases de validação até que seja totalmente implementado, é o que chamamos de projeto.

Atualmente, o gerenciamento de projetos é definido como a utilização de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas para cumprir os requisitos de um projeto. O gerente de projeto é o responsável por liderar a equipe e garantir que os resultados esperados sejam alcançados, além de identificar e mitigar os riscos que possam comprometer o sucesso do projeto. A partir do Guia PMBOK entende-se que um projeto é dividido em cinco grupos de processos: Iniciação, Planejamento, Execução, Controle e Encerramento, que serão comentados abaixo:

Na Iniciação, as primeiras reuniões de alinhamento são feitas com os maiores interessados daquele projeto, identificam-se as necessidades e um problema é criado para ser solucionado. É nessa fase que acontecem reuniões Análise de Viabilidade e KickOff, e os objetivos, premissas e produtos são definidos.

A fase de Planejamento é sobre detalhamento, todo o cronograma e os recursos, atividades, custos são identificados e definidos. O nível de detalhe é fundamental para que a execução seja facilitada e ocorra de forma fluída.

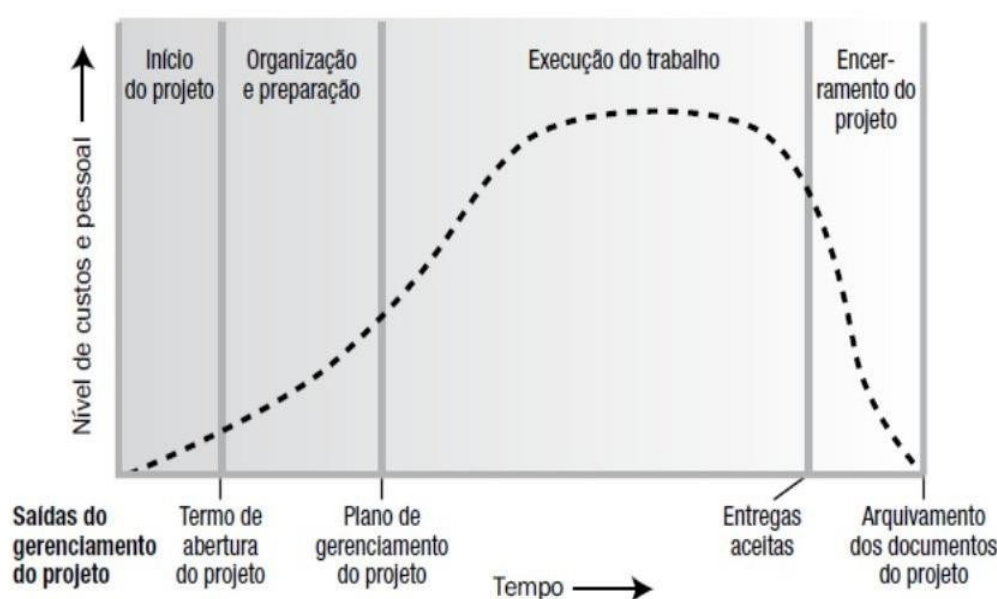
A Execução é quando o projeto começa a se tornar realidade, e consequentemente, se demanda um aumento de recursos e esforços, por isso, é nessa fase que se concentra a maior parte do orçamento estabelecido. O cronograma é um guia mais importante desse momento, e o controle das mudanças é realizado a partir dele.

O Encerramento decreta a entrega do projeto, bem sucedido ou não. A avaliação das entregas são feitas, as lições aprendidas são listadas e os documentos finais são organizados e entregues.

O Controle acontece de forma simultânea à todas as fases para garantir o alinhamento entre planejada e executado, e caso necessário, aplica-se medidas de correção.

A imagem abaixo apresenta as fases de um projeto e os recursos de pessoal e financeiro envolvido ao longo das etapas, reforçando a importância de um bom entendimento da gestão de projetos.

Figura 4 – Nível típico de custos e pessoal ao longo do ciclo de vida de um projeto



Fonte: PMBOK (2018).

A integração entre a abordagem PMBOK e a simulação de eventos discretos estabelece uma sinergia metodológica altamente relevante para o gerenciamento de projetos, especialmente na fase de planejamento e análise de riscos. O uso da SED permite testar cenários e validar cronogramas, recursos e decisões antes da execução real, oferecendo suporte à áreas de conhecimento como ao "Gerenciamento dos Recursos" e "Gerenciamento dos Riscos" e especialmente à Gestão de Mudança em si que esse Trabalho envolve. A simulação torna-se uma ferramenta decisiva para analisar incertezas e identificar gargalos, contribuindo para a elaboração de cronogramas mais realistas e estratégias de contingência mais eficazes.

Além disso, a simulação possibilita uma abordagem preditiva e iterativa para a tomada de decisão, alinhando-se ao grupo de processos de "Monitoramento e Controle" descrito no PMBOK que acontece simultaneamente à todas as demais fases a serem citadas ao longo desse projeto. À medida que o projeto avança, os modelos de simulação podem ser ajustados com dados reais, permitindo uma comparação contínua entre o desempenho planejado e o desempenho observado, o que favorece ações corretivas tempestivas.

2.4 Caracterização de Sistemas Logísticos

Segundo o Novo Dicionário da Língua Portuguesa autorado por Ferreira em 1986, logística é caracterizada como a parte da arte de guerra que trata do planejamento e da realização do projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenamento, transporte, distribuição, reparação, manutenção e evacuação de materiais.

A definição de logística se dá pelo processo de gerenciamento de toda a cadeia de suprimentos, onde é planejado, implementado e controlado o fluxo (direto e reverso) e armazenamento adequado de materiais, evidenciando que esse processo é realizado de “ponta a ponta” da cadeia, para atender as necessidades do cliente final.(CSCMP, 2005)

Quando buscamos detalhar as atividades envolvidos no processo logístico, o gerenciamento de transportes e de armazenamento se destacam, porém há outras ainda entrelaçadas como: controle de estoque, gerenciamento da operação logística (geralmente terceirizada), manuseio de materiais, recebimento e processamento de pedidos, sempre sendo a interface com outras áreas, tais como produção, qualidade, marketing e vendas.

Nesse sentido, a aplicação da simulação de eventos discretos em sistemas logísticos se torna muito abrangente, desde estudo sobre tráfego e roteirização de transportes até projetos para automatização de armazenamento.

3 Metodologia

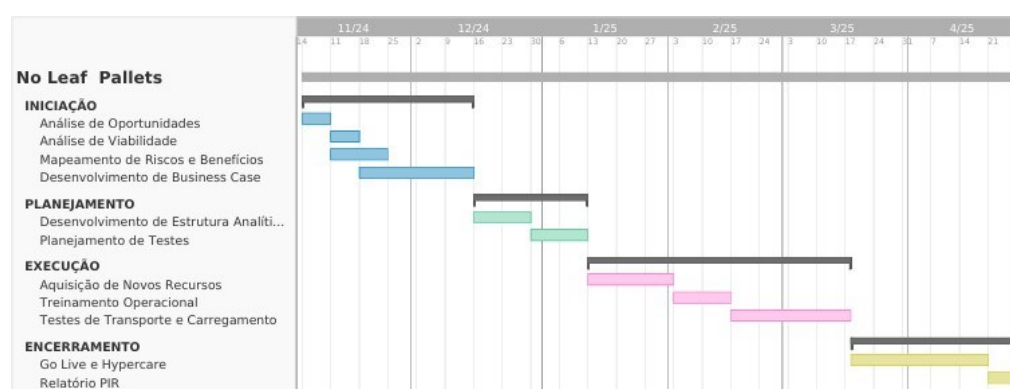
Com base na metodologia de gerenciamento de projetos do PMBOK, o desenvolvimento do projeto seguirá as seguintes fases: Iniciação, Planejamento, Execução e Encerramento. Há ainda a fase de Controle que acontece simultânea a todas as fases.

A iniciativa do projeto surgiu com o aumento futuro da demanda produtiva na empresa analisada que, conseqüentemente, demanda maior capacidade logística, impactando assim as áreas de transportes, carregamento/descarregamento e armazenagem. Oportunidades foram prontamente identificadas no processo de transporte, considerando processos que anteriormente já aconteciam e foram interrompidos, porém para o cenário vigente foi necessário realizar um estudo para entender a aplicabilidade.

A mudança central envolve o transporte das caixas de tabaco sem palete, e a retirada destes aumenta a capacidade de caixas carregadas e gera diminuição das viagens requeridas por consequência, viagens estas envolvendo cerca de 1.700 km de deslocamento no trajeto usina-fábrica e 25 veículos recebidos por semana no destino final. Por isso, enxerga-se um impacto no processo logístico a ser estudado, onde as viagens diminuirão, porém o descarregamento se tornaria mais oneroso partindo da necessidade de substituição da máquina de manuseio de materiais “Paleteiras” por “Clamps”.

A listagem de atividades foi construída considerando as quatro fases do Gerenciamento de Projetos do PMBOK e o Gráfico de Gantt, assim foi feito o cronograma-guia para um melhor planejamento e acompanhamento das fases do projeto, assim como mostra a imagem abaixo:

Figura 5 – Cronograma e Descrição de Atividades do Projeto



Fonte: Autoria própria (2025)

3.1 Iniciação

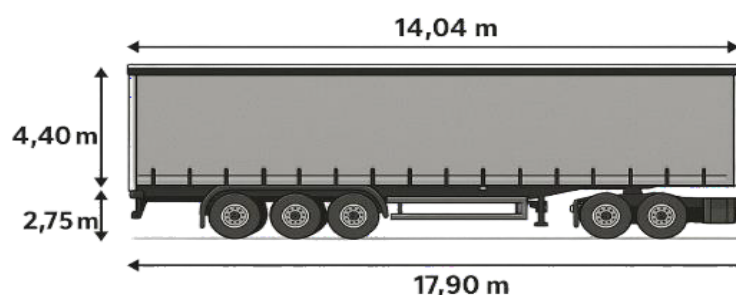
3.1.1 Análise de Oportunidades

No processo atual, o transporte de todos as matérias-primas, inclusive caixas de tabaco, acontece em caixas do tipo C48 dentro de carretas do tipo LS sider, abaixo estão as especificações dos dois tipos citados:

As carretas do tipo sider são recomendadas para cargas volumosas que geralmente são acomodada em paletes. Seu nome “sider” se refere ao fato de serem fechadas nas laterais com lonas retráteis que facilitam e agilizam o processo de carregamento e descarregamento.

Possuem 3 eixos de cavalo mecânico e podem carregar até 28 toneladas, suas dimensões aproximadas são de 15 metros de comprimento x 2,50 metros de largura x 2,86 metros de altura.

Figura 6 – Dimensões de uma carreta LS Sider



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 7 – Carreta LS Sider



Fonte: Autoria própria (2025)

A caixa do tipo C48 é amplamente utilizada para transporte de produtos, como setor de alimentos, têxtil, eletrodomésticos, por conta sua resistência e praticidade. É fabricada em papel ondulado resistente e geralmente com dupla camada (duplex) para maior proteção e possui as seguintes dimensões: 115 centímetros de comprimento x 70 centímetros de largura e 73 centímetros de altura, e uma caixa do tipo C48 cheia de tabaco pesa cerca de 200 kg.

Figura 8 – Caixa do tipo C48



Fonte: Autoria própria (2025)

Considerando a capacidade interna da carreta, são carregados 20 paletes com 6 caixas C48 armazenando tabaco em cada uma delas, totalizando 120 caixas transportadas em viagem. Com a retirada dos paletes do carregamento, o espaço é otimizado e é possível assim adicionar mais um palete para transporte, portanto 21 paletes com 126 caixas podem ser transportados em uma única viagem.

A otimização desse processo se torna ainda mais valiosa quando considerados os valores de frete do trajeto feito por cerca de 1.700 quilômetros. O estudo de projeção de viagens reduzidas foi baseado no histórico de viagens realizadas no ano anterior, considerando as variações de demanda em cada mês e o aumento do transporte de 120 para 126 caixas em cada carreta. A cada 20 viagens realizadas sem paletes, 1 viagem é reduzida quando comparada com o transporte com paletes.

A partir da Calculadora de Fretes disponibilizada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres, pode-se obter um valor aproximado do frete para uma distância de 1.700km, tipo de carga granel sólida e veículo de 3 eixos como foi a estudada.

Figura 9 – Calculadora de Fretes ANTT

Calcular Piso Mínimo de Frete

Tipo de Carga
Carga Geral

Número de Eixos*
3

Distância
1700

É composição veicular?
(veículo automotor + implemento ou
caminhão simples)

Sim

É Alto Desempenho?

Não

Retorno Vazio?

Sim

Calcular

VALORES CALCULADOS CONFORME RESOLUÇÃO ANTT Nº 5.867/2020, ATUALIZADA PELA PORT.SUROC Nº03/2025

R\$ 15.854,61

VALOR TABELA ANTT OFICIAL

***Notas:**

1. Caso a Combinação Veicular de Carga possua número de eixos não previstos nas tabelas, conforme Resolução nº 5.867/2020, o valor do piso mínimo de frete é calculado utilizando-se a quantidade de eixos imediatamente inferior, ou superior, no caso de não existir quantidade de eixos imediatamente inferior, aplicando-se o mesmo princípio no caso da contratação de veículo automotor de cargas.
2. Para compor o valor final do frete a ser pago ao transportador, deverão ser neociados os valores dos incisos I, III e IV da Resolução

Informações de cálculo conforme parâmetros informados:
Operação de Transporte: **Tabela A - Transporte Rodoviário de Carga e Lotação**
Distância: **1700 Km**
Coeficiente de custo de deslocamento (CCD): **4,7063**
Coeficiente de custo de carga e descarga (CC): **493,25**
Valor de ida = (Distância x CCD)+CC: **8.493,96**
Valor do retorno vazio (caso exista) = 0,92 x Distância x CCD: **7.360,65**

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 1 – Análise de Redução de Viagens

Estudo de viagens		Com paletes	Sem paletes
		Caixas	Caixas
1 viagem	R\$ 15.854,61	120	126
Usina-Fábrica			
20 viagens	R\$ 317.092,2	2.400	2.520
Usina-Fábrica			

Fonte: Autoria própria (2025)

O aumento de 120 para 126 caixas a cada viagem possibilita a redução em viagens por ano de 1400 pra 1300 aproximadamente na companhia utilizada como estudo, e considerando o valor do frete utilizado para basear o estudo fornecido pelo ANTT, a economia seria:

Número de viagens reduzidas x Preço do frete 100 X

R\$ 15.854,61 = R\$ 1.585.461

3.1.2 Análise de Viabilidade

Entendendo que a retirada de paletes implica em descarregamento com Clamp ao invés de Empilhadeira, um estudo precisa ser feito e aplicado buscando garantir a fluidez do processo, que é o foco desse Trabalho.

Foram feitos desenhos do processo de descarga por meio fluxograma atual “AS IS” e futuro “TO BE”, a fim de identificar as mudanças que aconteceriam.

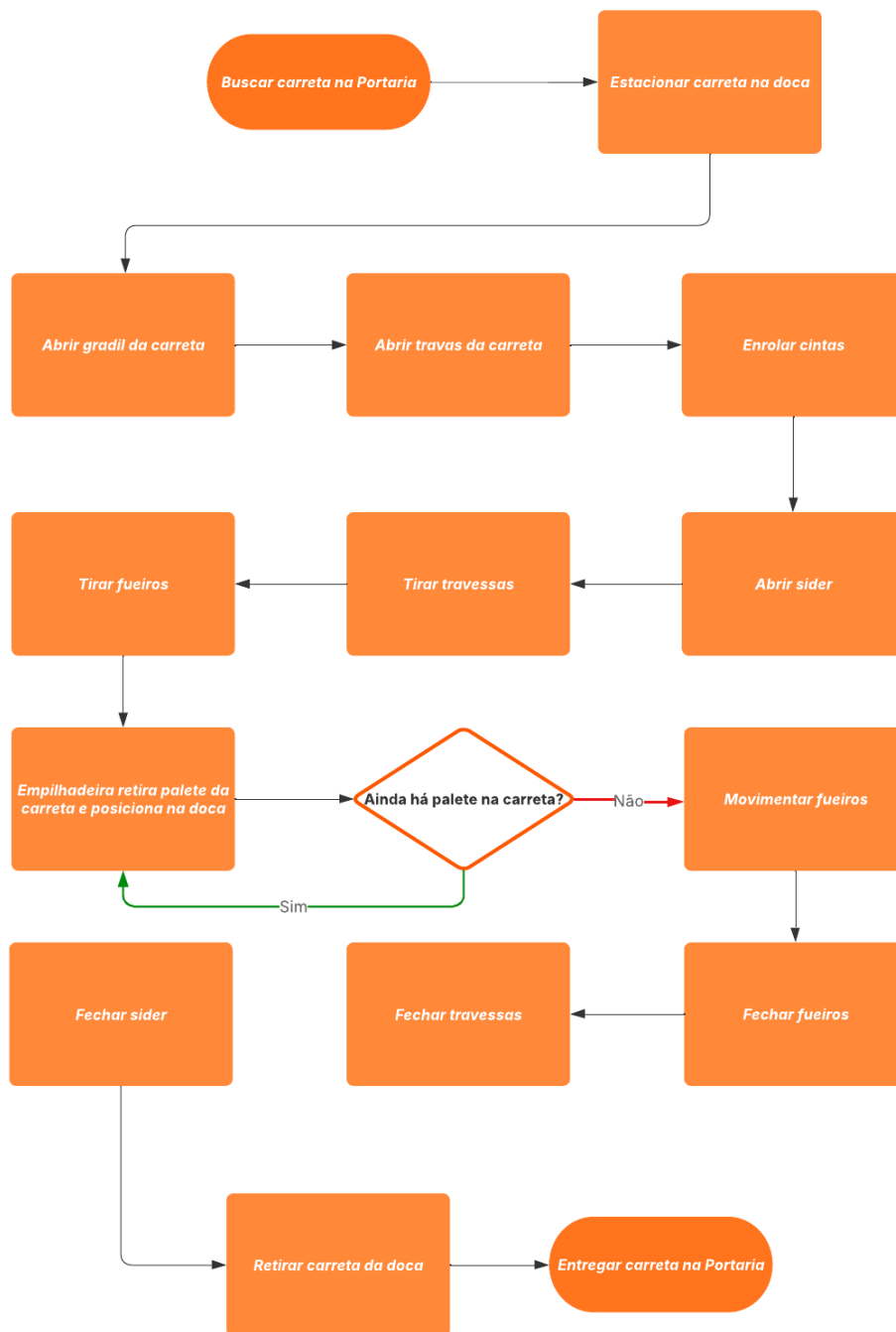
No processo AS IS, o uso do palete permite que, assim que a carreta já tenha sido aberta, o operador de empilhadeira use o palete para facilitação da retirada das caixas que estão sobre o palete e já as posicione na lateral da doca do armazém.

Figura 10 – Máquina Paleteira retirando palete de carreta



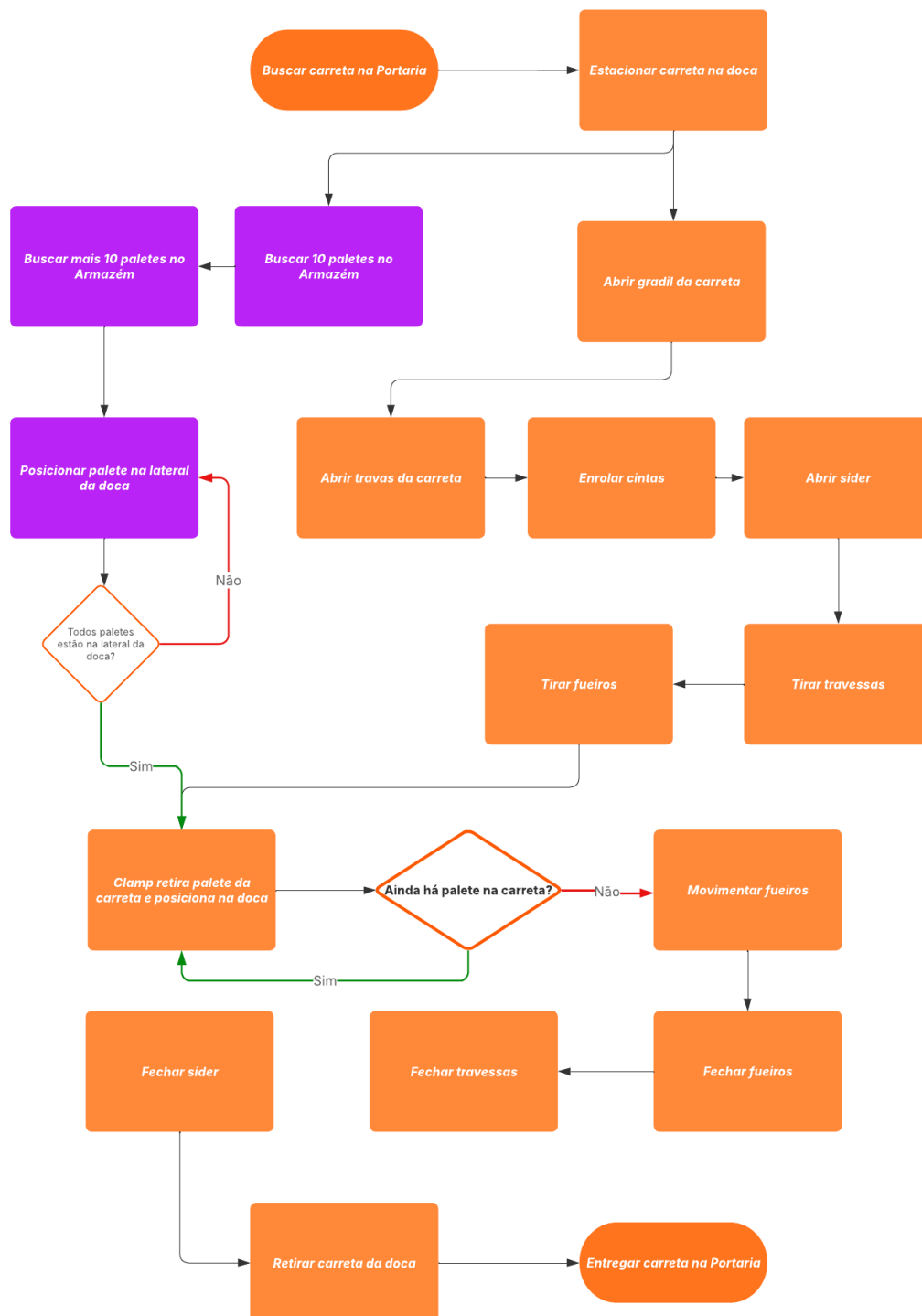
Fonte: Imagem gerada por Inteligência Artificial (2025)

Figura 11 – Fluxograma Processo AS IS



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 12 – Fluxograma Processo TO BE



Com o processo acontecendo sem paletes no transporte, algumas etapas são adicionadas, já que o transporte e armazenamento dentro do armazém é mais facilitado quando ocorre com paletes. As etapas são: busca de paletes no armazém, posicionamento de paletes na lateral da doca e a substituição de descarregamento com empilhadeira para descarregamento com clamp. Uma técnica utilizada para facilitar a retirada de paletes foi utilizar o espaço vazio da carreta para que a clamp distanciasse as caixas da extremidade em relação às caixas ao lado, facilitando o fluxo de retirada de caixas com clamp e conseguindo retirar 6 caixas por vez assim como uma empilhadeira consegue ao retirar o paletê com 6 caixas no processo AS IS.

Figura 13 – Máquina Clamp retirando caixa de carreta



Fonte: Imagem gerada por Inteligência Artificial (2025)

É importante ressaltar que, o transporte sem uso de paletes implica também em oneração no processo da Usina, porém como a demanda de carregamento da usina é menor e o serviço é feito pela própria empresa e não de forma terceirizada, não foram apresentados impactos, especialmente financeiros, por parte do carregamento na Usina.

A retirada dos paletes pode implicar em alguns ofensores que deverão ser analisados, já que a caixa sobreposta ao paletê evitava a possibilidade de molhadura ou avarias da caixa em contato com o solo da carreta. Para essa análise, foram realizadas algumas viagens sem paletes esporádicas, durante um mês, na carreta para uma breve inspeção de impactos nas caixas, e não foram encontradas avarias.

3.1.3 Mapeamento de Riscos e Benefícios

Para toda proposta de mudança a ser realizada, é necessário que seja mapeado os benefícios e também os riscos associados a fim de que possa ser feito um bom alinhamento entre interessados e planejamento da Gestão de Mudança.

Desde o início, na Análise de Oportunidades, os benefícios ficaram evidentes com o aumento de capacidade de carregamento de caixas, que envolve a redução de viagens para transporte de tabaco, e por consequência, a redução de emissão de CO₂, e claro, a redução de custos com transportes.

Para os possíveis riscos, pesquisas foram feitas em conjunto com pessoas envolvidas diretamente no processo, que seriam as mais propensas a enxergar impactos no novo processo. Portanto, os principais impactos mapeados são relacionados às possíveis avarias na caixa por meio do contato da caixa com água ou qualquer corpo estranho e no produto internamente armazenado. Por serem muito resistentes e custo maior que as caixas convencionais, as caixas C48 são reutilizadas muitas vezes para esse transporte também, por isso, a importância de conservá-la.

3.1.4 Alinhamento de Partes Interessadas

Alinhamento com Partes Interessadas ou Stakeholders é parte fundamental não só no gerenciamento de projetos como em qualquer contexto dentro de uma companhia, já que todas as áreas do processo trabalham em nome do produto final. Ainda que tenha sido encontrada uma otimização significativa no processo logístico (transporte e armazém), é necessário identificar outros envolvidos que possam ser impactados. Para o presente estudo, as principais áreas relacionadas envolvem:

- Time de Qualidade - avalia o impacto da mudança na qualidade do material;
- Time de Usina – avalia o impacto no processamento e carregamento do tabaco;
- Time de Transportes – avalia o impacto no transporte do material;
- Time de Armazém – avalia o impacto no descarregamento e armazenamento do material.

3.1.5 Desenvolvimento de *Business Case*

Após as análises de viabilidade e oportunidades e mapeamento de riscos e benefícios feitas, o desenvolvimento do Business Case se faz necessário. Business Case é um documento de apresentação de um novo projeto e costuma compreender a ideia central do projeto, os riscos e benefícios e dados importantes associados, com ele a tomada de decisão se torna mais fácil, principalmente quando pensamos que o avaliador será um gestor ou diretor da área responsável.

Para este trabalho, o BC será apresentado de forma breve e em forma de tabela, a fim de que se adeque ao formato do trabalho e segue abaixo:

Tabela 2 – Business Case

Escopo do projeto	Transporte das caixas de tabaco sem paletes
Objetivo	Otimizar transporte considerando aumento de demanda futura prevista
Benefícios	Aumento da capacidade de transporte de caixas por viagem
	Redução de emissão e CO2
	Mudança simples no processo
Riscos	Molhadura de caixas durante o trajeto de viagem
	Avaria de caixas com movimentação da máquina Clamp
Impacto Financeiro	Redução de cerca de 100 fretes envolvendo transporte de caixas de tabaco

Fonte: Autoria própria (2025)

Um modelo adaptado foi apresentado às principais partes interessadas dentro da companhia estudada, e obteve-se a aprovação deste Business Case a fim de dar continuidade ao projeto.

3.2 Planejamento

3.2.1 Desenvolvimento da Estrutura Analítica do Projeto

O Desenvolvimento da Estrutura Analítica do Projeto (EAP) ou Work Breakdown Structure (WBS) representa uma decomposição hierárquica do escopo total do projeto, após sua aprovação gerencial, em entregas menores e mais gerenciáveis para facilitar o planejamento, execução e principalmente controle do projeto.

Também foi feito um modelo adaptado do EAP como do Business Case, de forma breve e em forma de lista, a fim de que se adeque ao formato do trabalho e segue abaixo:

1. Teste de aumento de capacidade de caixas
 - 1.1 Carregamento de caixas sem paletes na Usina
 - 1.2 Transporte de caixas sem paletes
 - 1.3 Descarregamento de caixas sem paletes
 - 1.3.1 Cronometragem de tempo
 - 1.3.2 Avaliação de desvio de qualidade e segurança
2. Análise de dados do novo processo
 - 2.1 Avaliação de impacto em tempo
 - 2.2 Avaliação de impacto em recursos
 - 2.3 Definição de novos recursos e economia esperado
 - 2.4 Apresentação e aprovação gerencial final
3. Preparação para implementação
 - 3.1 Aquisição de novos recursos
 - 3.2 Treinamento Operacional
4. Implementação
 - 4.1 Mudança definitiva de transporte de caixas sem paletes
 - 4.2 Mudança definitiva de descarregamento de caixas com Clamp
 - 4.3 Monitoramento da nova operação
5. Fechamento
 - 5.1 Emissão de Relatório de desempenho e Conclusões

3.2.2 Planejamento de Testes

O período de testes representará um espaço amostral desta mudança, por isso é importante que seja representativo. Planejou-se o carregamento sem paletes de 3 veículos de caixa de tabaco por dia durante um mês para que houvessem cerca de 100 amostras para serem analisadas.

Além da quantidade amostras, entendeu-se que o período de um mês abordaria as variações de clima perante a distância do trajeto percorrido e as variações climáticas dos estados atravessados.

Um outro ponto importante considerado foi a chegada dos Recursos novos Necessários para operacionalização do processo.

3.3 Execução

3.3.1 Aquisição de Recursos Necessários

Como a operação de armazém na companhia estudada é terceirizada, a aquisição dos recursos propostas foi de inteira responsabilidade destes. Uma consideração apenas ao fato de que, este foi um pré-requisito para início da fase seguinte “Testes de Transporte e Carregamento sem Paletes”.

3.3.2 Testes de Transporte e Carregamento sem Paletes

A partir da coleta de dados, desenvolve-se um modelo de simulação para um processo logístico específico, abordando tanto o transporte de matéria-prima da usina até o armazém de fábrica e o descarregamento dentro do armazém.

Para isso, foi utilizado técnicas de simulação de eventos discretos que podem representar o comportamento do sistema, incluindo eventos como chegada de carretas, transporte de mercadorias, armazenamento, retirada de produtos e processos de carga e descarga. Com isso, será possível propor soluções baseadas nos resultados da simulação, como ajustes no layout do armazenamento da matéria-prima nos veículos, otimização de rotas de transporte, processo de carga e descarga e maior utilização dos recursos disponíveis.

Durante o período de um mês, foram acompanhadas descargas em turnos diferentes e com colaboradores diferentes a fim de obter um bom espaço amostral que representasse variáveis possíveis como experiência de colaborador, clima durante o transporte e carregamento das caixas sem e com envoltório de lona para proteção do meio externo.

3.3.2.1 Tratamento de Dados com software Past

Após dados coletados, acontece o Tratamento destes a fim de que sejam identificado padrões que representem a operação mas também outliers que não devem impactar a modelagem do processo. Para essa etapa foi utilizado o software Past, que com sua interface simples e prática e resultados estatísticos excelente, permitiu que a análise fosse bem sucedida. O modelo de gráfico boxplot se mostra o mais adequado para identificação de outliers ou pontos distantes e por isso, foi escolhido para visualização dos dados.

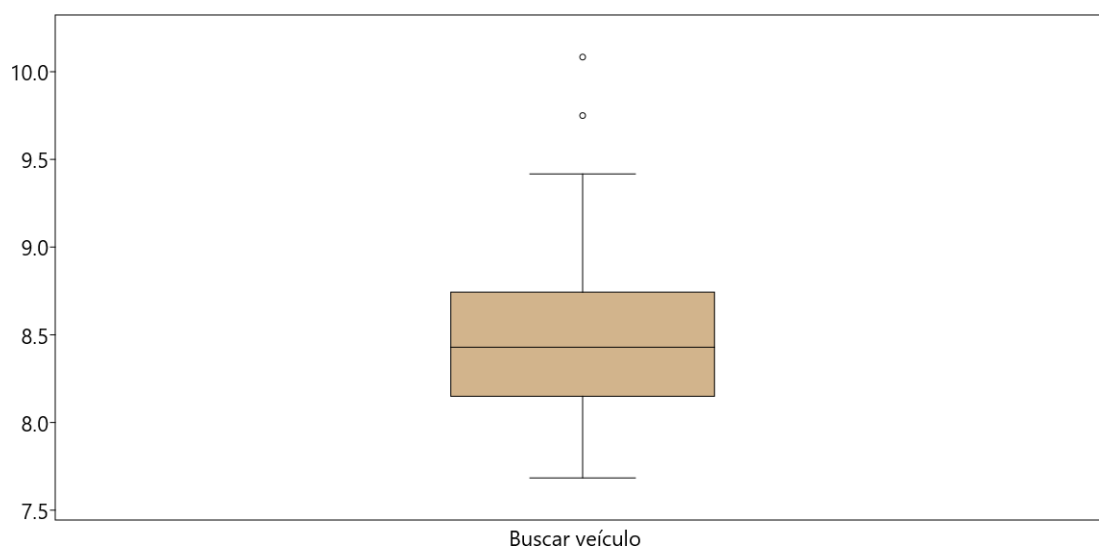
A razão da escolha do gráfico modelo Boxplot é por possibilitar uma visão clara da dispersão de dados. Sua principal vantagem reside na capacidade de resumir, em um único gráfico, informações relevantes sobre a tendência central, a variabilidade e a presença de possíveis valores discrepantes (outliers), sem pressupor uma distribuição específica dos dados.

Para que a interpretação dos gráficos seguintes se torne melhor é importante entender melhor o que ele informa. Esse tipo de gráfico é construído a partir de cinco valores estatísticos principais: o mínimo, o primeiro quartil (Q1), a mediana (Q2), o terceiro quartil (Q3) e o máximo. A "caixa" do boxplot é delimitada pelos quartis Q1 e Q3, representando o intervalo interquartil (IQR, do inglês interquartile range), que contém 50% dos dados centrais. A linha interna da caixa corresponde à mediana, fornecendo uma medida robusta da tendência central. As "extremidades" do gráfico, conhecidas como whiskers, geralmente se estendem até 1,5 vezes o IQR a partir dos quartis; valores além desses limites são considerados potenciais outliers e são representados como pontos isolados.

Os gráficos abaixo representam a dispersão de dados para cada processo que ocorre no fluxo (as etapas Buscar Paletes – 1ª vez, Buscar Paletes – 2ª vez, Posicionar Paletes são aquelas adicionais que se apresentam apenas no processo TO BE e a etapa Descarregamento com Clamp que será substituído por Descarregamento com Empilhadeira no processo TO BE também) analisado e o ponto mais relevante a ser retirado se refere aos outliers que não devem ser utilizados para estudo, tendo em vista que não serão capazes de representam um futuro modelo a ser realizado. Ainda que a variabilidade seja comum em qualquer processo, quando queremos garantir a confiabilidade do modelo, os dados devem ser tratados. Os “*” representam os outliers nos gráficos e serão removidos para análise de distribuição posterior, já os “o” indicam apenas pontos distantes que não virão a impactar o modelo futuro.

Nas figuras abaixo, o eixo X indica o processo e o eixo Y representa o tempo gasto em minutos para execução do processo.

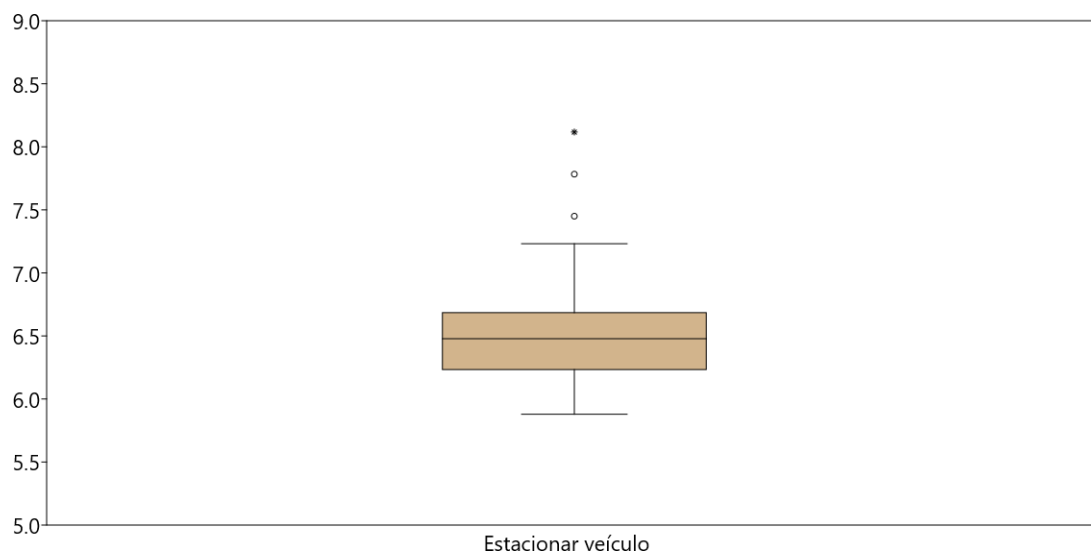
Figura 14 – Gráfico Boxplot Buscar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 14, temos o gráfico do processo Buscar Veículo e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

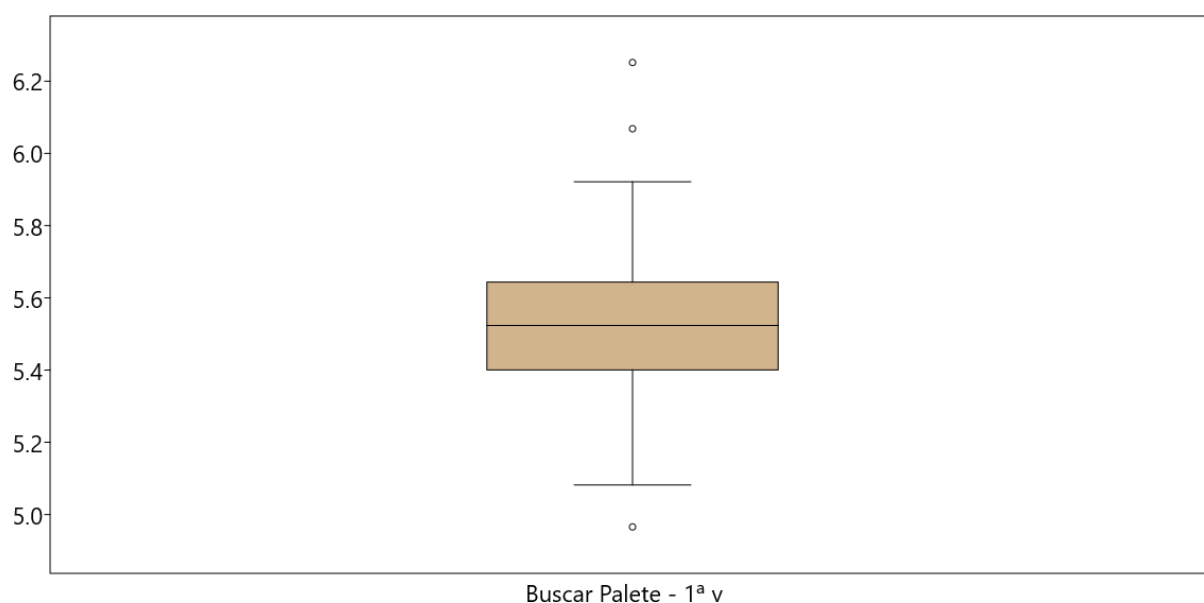
Figura 15 – Gráfico Boxplot Estacionar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 15, temos o gráfico do processo Estacionar Veículo e o outliers observado é de 8,11 minutos.

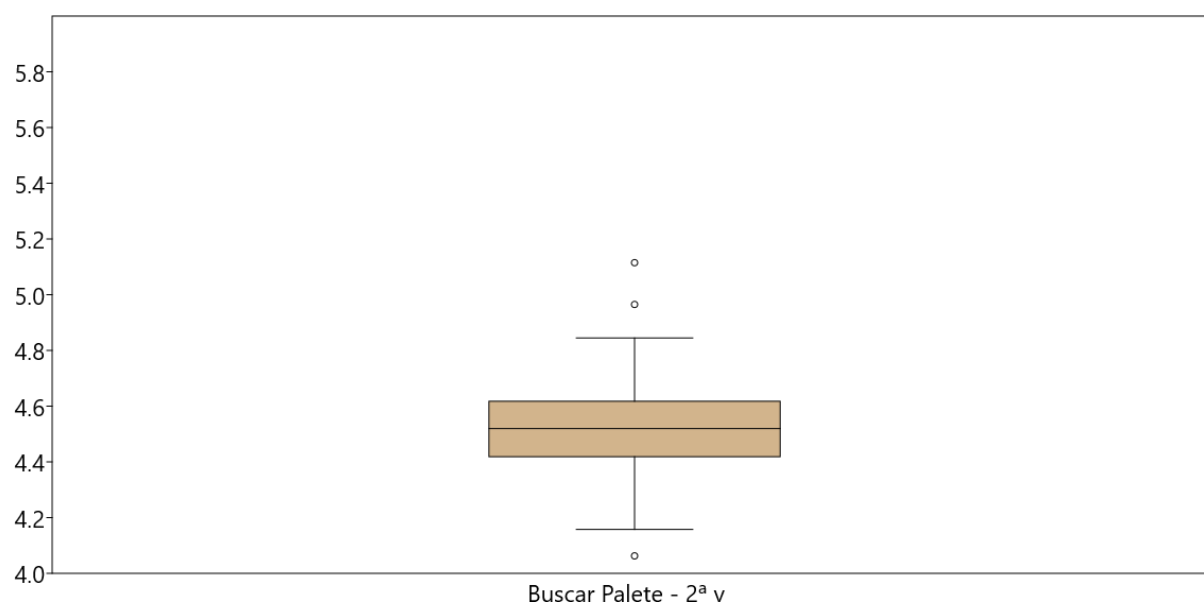
Figura 16 – Gráfico Boxplot Buscar Paletes – 1ª vez



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 16, temos o gráfico do processo Buscar Paletes - 1ª vez e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

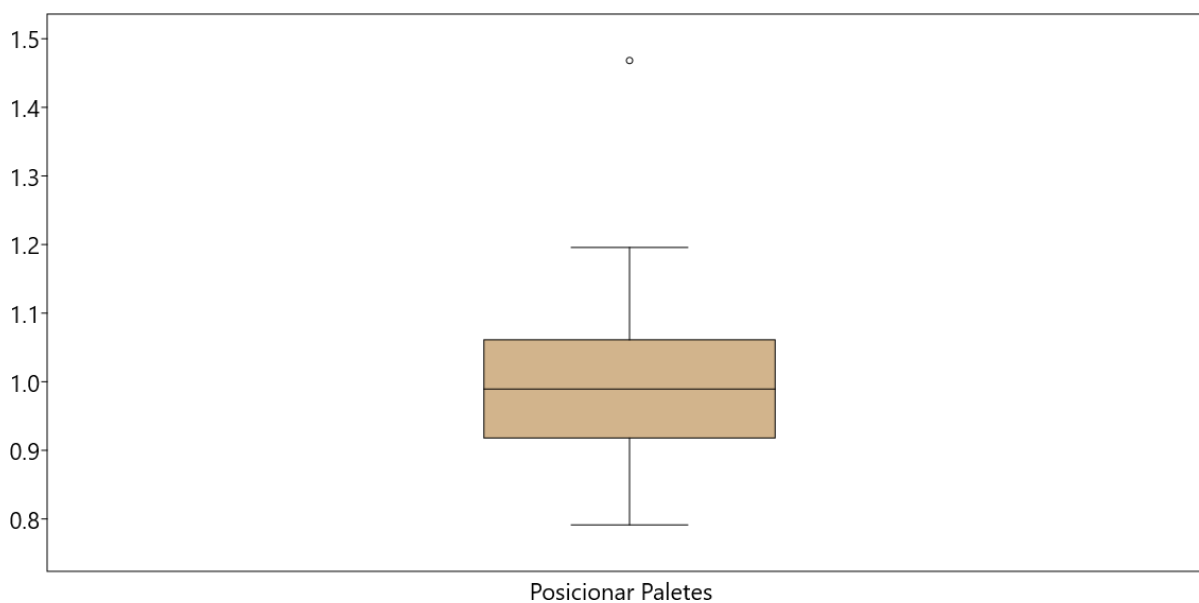
Figura 17 – Gráfico Boxplot Buscar Paletes – 2ª vez



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 17, temos o gráfico do processo Buscar Paletes - 2ª vez e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

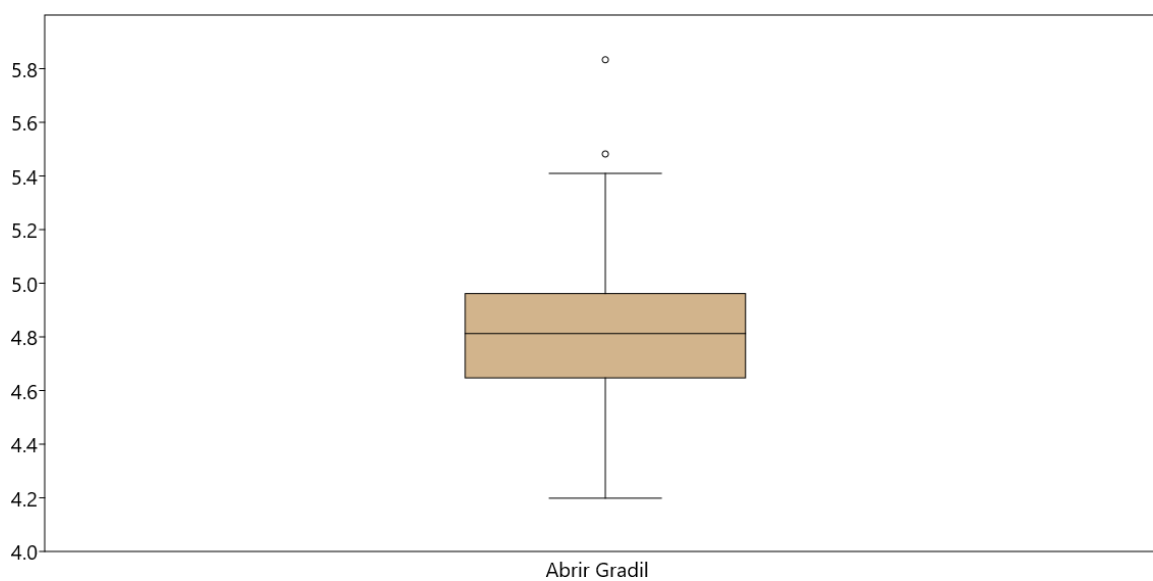
Figura 18 – Gráfico Boxplot Posicionar Paletes



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 18, temos o gráfico do processo Posicionar Paletes e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

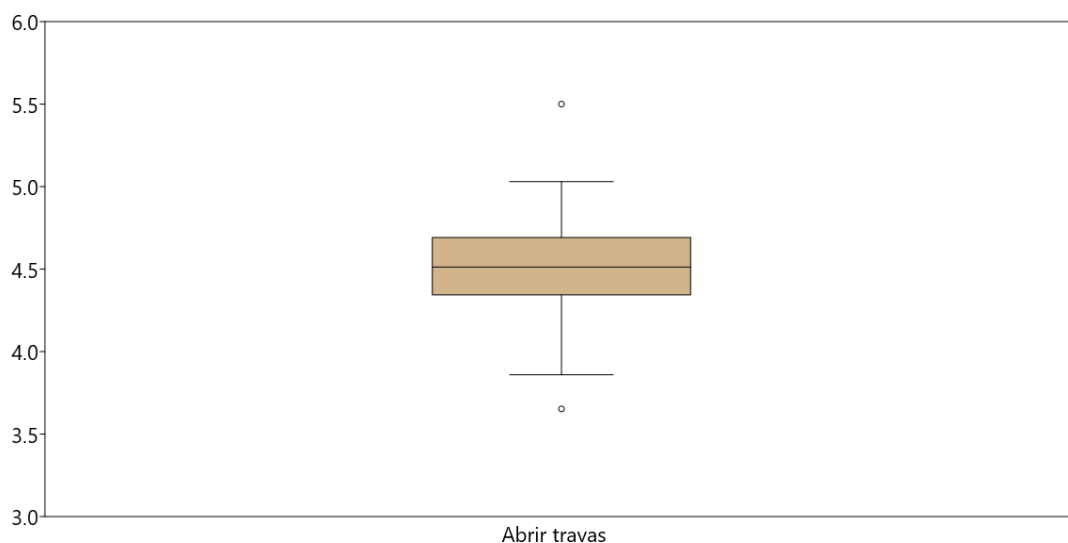
Figura 19 – Gráfico Boxplot Abrir Gradil



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 19, temos o gráfico do processo Abrir Gradil e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

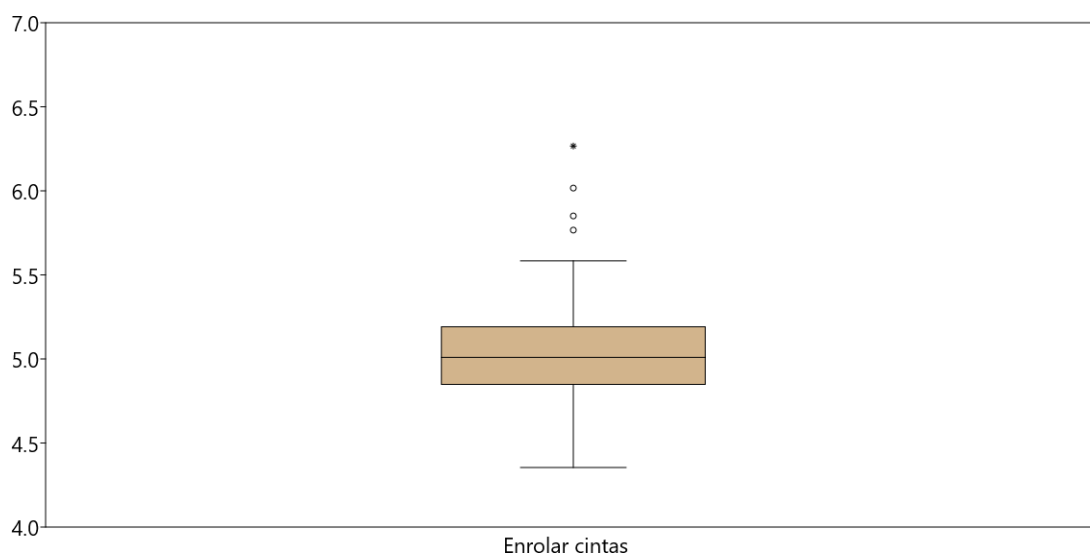
Figura 20 – Gráfico Boxplot Abrir Travas



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 20, temos o gráfico do processo Abrir Travas e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

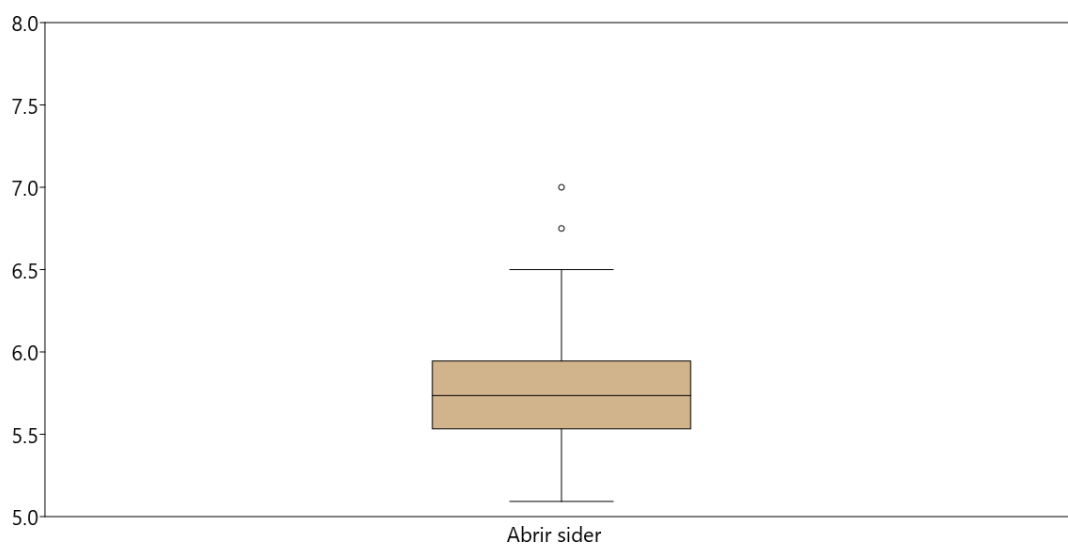
Figura 21 – Gráfico Boxplot Enrolar Cintas



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 21, temos o gráfico do processo Enrolar Cintas e o outlier observado é de 6,26 minutos.

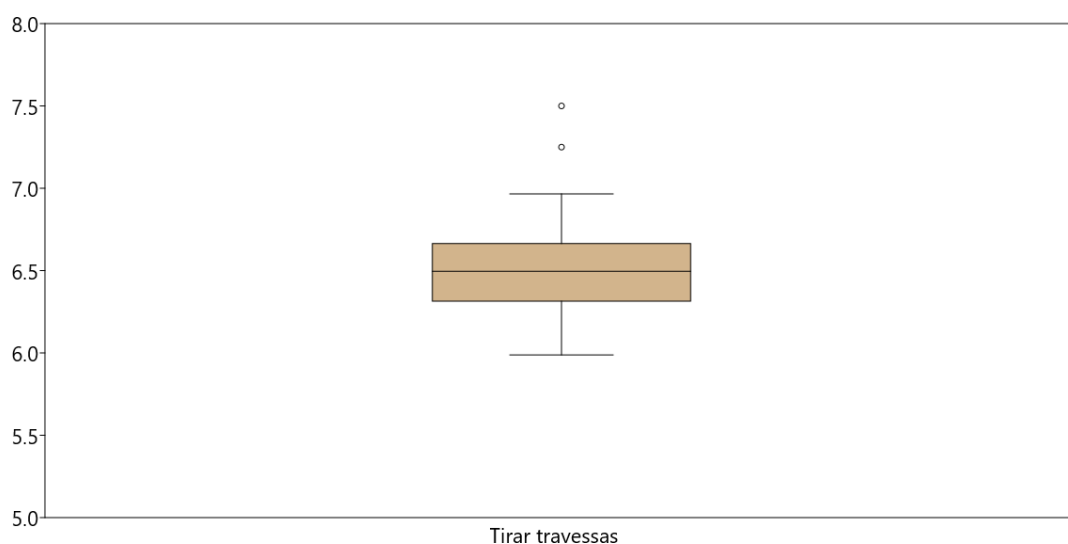
Figura 22 – Gráfico Boxplot Abrir Sider



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 22, temos o gráfico do processo Abrir Sider e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

Figura 23 – Gráfico Boxplot Tirar Travessas



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 23, temos o gráfico do processo Tirar Travessas e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

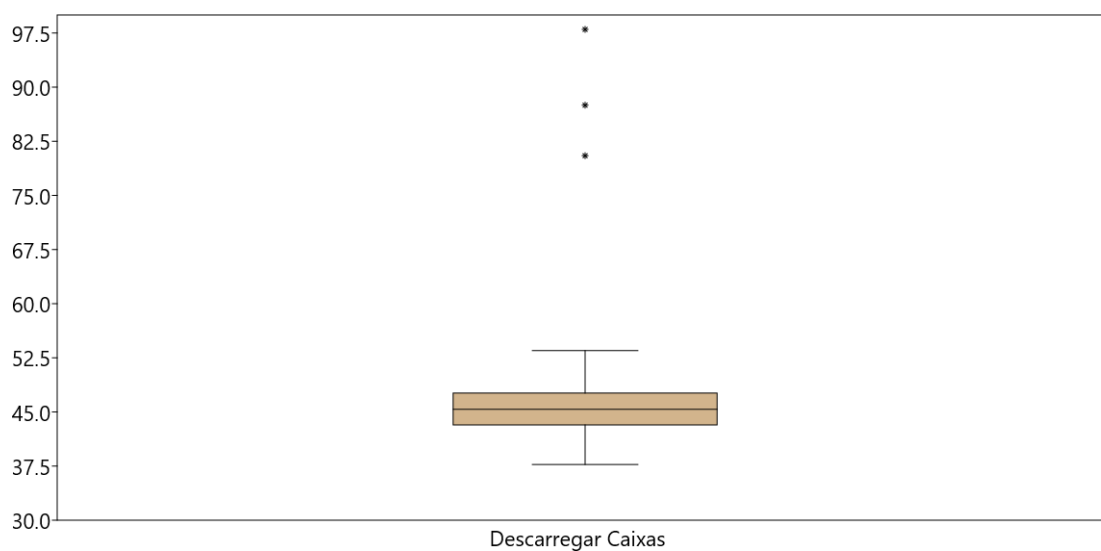
Figura 24 – Gráfico Boxplot Tirar Fuegos



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 24, temos o gráfico do processo Tirar Fuegos e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

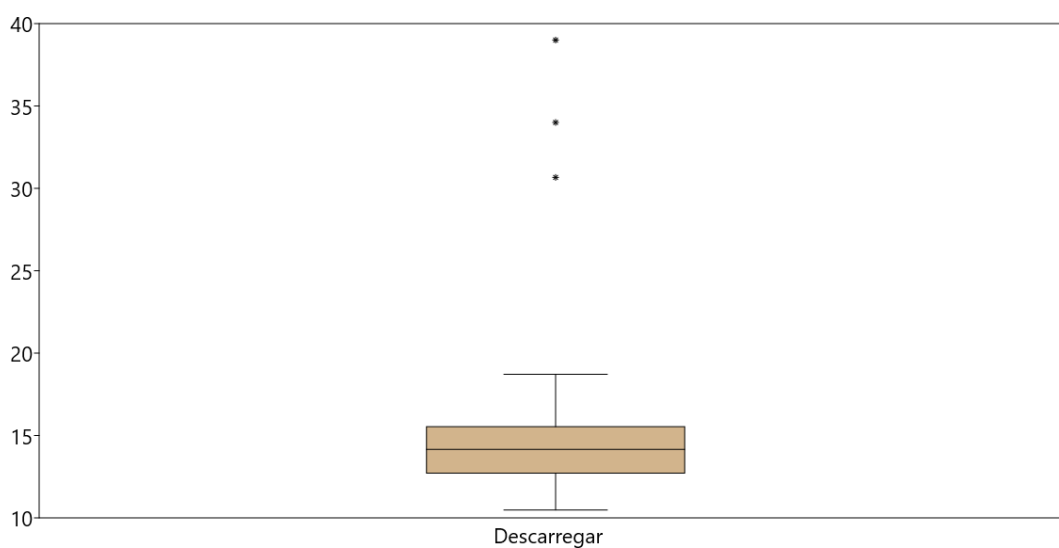
Figura 25 – Gráfico Boxplot Descarregamento com Clamp



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 25, temos o gráfico do processo Descarregar Caixas com a máquina Clamp e os outliers observados são de 80,5 , 87,5 e 98 minutos.

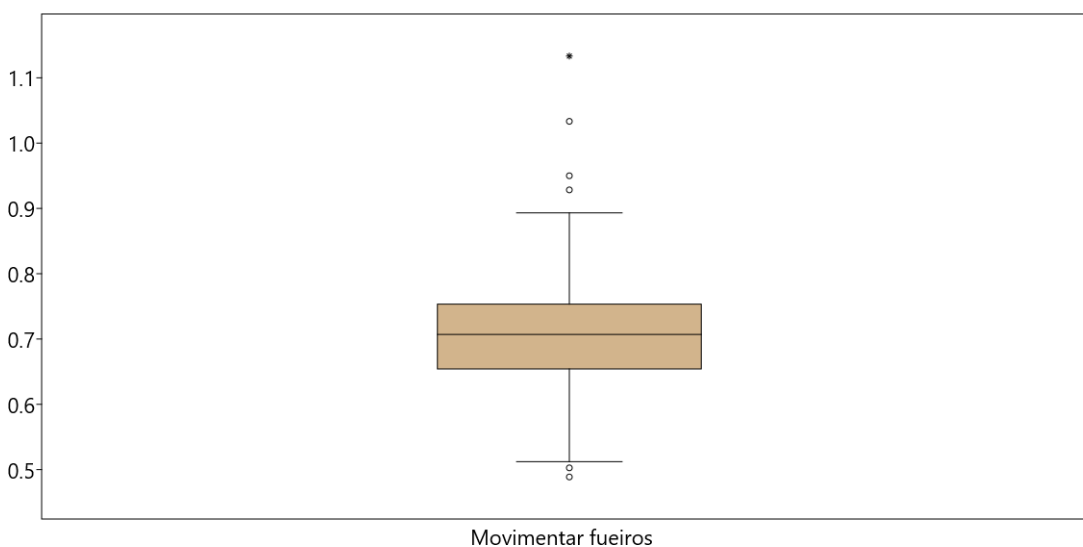
Figura 26 – Gráfico Boxplot Descarregamento com Empilhadeira



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 26, temos o gráfico do processo Descarregar Caixas com a máquina Empilhadeira e os outliers observados são de 30 , 34 e 39 minutos.

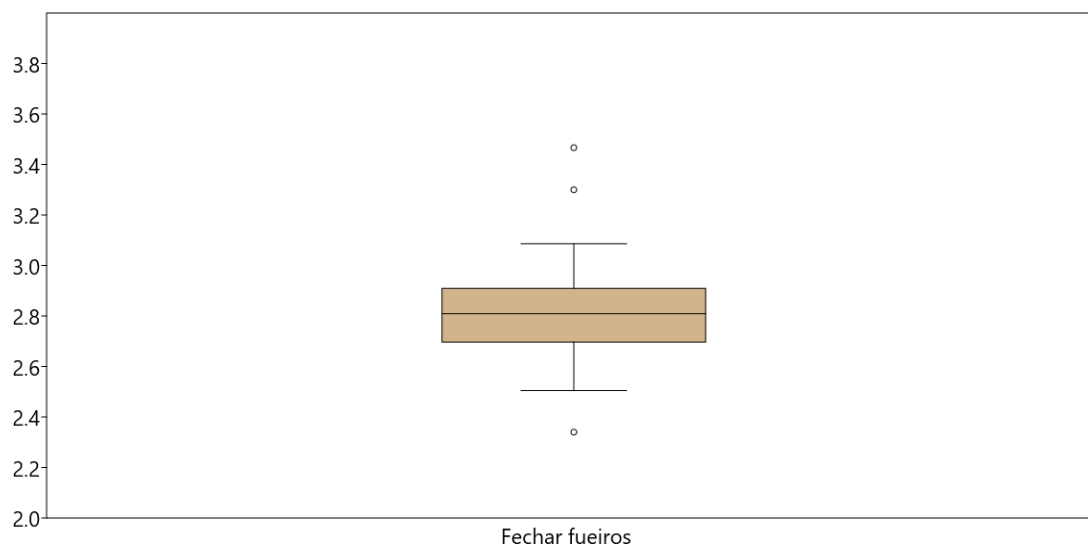
Figura 27 – Gráfico Boxplot Movimentar Fueiros



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 27, temos o gráfico do processo Movimentar Fueiros e o outlier observados é de 1,13 minutos.

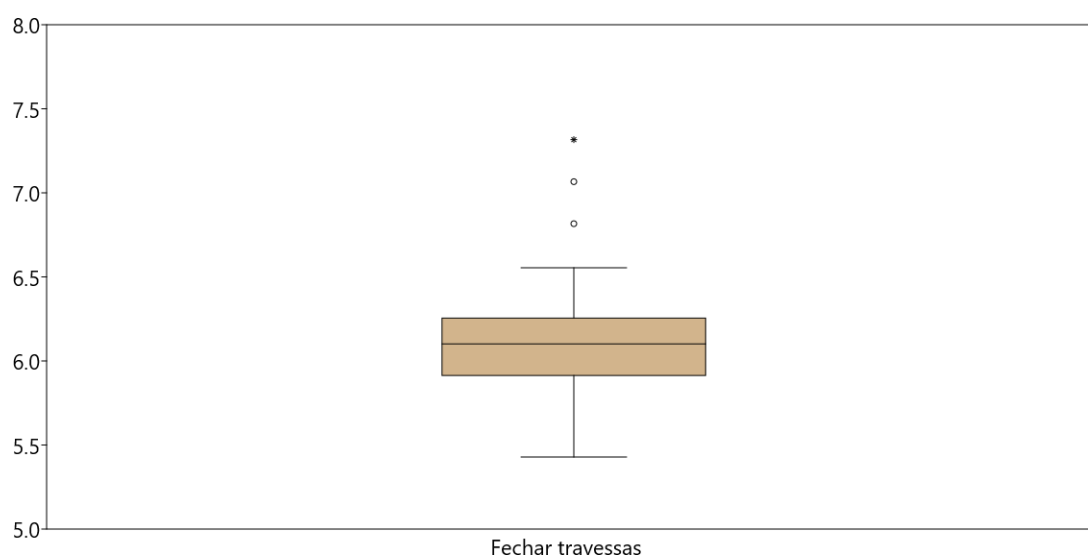
Figura 28 – Gráfico Boxplot Fechar Fueiros



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 28, temos o gráfico do processo Tirar Fueiros e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

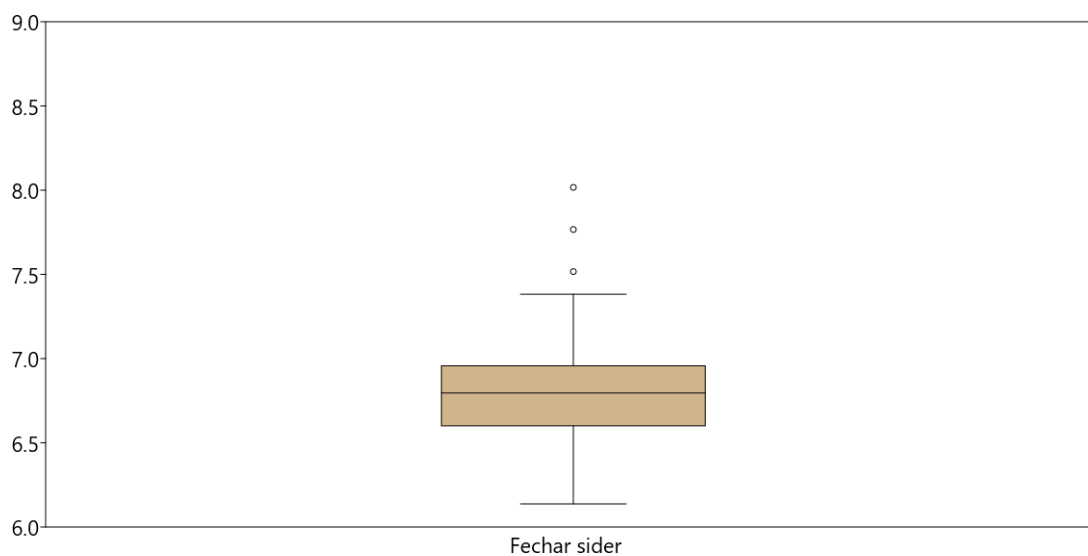
Figura 29 – Gráfico Boxplot Fechar Travessas



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 29, temos o gráfico do processo Movimentar Fueiros e o outlier observado é de 7,31 minutos.

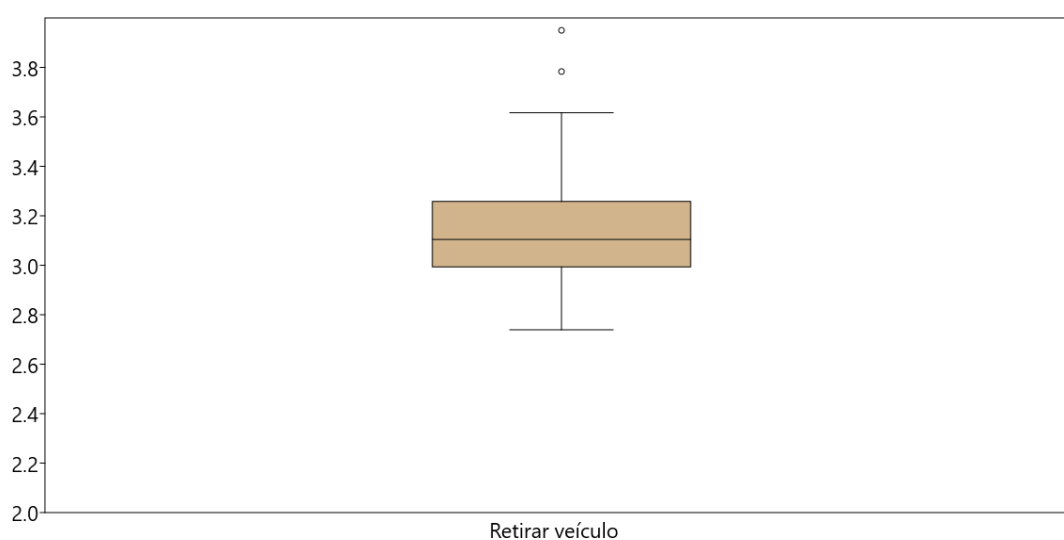
Figura 30 – Gráfico Boxplot Fechar Sider



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 30, temos o gráfico do processo Fechar Sider e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

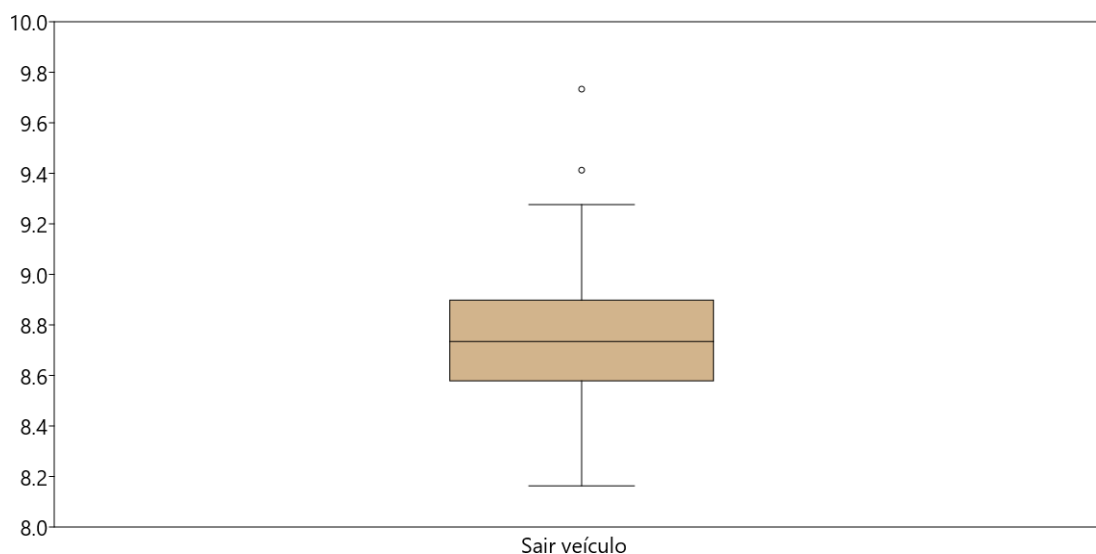
Figura 31 – Gráfico Boxplot Retirar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 31, temos o gráfico do processo Retirar Veículos e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

Figura 32 – Gráfico Boxplot Sair Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 32, temos o gráfico do processo Sair Veículos e não foram observados outliers, apenas pontos distantes.

3.3.2.2 Distribuição de Dados com Input Analyzer

Após o Tratamento dos Dados feito através do software Past, podemos iniciar o estudo do comportamento de cada processo. No software Arena, utilizamos a ferramenta Input Analyzer, onde é possível inserir os dados, já tratados e com retirada de outliers, de cada processo e obter a expressão estatística que melhor o representa.

Ao carregar dados amostrais no Input Analyzer, é possível examinar o histograma correspondente e realizar uma análise comparativa entre diversas distribuições estatísticas potenciais, como a Exponencial, Normal, Lognormal, Triangular, entre outras. A ferramenta realiza procedimentos estatísticos para ajustar essas distribuições aos dados e apresenta indicadores de aderência que auxiliam na identificação da função mais adequada para utilização no modelo de simulação.

Entre os critérios utilizados para avaliar a qualidade do ajuste, destaca-se o Erro Quadrático Médio (Mean Square Error – MSE). Esse índice é empregado para determinar qual distribuição apresenta a menor diferença entre os dados observados e os valores previstos pelo modelo ajustado. O uso do menor erro quadrático como critério de seleção permite escolher a distribuição

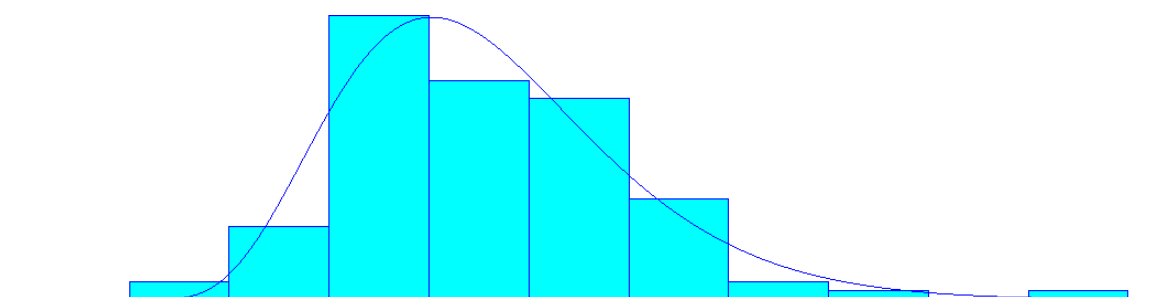
que melhor representa a variabilidade dos dados, promovendo uma simulação mais realista e confiável no Arena. O MSE é calculado a partir da média dos quadrados das diferenças entre as frequências empíricas e as estimadas.

Entendendo que, o processo a ser analisado com uso de Simulação de Eventos Discretos é o Descarregamento sem paletes, ele foi avaliado em cada parte para que fosse possível considerar variáveis envolvendo dificuldade, experiência e tempo, e para cada uma delas buscou-se a distribuição mais adequada para que a modelagem futura do processo se tornasse mais confiável e precisa.

As imagens a seguir apresentarão a melhor Distribuição estatística encontrada para cada etapa, tanto em gráfico como os detalhes de Tipo de Distribuição Escolhida, sua expressão e o erro quadrático. Todos os gráficos estão dispostos de modo que, o eixo X representa o intervalo de dados em blocos e o eixo Y indica a frequência em que cada bloco aparece.

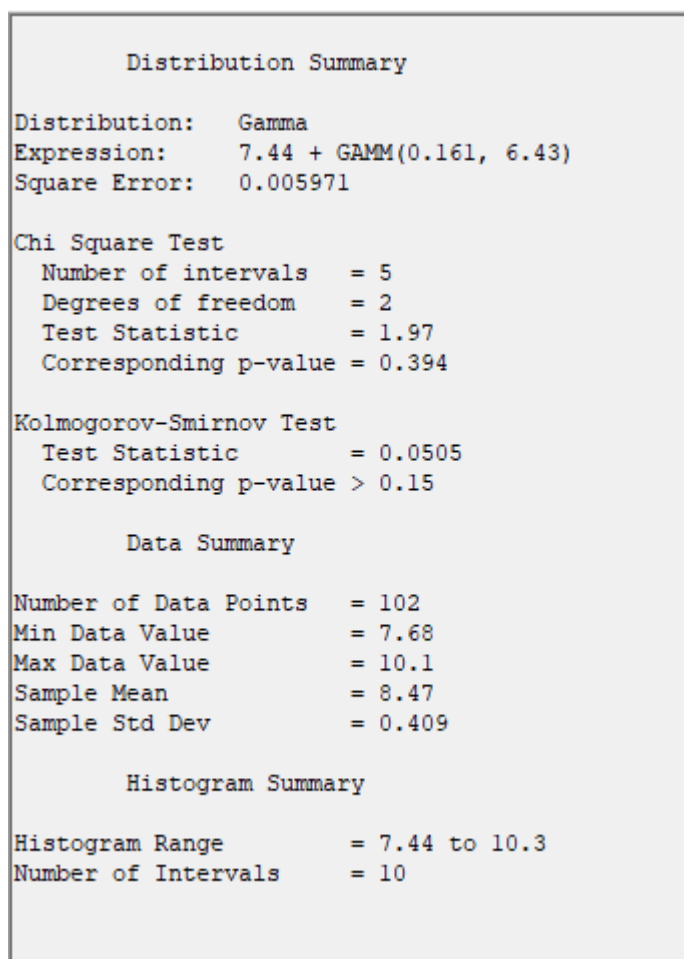
As figuras 33 e 34 apresentam a distribuição estatística de Buscar Veículo e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Gamma se adequou melhor.

Figura 33 – Distribuição Estatística - Buscar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

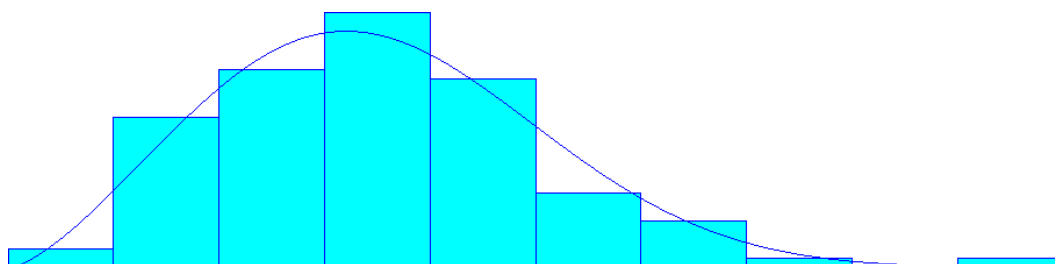
Figura 34 – Legenda de Distribuição Estatística - Buscar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

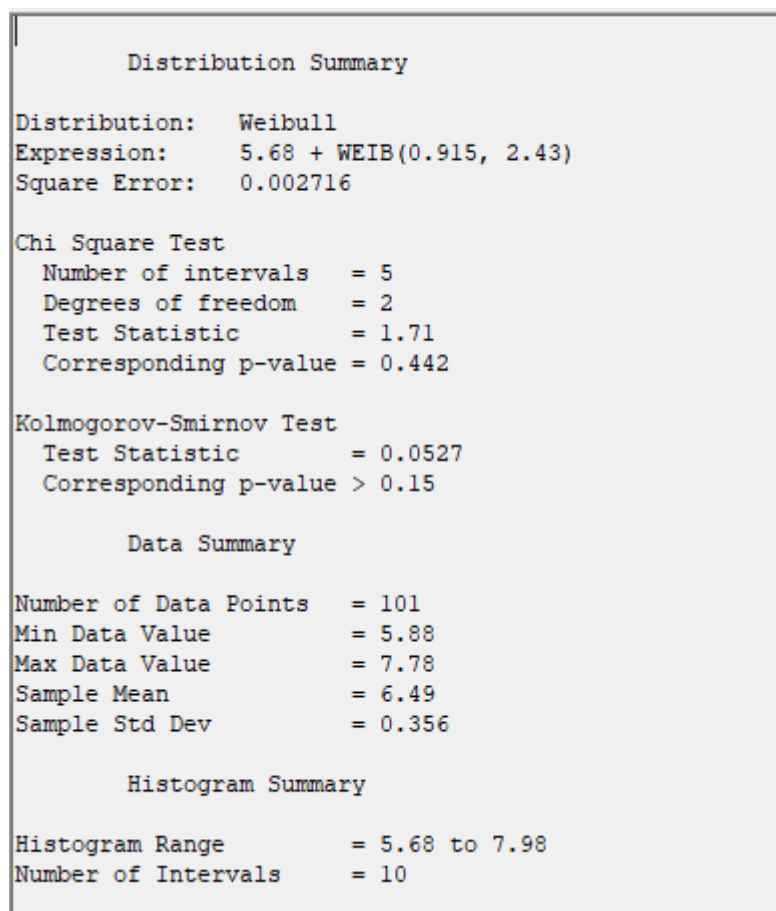
As figuras 35 e 36 apresentam a distribuição estatística de Estacionar Veículo e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Weibull se adequou melhor.

Figura 35 – Distribuição Estatística - Estacionar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

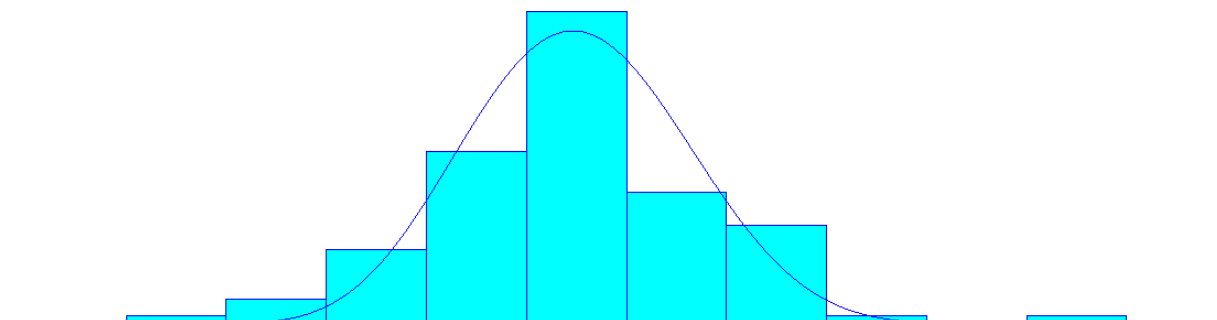
Figura 36 – Legenda de Distribuição Estatística - Estacionar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

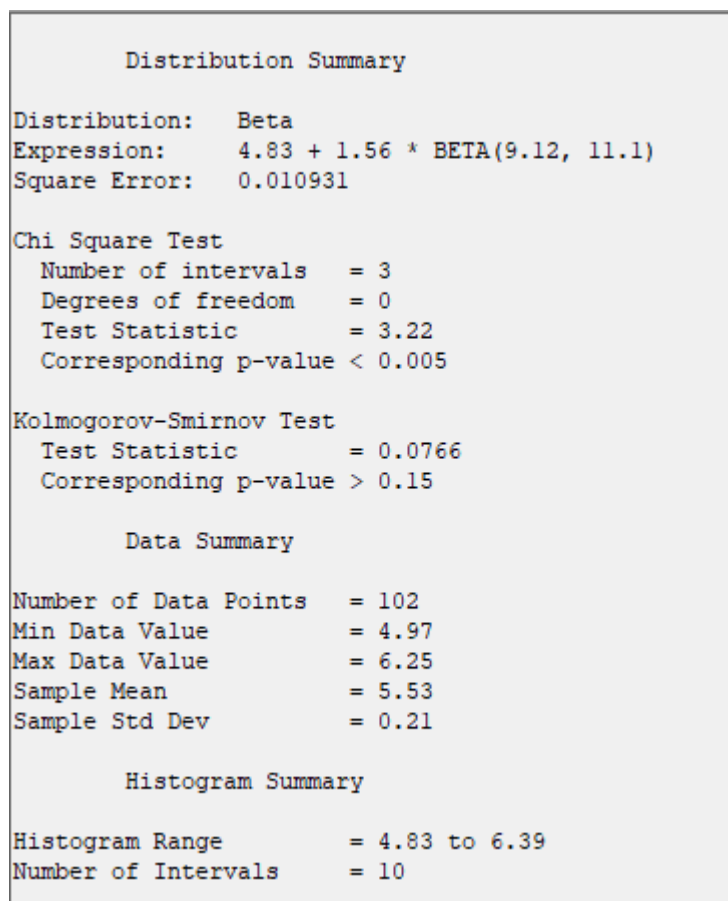
As figuras 37 e 38 apresentam a distribuição estatística de Buscar Paletes 1ª vez e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Beta se adequou melhor.

Figura 37 – Distribuição Estatística – Buscar Paletes 1ª vez



Fonte: Autoria própria (2025)

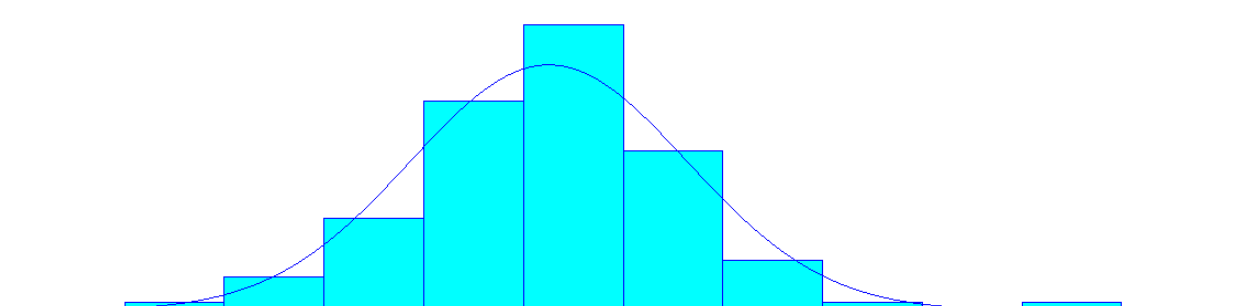
Figura 38 – Legenda de Distribuição Estatística – Buscar Paletes 1ª vez



Fonte: Autoria própria (2025)

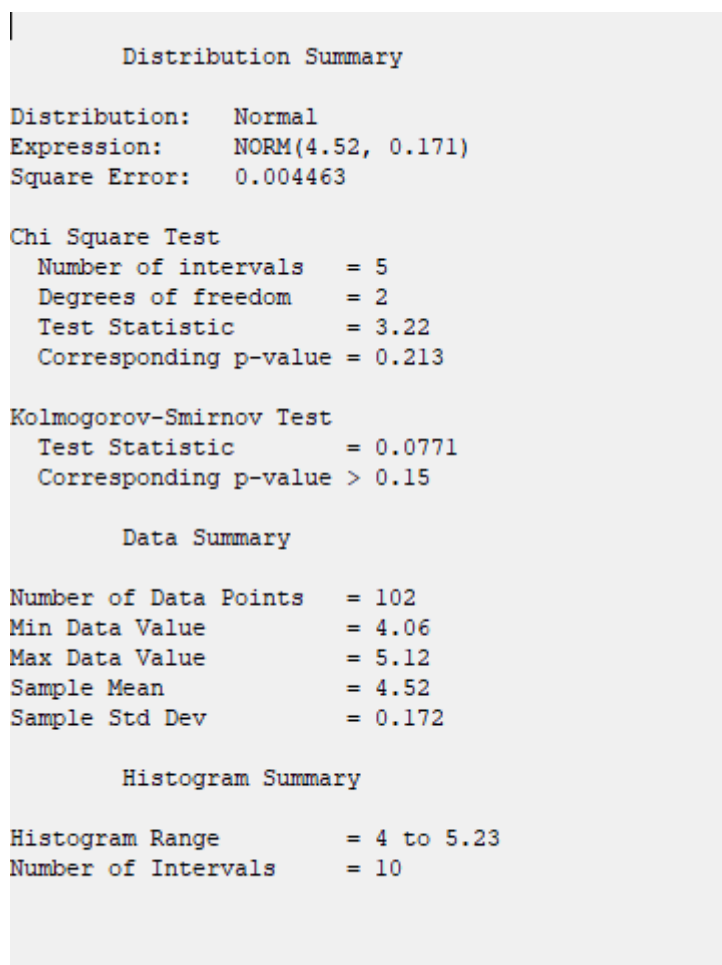
As figuras 39 e 40 apresentam a distribuição estatística de Buscar Paletes 2ª vez e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 39 – Distribuição Estatística – Buscar Paletes 2ª vez



Fonte: Autoria própria (2025)

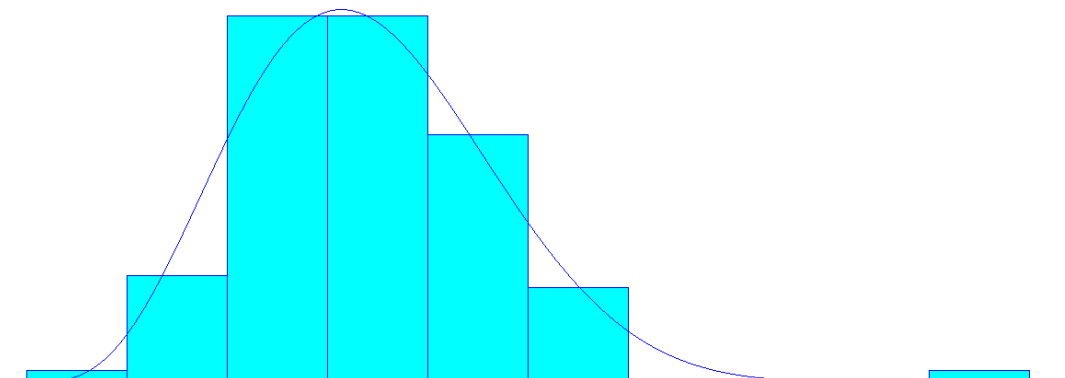
Figura 40 – Legenda de Distribuição Estatística – Buscar Paletes 2ª vez



Fonte: Autoria própria (2025)

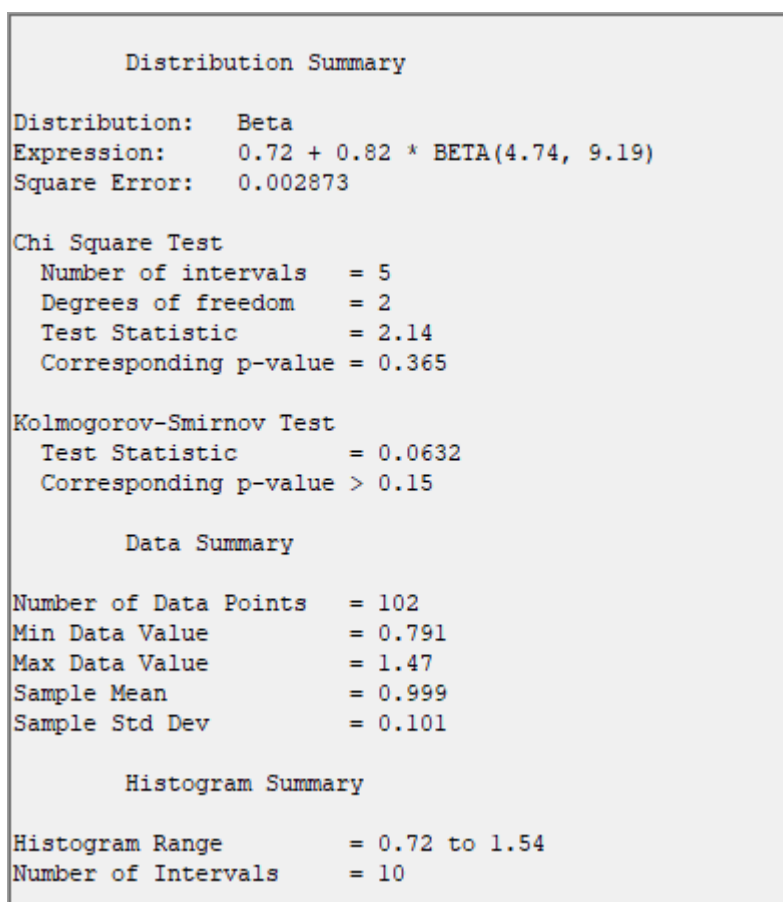
As figuras 41 e 42 apresentam a distribuição estatística de Posicionar Paletes e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Beta se adequou melhor.

Figura 41 – Distribuição Estatística – Posicionar Paletes



Fonte: Autoria própria (2025)

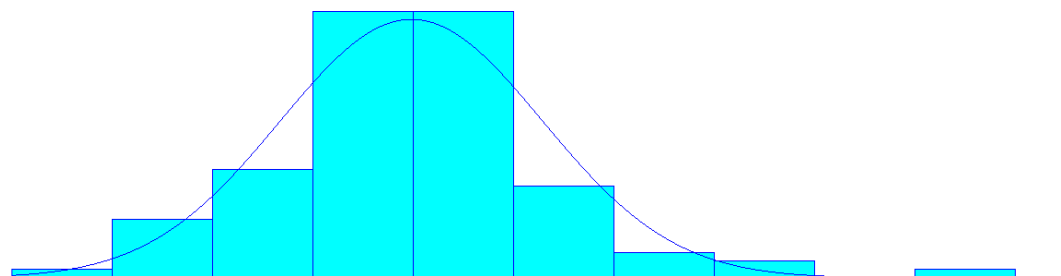
Figura 42 – Legenda de Distribuição Estatística – Posicionar Paletes



Fonte: Autoria própria (2025)

As figuras 43 e 44 apresentam a distribuição estatística de Abrir Gradil e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 43 – Distribuição Estatística – Abrir Gradil



Fonte: Autoria própria (2025)

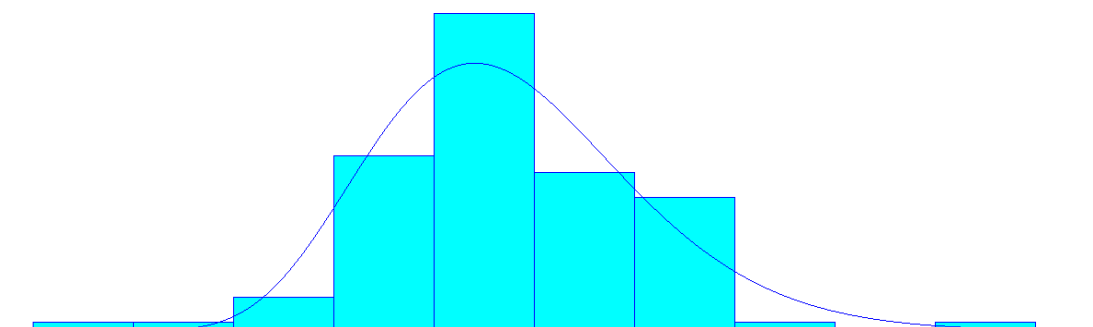
Figura 44 – Legenda de Distribuição Estatística – Abrir Gradil

Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(4.81, 0.258)
Square Error:	0.007054
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 3.93
Corresponding p-value	= 0.0481
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0738
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 102
Min Data Value	= 4.2
Max Data Value	= 5.83
Sample Mean	= 4.81
Sample Std Dev	= 0.259
Histogram Summary	
Histogram Range	= 4.03 to 6
Number of Intervals	= 10

Fonte: Autoria própria (2025)

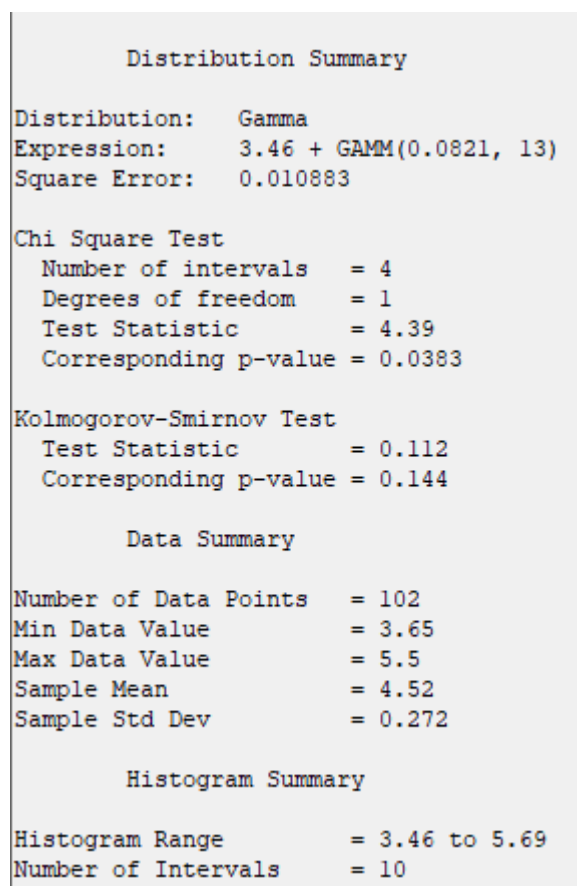
As figuras 45 e 46 apresentam a distribuição estatística de Abrir Travas e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Gamma se adequou melhor.

Figura 45 – Distribuição Estatística – Abrir Travas



Fonte: Autoria própria (2025)

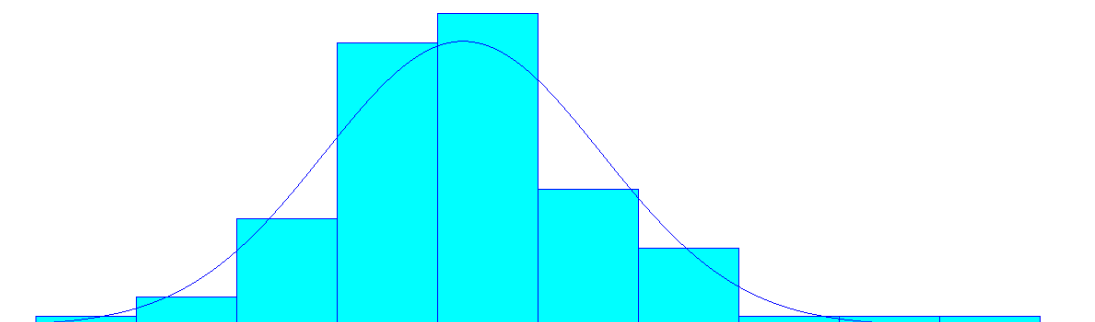
Figura 46 – Legenda de Distribuição Estatística – Abrir Travas



Fonte: Autoria própria (2025)

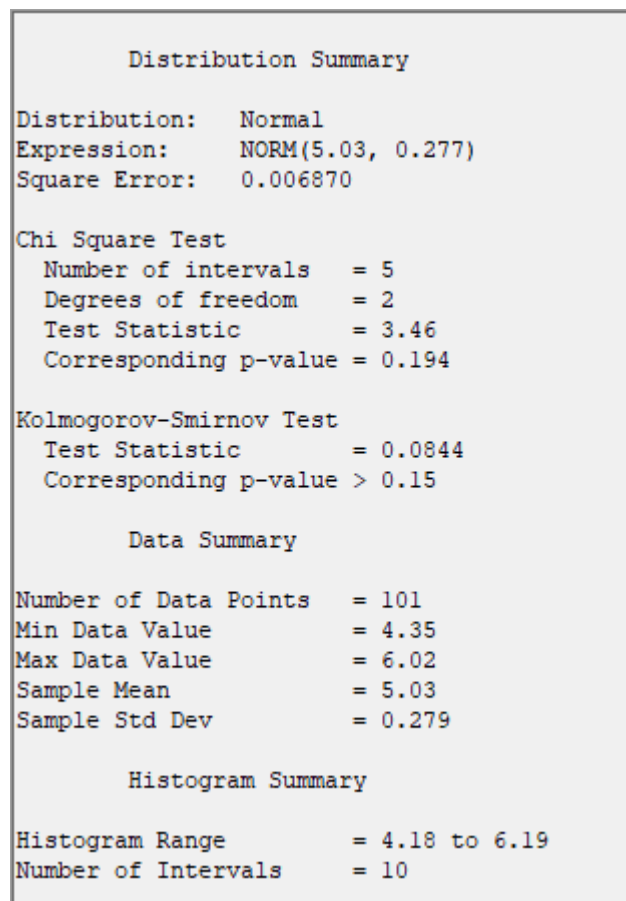
As figuras 47 e 48 apresentam a distribuição estatística de Enrolar Cintas e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 47 – Distribuição Estatística – Enrolar cintas



Fonte: Autoria própria (2025)

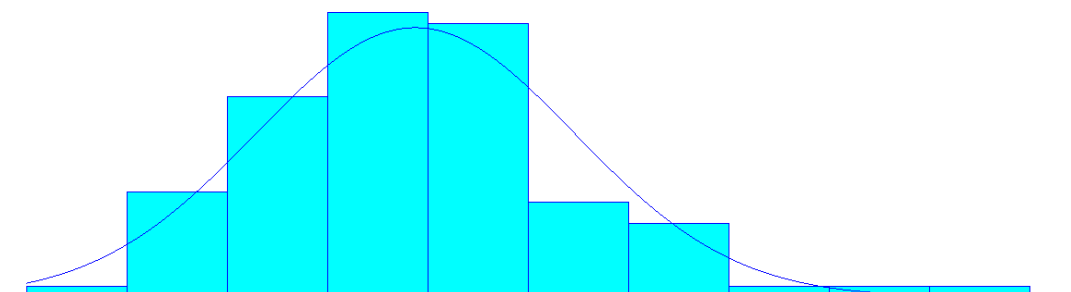
Figura 48 – Legenda de Distribuição Estatística – Enrolar Cintas



Fonte: Autoria própria (2025)

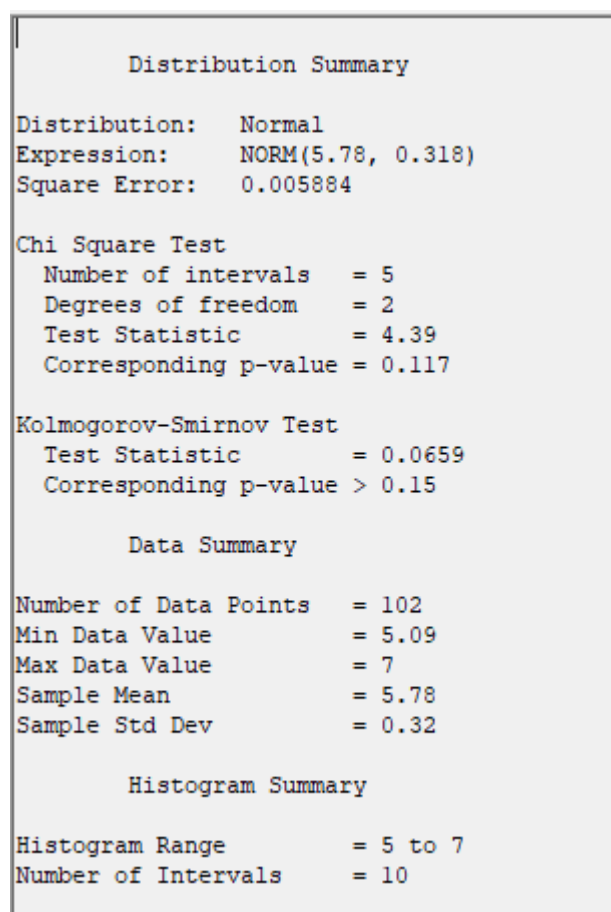
As figuras 49 e 50 apresentam a distribuição estatística de Abrir Sider e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 49 – Distribuição Estatística – Abrir sider



Fonte: Autoria própria (2025)

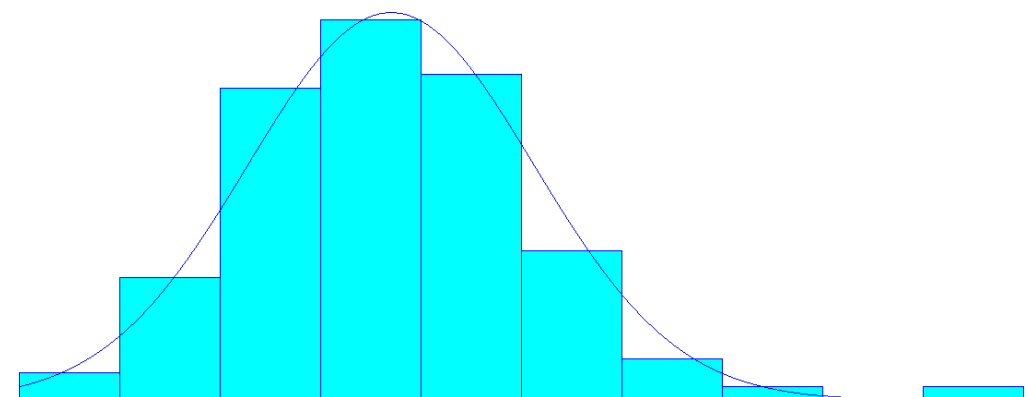
Figura 50 – Legenda de Distribuição Estatística – Abrir Sider



Fonte: Autoria própria (2025)

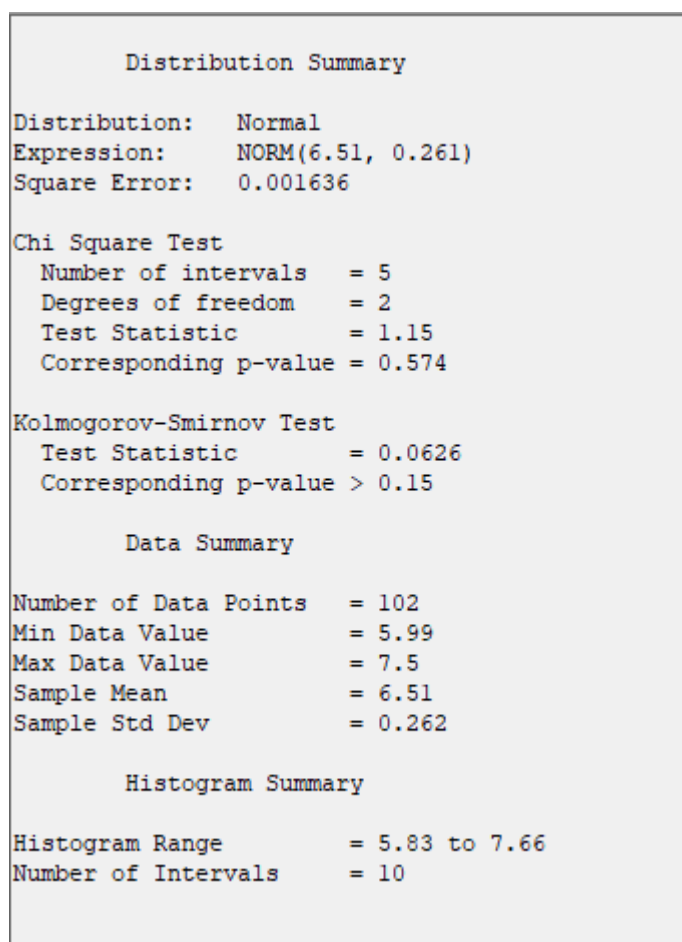
As figuras 51 e 52 apresentam a distribuição estatística de Tirar Travessas e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 51 – Distribuição Estatística – Tirar Travessas



Fonte: Autoria própria (2025)

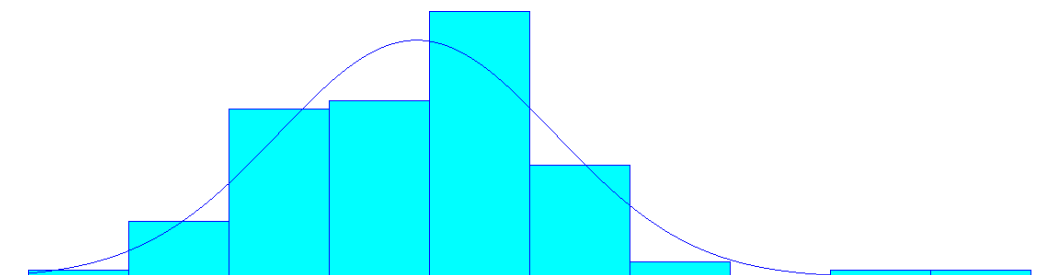
Figura 52 – Legenda de Distribuição Estatística – Tirar Travessas



Fonte: Autoria própria (2025)

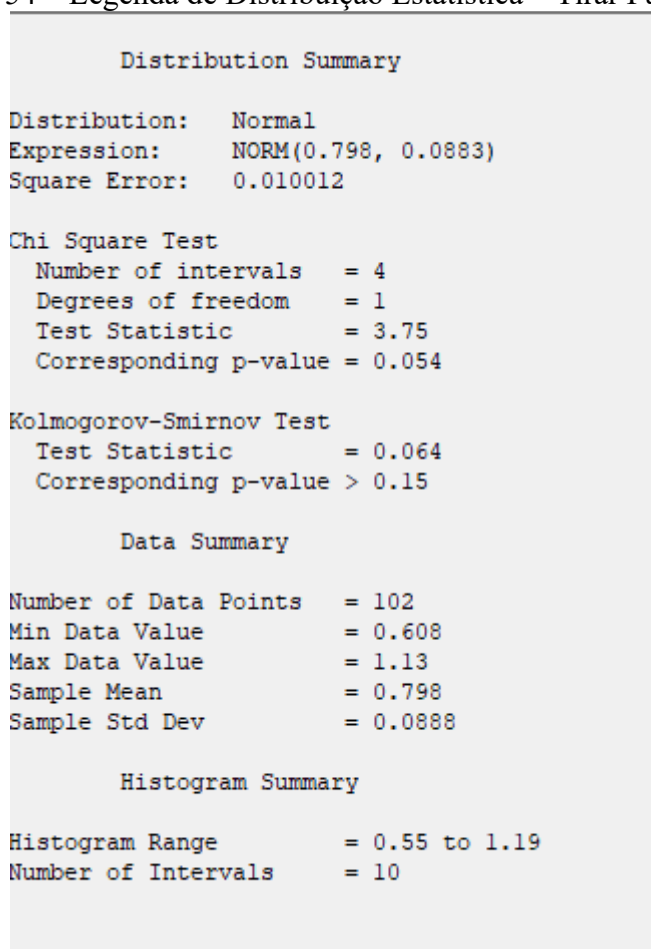
As figuras 53 e 54 apresentam a distribuição estatística de Tirar Fuegos e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 53 – Distribuição Estatística – Tirar Fuegos



Fonte: Autoria própria (2025)

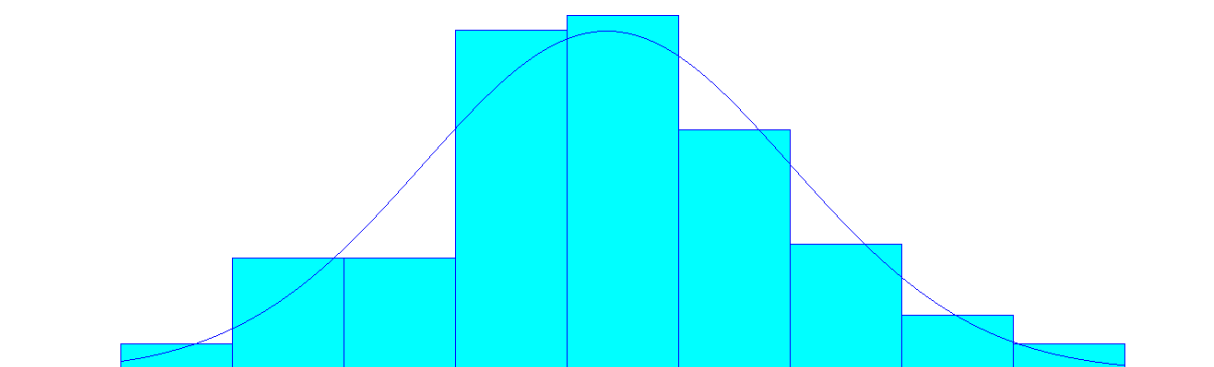
Figura 54 – Legenda de Distribuição Estatística – Tirar Fuegos



Fonte: Autoria própria (2025)

As figuras 55 e 56 apresentam a distribuição estatística de Descarregar Caixas com Clamp e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 55 – Distribuição Estatística – Descarregar Caixas com Clamp



Fonte: Autoria própria (2025)

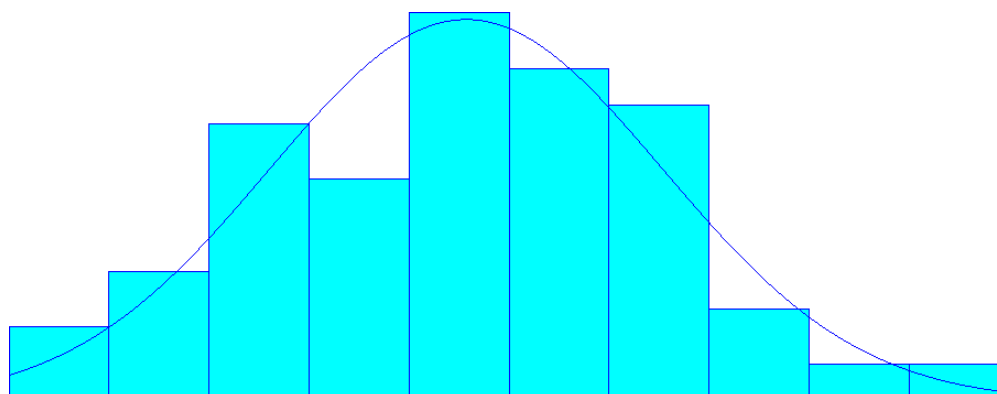
Figura 56 – Legenda de Distribuição Estatística – Descarregar Caixas com Clamp

Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(45.2, 3.12)
Square Error:	0.004864
Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 1.16
Corresponding p-value	= 0.569
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.043
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 99
Min Data Value	= 37.7
Max Data Value	= 53.5
Sample Mean	= 45.2
Sample Std Dev	= 3.13
Histogram Summary	
Histogram Range	= 37 to 54
Number of Intervals	= 9

Fonte: Autoria própria (2025)

As figuras 57 e 58 apresentam a distribuição estatística de Descarregar Caixas com Empilhadeira e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 57 – Distribuição Estatística – Descarregar Caixas com Empilhadeira



Fonte: Autoria própria (2025)

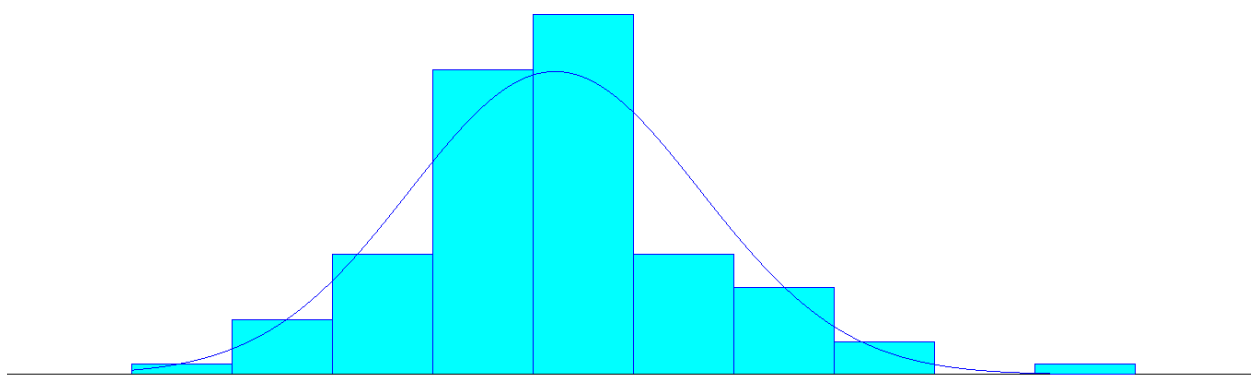
Figura 58 – Legenda de Distribuição Estatística – Descarregar Caixas com Empilhadeira

Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(0, 0)
Square Error:	0.005881
Chi Square Test	
Number of intervals	= 6
Degrees of freedom	= 3
Test Statistic	= 4.32
Corresponding p-value	= 0.235
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0483
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 102
Min Data Value	= 10.5
Max Data Value	= 18.7
Sample Mean	= 14.1
Sample Std Dev	= 1.78
Histogram Summary	
Histogram Range	= 10 to 19
Number of Intervals	= 10

Fonte: Autoria própria (2025)

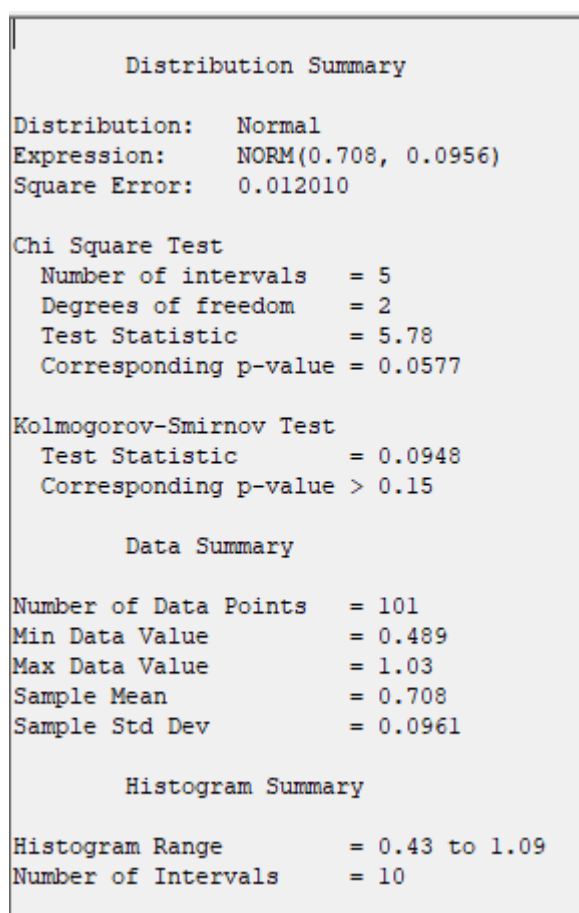
As figuras 59 e 60 apresentam a distribuição estatística de Movimentar Fueiros e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 59 – Distribuição Estatística – Movimentar Fueiros



Fonte: Autoria própria (2025)

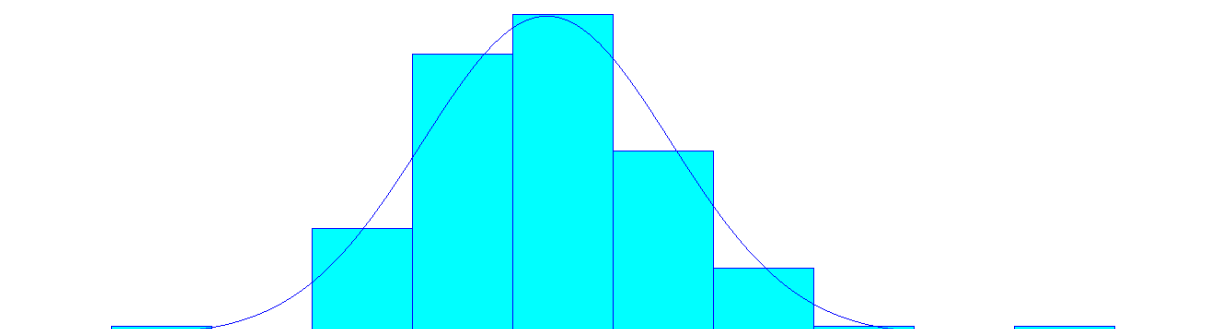
Figura 60 – Legenda de Distribuição Estatística – Movimentar Fuegos



Fonte: Autoria própria (2025)

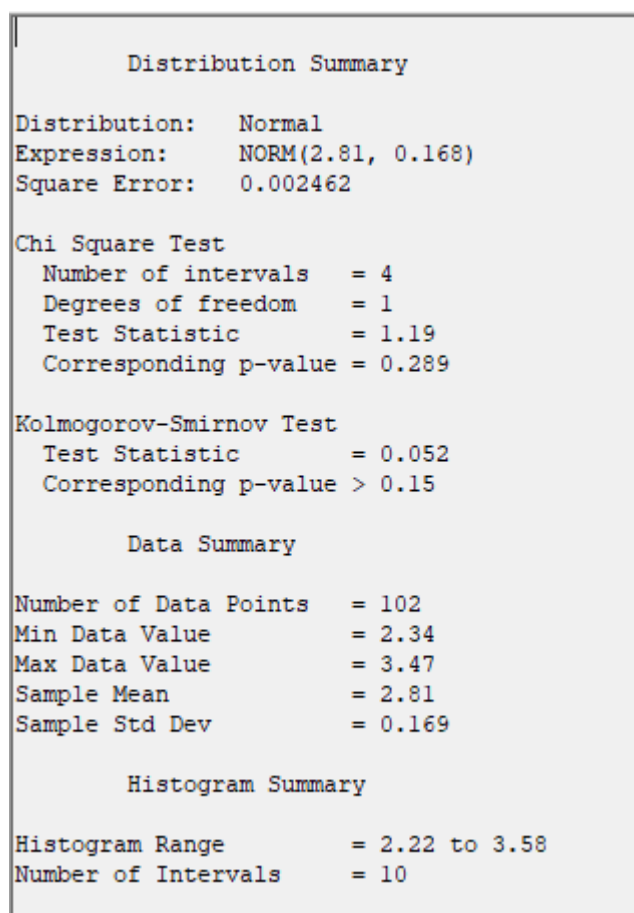
As figuras 61 e 62 apresentam a distribuição estatística de Fechar Fuegos e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Normal se adequou melhor.

Figura 61 – Distribuição Estatística – Fechar Fuegos



Fonte: Autoria própria (2025)

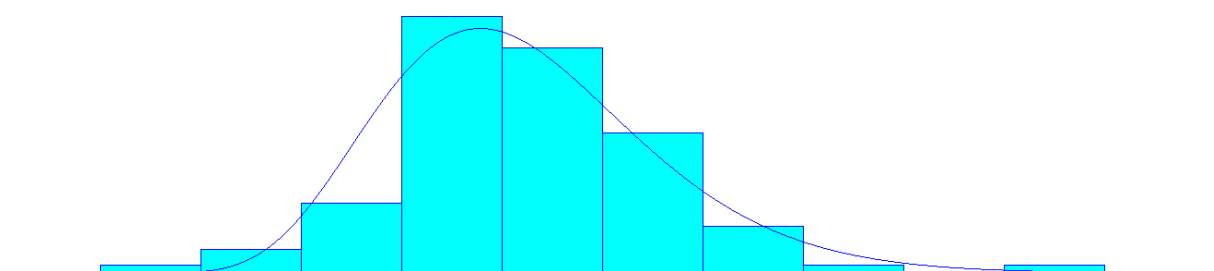
Figura 62 – Legenda de Distribuição Estatística – Fechar Fueiros



Fonte: Autoria própria (2025)

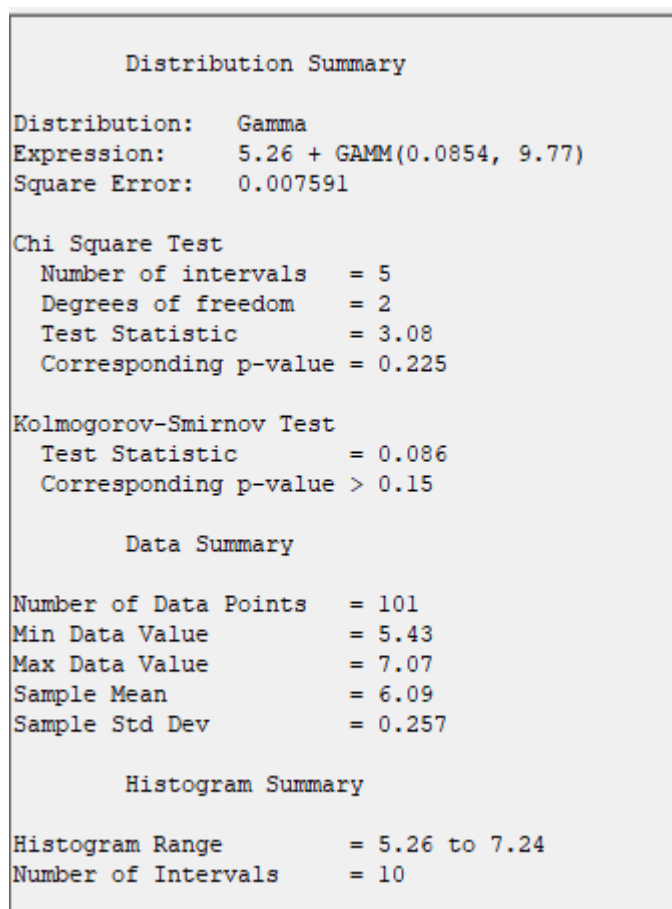
As figuras 63 e 64 apresentam a distribuição estatística de Fechar Travessas e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Gamma se adequou melhor.

Figura 63 – Distribuição Estatística – Fechar Travessas



Fonte: Autoria própria (2025)

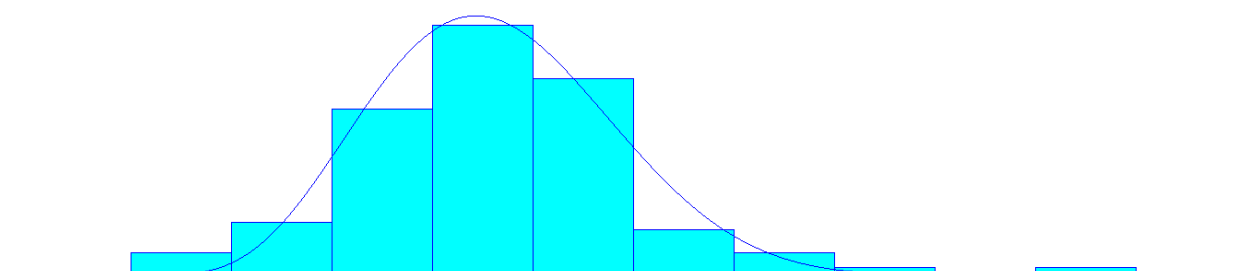
Figura 64 – Legenda de Distribuição Estatística – Fechar Travessas



Fonte: Autoria própria (2025)

As figuras 65 e 66 apresentam a distribuição estatística de Fechar Sider e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Beta se adequou melhor.

Figura 65 – Distribuição Estatística – Fechar Sider



Fonte: Autoria própria (2025)

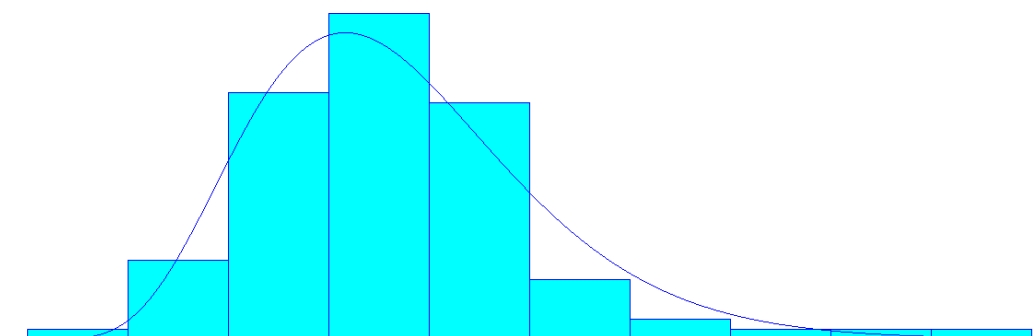
Figura 66 – Legenda de Distribuição Estatística – Fechar Sider

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$6 + 2.21 * \text{BETA}(5.84, 10.3)$
Square Error:	0.003818
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 2.36
Corresponding p-value	= 0.138
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0721
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 102
Min Data Value	= 6.14
Max Data Value	= 8.02
Sample Mean	= 6.8
Sample Std Dev	= 0.305
Histogram Summary	
Histogram Range	= 6 to 8.21
Number of Intervals	= 10

Fonte: Autoria própria (2025)

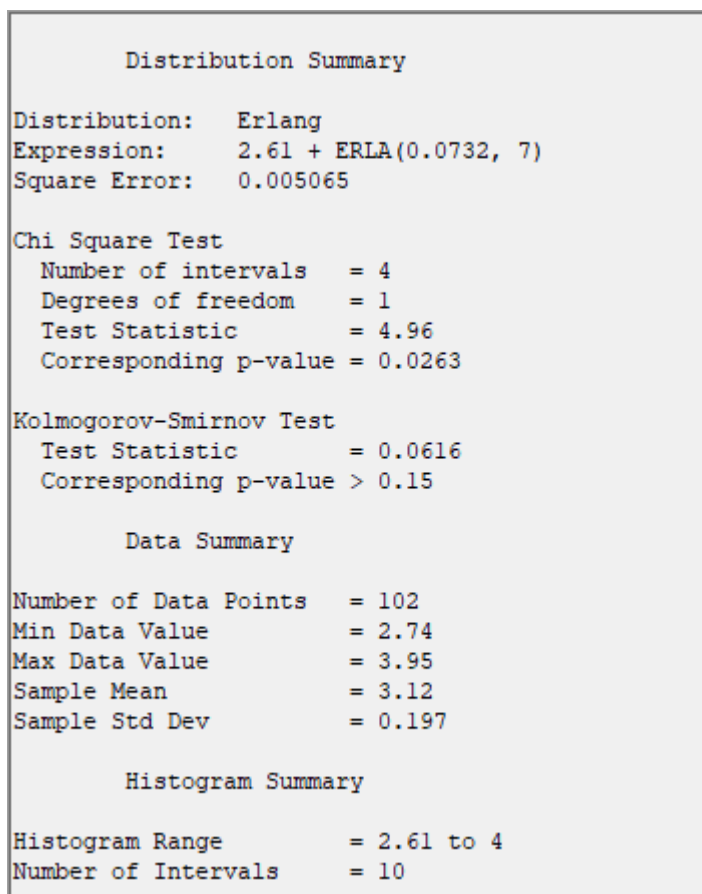
As figuras 67 e 68 apresentam a distribuição estatística de Retirar Veículo e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Erlang se adequou melhor.

Figura 67 – Distribuição Estatística – Retirar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

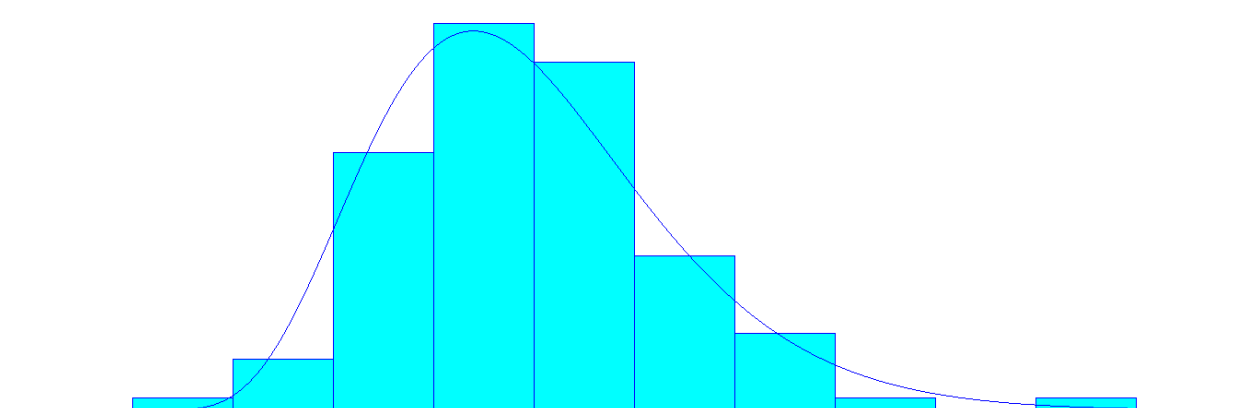
Figura 68 – Legenda de Distribuição Estatística – Retirar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

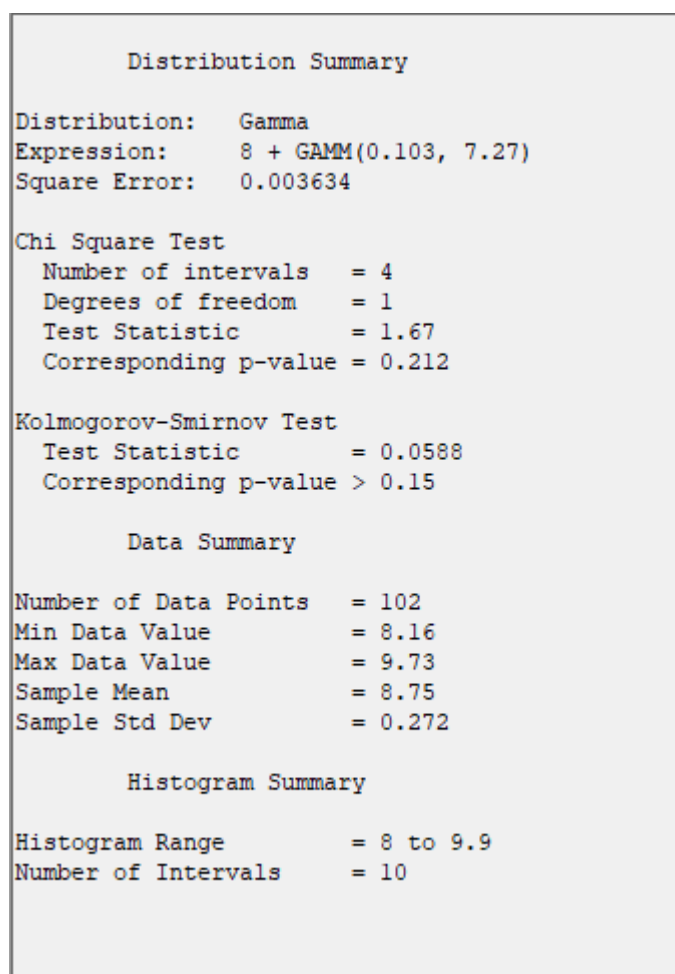
As figuras 69 e 70 apresentam a distribuição estatística de Entregar Veículo e a legenda, respectivamente. Para esta etapa, a distribuição estatística Gamma se adequou melhor.

Figura 69 – Distribuição Estatística – Entregar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 70 – Legenda de Distribuição Estatística – Entregar Veículo



Fonte: Autoria própria (2025)

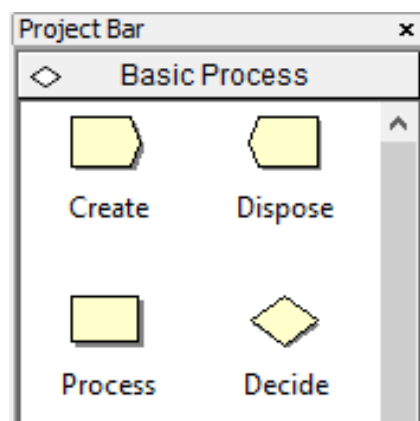
As distribuições encontradas para cada etapa serão utilizadas para caracterizar os blocos “Process” na modelagem através do software Arena e serão mostradas no tópico seguinte.

3.3.2.3 Modelagem e Simulação com software Arena

A modelagem computacional no Arena é estruturada por meio de blocos funcionais que representam, de forma gráfica e modular, as atividades, decisões e eventos que compõem o sistema real. Os blocos básicos de processo — Create, Process, Decide e Dispose — constituem a espinha dorsal dessa construção, permitindo que o modelo conceitual seja traduzido em uma lógica operacional clara.

Para realizar a simulação no software Arena, usou-se a versão 14.70 do software e alguns dos blocos do “Basic Process” que foram suficientes para representar o sistema. Na imagem abaixo, estão apresentados os processos utilizados.

Figura 71 – Blocos disponíveis utilizados no software Arena



Fonte: Autoria própria (2025)

- Bloco CREATE: Indica o ponto de entrada do sistema em que as entidades iniciam o processo como pedidos, peças ou veículos, como é o caso desse estudo.
- Bloco DISPOSE: Indica o ponto de saída do sistema em que as entidades completam o processo como a saída do veículo na Portaria no presente estudo.
- Bloco PROCESS: Onde as entidades realizam atividades, com recursos ou não. No descarregamento analisado existem muitos processos, como estacionar carreta ou descarregar caixas.
- Bloco DECIDE: Blocos para tomadas de decisão, geralmente baseados em “verdadeiro” ou “falso” em relação à uma afirmativa, e dois caminhos possíveis a partir disso. Como por exemplo, se ainda há caixas dentro do veículo da operação analisada.

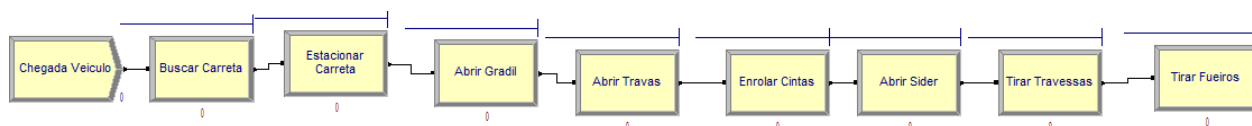
Ao serem interligados, esses blocos definem o fluxo das entidades pelo sistema, capturando o comportamento dinâmico e os recursos envolvidos. Assim, a estrutura visual criada no Arena é convertida internamente em um código SIMAN, que conduz a execução da simulação. Essa abordagem integrada assegura que o modelo computacional preserve a lógica do modelo conceitual, proporcionando uma análise precisa, rastreável e orientada à tomada de decisão.

Na simulação, os tempos de execução de todas as atividades foram expressos em minutos. Cada bloco do tipo Process foi parametrizado conforme as distribuições estatísticas geradas pelo Input Analyzer, assegurando que as etapas do modelo representassem com fidelidade os comportamentos observados nos dados reais.

Considerando o objetivo de comparação entre a operação do processo de descarregamento com Empilhadeira para com Clamp, foram simulados os processos AS IS e TO BE para que se pudesse fazer a devida comparação. Alguns dados importantes devem ser considerados: foram consideradas 15 chegadas de veículos por dia na empresa analisada, considerando todas as matérias-primas recebidas e não apenas as caixas de tabaco, já que por fim, toda a logística de recebimento pode ser impactada.

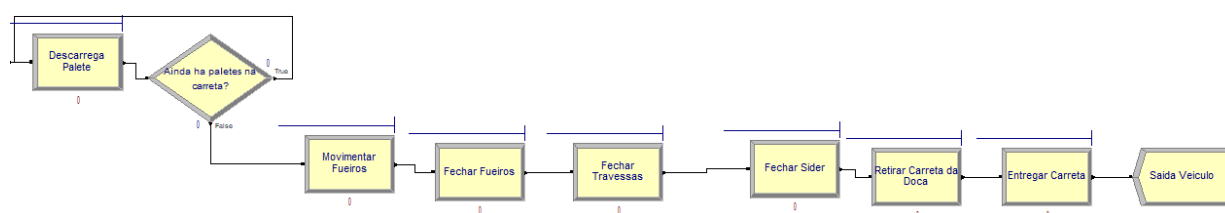
Os processos AS IS e TO BE estão dividido em partes e devem ser lidas no sentido esquerda para direita para seguir o fluxo desenhado. Abaixo seguem imagens dos modelos:

Figura 72 – Modelo de Simulação no Arena de AS IS – 1ª parte



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 73 – Modelo de Simulação no Arena de AS IS – 2ª parte

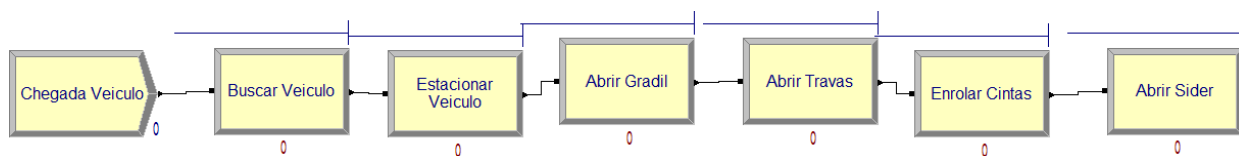


Fonte: Autoria própria (2025)

Considerações sobre os Recursos do modelo AS IS:

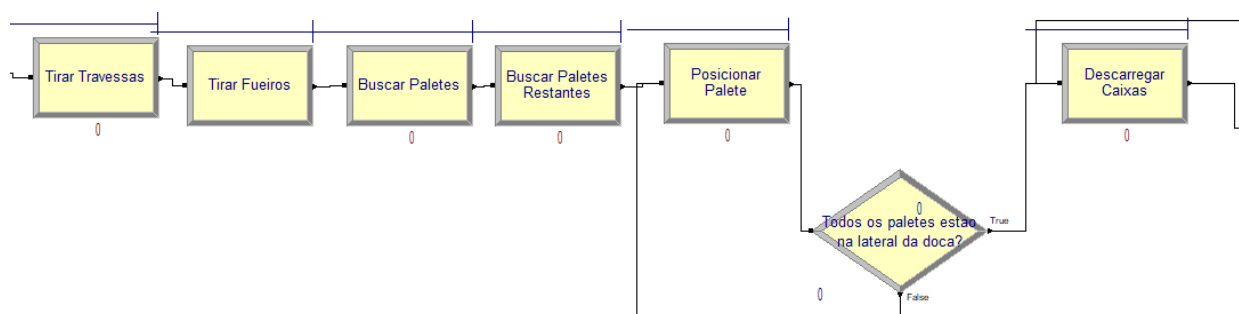
- 2 colaboradores (1 manobrista para buscar e estacionar o veículo e fazer a abertura da carreta e 1 operador envolvendo as atividades de descarregamento dos paletes) assim como acontece atualmente;
- 1 empilhadeira para retirada dos paletes com as caixas;

Figura 74 – Modelo de Simulação no Arena de TO BE – 1ª parte



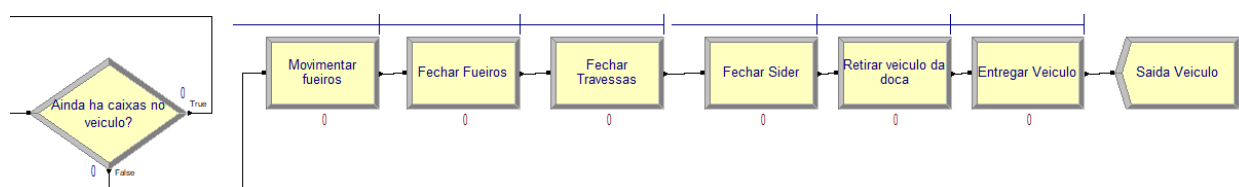
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 75 – Modelo de Simulação no Arena de TO BE – 2ª parte



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 76 – Modelo de Simulação no Arena de TO BE – 3ª parte



Fonte: Autoria própria (2025)

Considerações sobre os Recursos do modelo TO BE:

- 2 colaboradores (1 manobrista para buscar e estacionar o veículo e fazer a abertura da carreta e 1 operador envolvendo as atividades de descarregamento dos paletes) para que fosse possível captar sobrecargas ou retardo no processo desejado com base nos recursos atuais;
- 1 máquina Clamp para retirada dos paletes com as caixas;

3.3.3 Treinamento Operacional

Assim como a etapa “Aquisição de Recursos” foi terceirizada, a etapa de Treinamento Operacional também foi pelo mesmo motivo. É importante considerar que, este foi um pré-requisito para início da fase seguinte “Go Live e Hypercare”.

3.4 Encerramento

3.4.1 Go Live e Hypercare

No contexto de Gerenciamento de Projetos, “Go Live” refere-se ao momento em que um novo sistema, processo ou modelo é efetivamente colocado em operação no ambiente real. Trata-se da transição do ambiente de testes para o uso prático, marcando o início da execução oficial da solução implementada. E a fase de “Hypercare” ocorre imediatamente após o Go Live e corresponde ao período de acompanhamento intensivo e suporte técnico contínuo, visando monitorar o desempenho inicial do novo processo, corrigir falhas e garantir a estabilidade operacional.

Diante deste projeto, que envolve a modelagem e simulação de processos logísticos de transporte e carregamento, os conceitos de Go Live e Hypercare estão diretamente associados à implantação do modelo TO BE. Após a validação do modelo proposto por meio de simulações e análises comparativas com o cenário AS IS, o Go Live corresponderia ao transporte de caixas de tabaco sem palete e o descarregamento com máquinas Clamp. Em seguida, a fase de Hypercare seria essencial para captar os resultados obtidos para as partes interessadas.

Dessa forma, a simulação desempenha um papel estratégico, pois antecipadamente avalia os riscos e impactos da mudança, permitindo que o Go Live ocorra de forma mais segura e que o Hypercare seja orientado por dados confiáveis.

3.4.2 Relatório PIR (*Post Implementation Review*)

Também chamado de “Resultados e Discussões” em trabalho científico como esse, o Post-Implementation Review (PIR), ou Revisão Pós-Implementação, é uma etapa estruturada de avaliação que ocorre após a adoção definitiva de um novo sistema, processo ou tecnologia. Seu objetivo é verificar se os resultados esperados foram efetivamente alcançados, identificar pontos de melhoria, mensurar os benefícios obtidos e registrar lições aprendidas para projetos futuros. Trata-se de uma prática essencial para assegurar que a mudança tenha sido eficaz e sustentável e alinhar com os stakeholders envolvidos.

No contexto deste trabalho, que utiliza o software Arena para simular e comparar diferentes configurações de um processo logístico (modelos AS IS e TO BE), a PIR representa a fase de avaliação posterior ao Go Live do modelo proposto. Após a implementação do fluxo TO BE na operação real, a revisão pós-implementação permite comparar os indicadores de desempenho reais com os resultados projetados na simulação, como tempo de processamento e utilização de recursos. Essa análise possibilita a validação dos ganhos simulados, a identificação de possíveis desvios e a proposição de ações corretivas ou otimizadoras.

Assim, a Post-Implementation Review reforça o papel da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão, não apenas na fase de planejamento, mas também como suporte à governança da mudança e à melhoria contínua dos processos organizacionais.

3.5 Controle

No contexto da gestão de projetos, controle refere-se ao conjunto de atividades voltadas ao monitoramento contínuo do desempenho do projeto, comparando os resultados obtidos com os planos estabelecidos, com o objetivo de identificar desvios, corrigir falhas e garantir o cumprimento dos objetivos estratégicos. O controle é essencial para assegurar que o projeto avance dentro do escopo, prazo, custo e qualidade previstos, sendo uma função transversal a todas as fases do ciclo de vida do projeto.

A fase de Controle se dá pelo monitoramento contínuo da execução do projeto, principalmente comparado com o cronograma proposto na fase de planejamento. No planejamento são utilizados vários dados e um grande esforço para que se possa propor um melhor cronograma, utilizando os melhores recursos. Por isso, é essencial que haja um acompanhamento assíduo e que, ao passo que haja atividades acontecendo fora do planejado, seja tomada as medidas corretivas.

No âmbito deste trabalho, que utiliza o software Arena para simular e propor melhorias em um processo logístico, o conceito de controle está diretamente relacionado à capacidade de acompanhar a performance do novo fluxo (modelo TO BE), antes e após sua implantação. Por meio da simulação, é possível estabelecer indicadores de desempenho (KPIs), identificar gargalos operacionais, testar cenários e antecipar os impactos de mudanças. Após o Go Live, o controle se mantém como uma prática contínua, permitindo a verificação se os resultados operacionais estão alinhados com as projeções simuladas.

4 Resultados e Discussões

Para este capítulo, traremos os resultados obtidos na Simulação de Eventos Discretos feita no software Arena com os dados coletados no campo do estudo analisado, uma indústria de manufatura de tabaco em Uberlândia, MG.

4.1 Resultados da modelagem do Cenário AS IS

Abaixo estão os principais resultados obtidos através do relatório da modelagem AS IS – descarregamento com empilhadeira e com paletes.

Entidade principal: Carreta

Desempenho Geral

- **Tempo Total no Sistema:** 2,19 horas
- **Tempo de Valor Agregado (VA):** 1,66 horas
- **Tempo de Espera:** 0,54 horas
- **WIP (Work in Process):** 1,35 carretas em média

Recursos Utilizados

- **Empilhadeira**
 - **Utilização:** 29,5%
 - **Total Seized:** 31 vezes
- **Manobrista**
 - **Utilização:** 72,8%
 - **Total Seized:** 208 vezes
- **Operador**
 - **Utilização:** 29,5%
 - **Total Seized:** 31 vezes

Filas com maior espera

- **Retirar Carreta da Doca:** 0,081h (máx: 0,15h)
- **Entregar Carreta:** 0,073h
- **Abrir Gradil:** 0,066h

4.2 Resultados da modelagem do Cenário TO BE

Abaixo estão os principais resultados objetidos através do relatório da modelagem TO BE – descarregamento com máquina Clamp e sem paletes.

- **Entidade principal: Carreta**
- **Desempenho Geral**
 - **Tempo Total no Sistema: 3,99 horas**
 - **Tempo de Valor Agregado (VA): 2,52 horas**
 - **Tempo de Espera: 1,46 horas**
- **WIP (Work in Process): 3,34 veículos em média**
- **Recursos Utilizados**
 - **Clamp:**
 - **Utilização: 76%,**
 - **Total Seized: 25**
 - **Empilhadeira:**
 - **Utilização 16,2%,**
 - **Total Seized: 81**
 - **Manobrista:**
 - **Utilização: 88,2%,**
 - **Total Seized: 251**
 - **Operador:**
 - **Utilização: 84,2%,**
 - **Total Seized: 131**
- **Filas com maior espera**
 - **Posicionar Pallet: 0,144h (máx: 2,25h)**
 - **Buscar Paletes: 0,494h (máx: 2,04h)**
 - **Descarregar Caixas: 0,275h (máx: 1,55h)**

4.3 Discussões

Para facilitar a comparação, foi feita uma tabela comparativa

Tabela 3 – Comparação entre AS IS e TO BE após Simulação Arena

Indicador	AS IS	TO BE
Número de saídas	14	15
Tempo Total no Sistema	2,19 h	3,99 h
WIP Médio	1,35	3,34
Manobrista (Utilização)	72,8 %	88,2 %
Empilhadeira (Utilização)	29,5 %	16,2 %
Operador (Utilização)	29,5 %	84,2 %
Tempo de Espera	0,54 h	1,46 h
Filas críticas	Menores	Mais longas

Fonte: Autoria própria (2025)

O cenário TO BE, embora tenha maior produtividade (15 vs 14 saídas), aumentou o tempo médio total no sistema e o tempo de espera, o que pode indicar novos gargalos ou ineficiências introduzidas pela nova configuração.

Inicialmente, analisando o Tempo Total no Sistema e o WIP, observou-se o aumento esperado no tempo de processo e em entidades simultâneas do processo TO BE, o que já evidencia a necessidade de aumento de Recursos para esse processo fluir sem impactar o sistema de descarga como um todo.

Os recursos Manobrista e Operador estão próximos da superutilização, principalmente no TO BE — o que pode levar a atrasos ou até falhas se houver qualquer interrupção. Então, entende-se que será necessário a adição de operadores para o novo cenário.

O recurso máquina Empilhadeira aparece como subutilizada no TO BE, principalmente considerando que a modelagem simulada representou apenas o descarregamento de um tipo de matéria-prima, que utiliza o recurso máquina Clamp com muito mais frequência que a máquina Empilhadeira e por isso, notou-se esta subutilização. Entretanto, diante do cenário da empresa estudada, o descarregamento de todos os outros tipos de matéria-prima acontece em máquina Empilhadeira e mitigará esta subutilização mapeada.

As filas críticas como “Posicionar Palete” e “Buscar Paletes” associadas aos Tempos de Espera devem ser revistas, pois representam “picos de congestionamento” dentro do processo. Principalmente considerando a repetição e quantidade de 21 paletes a serem buscados e

posicionados, o aumento de recurso seria significativamente importante neste caso.

Após as análises obtidas acima, repetiu-se a simulação adicionando 2 recursos considerados cruciais, 1 operador e 1 manobrista, e obteve-se a seguinte solução.

Tabela 4 – Comparação entre TO BE e TO BE Alterado após Simulação Arena

Indicador	TO BE	TO BE Alterado
Tempo Total no Sistema	3,99 h	3,87 h
WIP Médio	3,34	3,36
Manobrista (Utilização)	88,2 %	86,2 %
Operador (Utilização)	84,2 %	92,3 %
Tempo de Espera	1,46 h	1,32 h
Tempo de Espera - Buscar Paletes	0,494 h	0,414 h
Tempo de Espera - Posicionar Paletes	0,144 h	0,089 h

Fonte: Autoria própria (2025)

Com a implementação dos Recursos citados anteriormente foi encontrada uma solução satisfatória. Obteve-se Redução no Tempo Total do Sistema e no Tempo de Espera. Os recursos Manobrista e Operador foram requisitados mais vezes, o que evidenciou a necessidade para utilização. Também foi observado melhoria significativa nas filas de espera, em especial, o Posicionar Paletes por ser uma atividade repetitiva, cerca de 21 vezes com os 21 paletes.

4.4 Solução Final

A fim de trazer a Solução Final do Estudo, vale evidenciar aqui questões que foram supracitadas. A economia com a retirada de paletes das viagens para transporte de caixas de tabaco foi prontamente visualizada, entretanto sua implementação implicava oneração do processo de descarregamento no armazém da fábrica analisada. Com isso, surgiu a demanda de Modelagem e Simulação do novo cenário a fim de entender as implementações necessárias, que foi o objetivo deste presente estudo. Assim, abaixo segue a análise financeira:

Tabela 5 – Economia anual média em viagens

Quantidade média de viagens reduzidas/ ano	Custo do Frete	Economia em viagens
100	15.854,61	1.585.461

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 6 – Custo anual médio em Recursos Adicionados ao Processo

Recurso adicional	Preço/ mensal	Preço/anual
Operador Empilhadeira	7.468,31	89.619,72
Operador Manobrista	7.468,31	89.619,72
Máquina Clamp	6.176,52	74.118,24
TOTAL		253.357,68

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 7 – Economia final total

Economia de viagens média prevista	1.585.461
Custo anual de Recursos adicionados	- 253.357,68
Economia Total Final	1.332.104

Fonte: Autoria própria (2025)

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

A realização e término deste Trabalho foi embasado na metodologia de Gerenciamento de Projetos da PMBOK e Simulação de Eventos Discretos, temas estes de muito interesse e afinidade do autor. A possibilidade associar experiências no período de estágio com disciplinas estudadas durante a graduação faz com que esse Estudo tenha sido ainda mais valioso. A disciplina de Simulação de Eventos Discretos se mostrou ainda, uma das melhores disciplinas no que tange a associação do que foi aprendido na graduação com a prática do mercado de trabalho.

A aplicação do guia PMBOK (Project Management Body of Knowledge) em projetos de melhoria de processos encontra um forte aliado na técnica de Simulação de Eventos Discretos (SED), especialmente em contextos logísticos e industriais. Enquanto o PMBOK fornece uma abordagem estruturada por meio de áreas de conhecimento como escopo, tempo, custos, qualidade e recursos e clara definição de etapas de gestão de projetos como Iniciação, Planejamento, Execução e Encerramento, a Simulação permite avaliar de forma prática os impactos de decisões antes mesmo de serem implementadas.

No presente trabalho, a utilização do software Arena proporcionou uma base quantitativa para tomada de decisões, alinhando-se diretamente à área de gerenciamento da qualidade e gestão de mudanças do PMBOK, ao permitir que cenários fossem testados e comparados de forma controlada antes de sua implementação. Pensando que o estudo foi realizada em uma empresa multinacional, as mudanças devem ser bem avaliadas e geridas, pois podem vir a gerar impactos significativos, positiva ou negativamente.

Após ter sido especificado a temática central do trabalho, foi possível se aprofundar no tratamento e análise dos dados coletados, entendendo a importância de aspectos estatísticos como um bom espaço amostral e do impacto negativo em outliers que se apresentam. E a modelagem evidenciou a vasta aplicação da Simulação de Eventos Discretos, onde se pode investigar a utilização de recursos, que podem estar sub ou superutilizados e ainda identificar em qual fase do processo isso acontece, tópicos estes que se empregam em diversas áreas.

Os resultados obtidos foram bem-sucedidos, considerando que foi possível reduzir o número de viagens que, ainda que tenha onerado no tempo e recurso de descarregamento, finalizou com uma grande redução de gastos na operação e otimizou a atividade, abrindo espaço para transporte e carregamento de maior quantidade de matéria-prima, caso seja necessário como previsto. O estudo foi aplicado apenas à uma das matérias-primas armazenadas devido a especificidade e particularidade de cada uma, e ainda assim, a economia ultrapassou de 1 milhão anual e foi uma das conquistas marcantes no setor.

A especificidade do material analisada se apresentou como um ponto limitante para replicar a implementação aos demais. Entretanto, à medida que houvesse maior disponibilidade e possibilidade de atuação, o estudo pode ser aplicado a cada tipo de matéria-prima transportada e armazenada, o que apresentaria uma grande variação de características como frequência de viagens ou maneiras de transporte por exemplo, e assim, permitiria um extenso completo e com potencial de economias atreladas. Vale ressaltar ainda que este tipo de processo analisado acontece em praticamente todas as indústrias, o que destaca esse estudo.

A demanda por otimização de processos é cada vez mais crescente e ser a responsável por esse projeto em uma experiência de estágio foi muito satisfatório, pois pude unir os conhecimentos da disciplina com a área de Supply Chain, que tem vasta aplicação. Ainda como complemento, essa experiência permitiu o aprimoramento em Gestão de Projetos dentro de uma empresa multinacional e proporcionou a descoberta de habilidades e áreas de interesse a serem estudadas futuramente.

6 Referências Bibliográficas

ALTIOK, Tayfur; MELAMED, Benjamin. **Simulation modeling and analysis with Arena**. Elsevier, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). *Calculadora de Frete*. Disponível em: <https://calculadorafrete.antt.gov.br/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

BANKS, Jerry (Ed.). **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. John Wiley & Sons, 1998.

BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L., & Nicol, D. M. (2010). **Discrete-event system simulation**. Prentice Hall.

CSCMP. **Council of Supply Chain Management Professionals – Supply Chain Management and Logistics Management Definitions**. 2005.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 1986.

FOUSEK, Jakub et al. **Discrete Event Simulation-Production Model In SIMUL8**. In: **ECMS**. 2017.

HARRELL, C. R. et al. **System Improvement Using Simulation**. Orem, Utah: ProModel Corporation. 5 ed. 1997.

LAW, A. M. **Simulation Modeling and Analysis**. 5th. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
MILLER, A. J.; ZHAN, F. B. **Simulation and Model-Based Design**. New York: Springer, 2015.

PMI. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. Guia PMBOK®. Quarta Edição – EUA: Project Management Institute, 2008.

VELYKA, O. T.; MARTYN, E. V.; LIASKOVSKA, S. E. Simulation of the production and transport problem in the FlexSim environment. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2023. p. 012033.

Apêndices

Apêndice A – Dados do Processo Buscar Carrreta

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	507	8,450474	45	522	8,707686	89	490	8,161825
2	505	8,41935	46	480	7,99351	90	544	9,06738
3	525	8,742201	47	512	8,531659	91	525	8,755328
4	486	8,103103	48	528	8,80344	92	499	8,323207
5	491	8,186474	49	518	8,634071	93	489	8,144852
6	461	7,683965	50	508	8,461241	94	532	8,861541
7	521	8,683244	51	511	8,515653	95	537	8,94418
8	482	8,025827	52	531	8,85211	96	496	8,273106
9	483	8,054189	53	526	8,77074	97	535	8,915841
10	481	8,015909	54	536	8,930448	98	491	8,188149
11	494	8,231632	55	544	9,060492	99	478	7,971931
12	488	8,139644	56	518	8,637581	100	565	9,416667
13	511	8,523283	57	498	8,305495	101	585	9,75
14	502	8,36216	58	484	8,069901	102	605	10,08333
15	506	8,438705	59	486	8,093455			
16	510	8,504386	60	534	8,891937			
17	494	8,23034	61	509	8,488986			
18	522	8,693167	62	505	8,414238			
19	489	8,150701	63	521	8,686135			
20	519	8,648324	64	502	8,362103			
21	497	8,290025	65	514	8,573085			
22	476	7,933227	66	530	8,840264			
23	509	8,484831	67	499	8,323045			
24	518	8,630107	68	525	8,746908			
25	487	8,122626	69	487	8,117704			
26	497	8,282605	70	503	8,391483			
27	533	8,887429	71	518	8,627673			
28	467	7,784983	72	492	8,195403			
29	496	8,261483	73	494	8,230165			
30	533	8,887137	74	488	8,141416			
31	483	8,054315	75	486	8,108067			
32	529	8,822638	76	484	8,062796			
33	479	7,97553	77	532	8,872935			
34	480	8,003058	78	514	8,568771			
35	514	8,568989	79	516	8,599633			
36	515	8,575857	80	503	8,38303			
37	489	8,142832	81	538	8,970842			
38	525	8,746758	82	471	7,845804			
39	498	8,304021	83	515	8,585978			
40	560	9,333567	84	546	9,106048			
41	501	8,355207	85	488	8,134857			
42	463	7,71626	86	536	8,93758			
43	520	8,668563	87	499	8,317729			
44	498	8,298667	88	489	8,151656			

Apêndice B – Dados do Processo Estacionar Carreta

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	374	6,23311	45	409	6,81628	89	413	6,890079
2	375	6,250752	46	362	6,038397	90	401	6,68299
3	370	6,171147	47	428	7,134321	91	392	6,539111
4	382	6,360148	48	430	7,173374	92	420	6,994587
5	365	6,07883	49	393	6,542751	93	358	5,967674
6	407	6,780699	50	434	7,231295	94	353	5,878941
7	371	6,188382	51	425	7,077766	95	380	6,328095
8	399	6,657835	52	377	6,278499	96	389	6,478498
9	393	6,554319	53	394	6,568654	97	399	6,643161
10	396	6,605082	54	419	6,97685	98	421	7,023796
11	356	5,926797	55	371	6,191435	99	398	6,634223
12	377	6,288182	56	354	5,904774	100	447	7,45
13	407	6,775464	57	398	6,636727	101	467	7,783333
14	390	6,500125	58	367	6,119485	102	487	8,116667
15	425	7,088963	59	405	6,747189			
16	380	6,32668	60	377	6,288962			
17	362	6,036729	61	423	7,046894			
18	368	6,128879	62	386	6,435162			
19	362	6,03661	63	378	6,297017			
20	399	6,656929	64	367	6,112402			
21	377	6,275679	65	392	6,527044			
22	380	6,325374	66	401	6,680706			
23	392	6,528655	67	385	6,417699			
24	371	6,182916	68	365	6,080084			
25	394	6,574941	69	385	6,410907			
26	385	6,422818	70	406	6,76305			
27	382	6,373188	71	391	6,51489			
28	397	6,615302	72	380	6,328513			
29	393	6,549841	73	387	6,447541			
30	396	6,592375	74	385	6,41499			
31	374	6,232399	75	385	6,408396			
32	411	6,8458	76	359	5,990341			
33	367	6,111782	77	376	6,267378			
34	411	6,847988	78	358	5,968273			
35	388	6,464438	79	404	6,729551			
36	358	5,968739	80	397	6,618524			
37	397	6,611111	81	420	7,004658			
38	389	6,478216	82	373	6,21909			
39	390	6,503939	83	383	6,383293			
40	371	6,181657	84	395	6,584044			
41	403	6,720587	85	401	6,69046			
42	409	6,808386	86	377	6,276607			
43	391	6,519595	87	363	6,04313			
44	386	6,432479	88	364	6,061803			

Apêndice C – Dados do Processo Buscar Paletes 1ª vez

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	328,7534	5,479224	45	332,4006	5,54001	89	330,2647	5,504411
2	317,1358	5,285597	46	326,8355	5,447259	90	333,5877	5,559795
3	326,5306	5,442176	47	315,3021	5,255034	91	328,502	5,475034
4	336,5745	5,609575	48	338,0194	5,633657	92	330,6113	5,510189
5	345,6512	5,760853	49	322,767	5,379449	93	348,2707	5,804512
6	316,1937	5,269896	50	305,1173	5,085288	94	341,9977	5,699962
7	327,6012	5,460021	51	347,3191	5,788652	95	339,5177	5,658629
8	336,4767	5,607944	52	332,0019	5,533364	96	325,071	5,41785
9	346,1904	5,76984	53	347,3893	5,789822	97	354,0595	5,900991
10	338,4883	5,641472	54	339,4423	5,657372	98	318,9798	5,316329
11	322,3857	5,373095	55	324,3156	5,405259	99	335,194	5,586567
12	331,1103	5,518505	56	331,4215	5,523691	100	314,016	5,2336
13	337,5485	5,625808	57	335,9129	5,598548	101	364,1	6,068333
14	328,5528	5,47588	58	323,5494	5,392491	102	375,1	6,251667
15	333,3274	5,555456	59	329,5713	5,492855			
16	322,8998	5,381664	60	347,5267	5,792112			
17	319,0622	5,317703	61	306,4224	5,107039			
18	327,9286	5,465477	62	334,4357	5,573929			
19	330,6853	5,511422	63	338,9702	5,649504			
20	333,889	5,564816	64	334,0348	5,567247			
21	312,7037	5,211729	65	346,9589	5,782648			
22	332,5023	5,541705	66	297,9405	4,965675			
23	317,7661	5,296101	67	309,7941	5,163234			
24	331,4066	5,523443	68	345,0132	5,750221			
25	325,5142	5,425237	69	321,0678	5,351129			
26	338,4982	5,641636	70	333,9893	5,566489			
27	324,4959	5,408264	71	321,3373	5,355621			
28	330,8617	5,514361	72	328,0275	5,467124			
29	332,6491	5,544151	73	341,7791	5,696319			
30	325,1221	5,418702	74	337,5763	5,626272			
31	346,5578	5,775963	75	317,0001	5,283335			
32	334,5698	5,576164	76	322,5896	5,376493			
33	333,4209	5,557016	77	324,1854	5,40309			
34	317,9245	5,298741	78	304,9061	5,081768			
35	353,8131	5,896884	79	346,7058	5,77843			
36	333,8781	5,564635	80	313,0093	5,216821			
37	342,9566	5,715944	81	355,2843	5,921405			
38	331,8464	5,530773	82	331,6768	5,527947			
39	325,7971	5,429951	83	343,1335	5,718892			
40	331,1085	5,518474	84	343,7136	5,72856			
41	343,128	5,718799	85	351,4253	5,857088			
42	327,2754	5,454591	86	330,2405	5,504009			
43	330,8136	5,51356	87	333,683	5,561384			
44	322,4196	5,37366	88	321,5915	5,359859			

Apêndice D – Dados do Processo Buscar Paletes 2ª vez

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	268,9801	4,483002	45	271,9641	4,532736	89	270,2166	4,503609
2	259,4748	4,32458	46	267,4109	4,456848	90	272,9354	4,548923
3	267,1614	4,45269	47	257,9744	4,299574	91	268,7744	4,479573
4	275,3792	4,589653	48	276,5614	4,609356	92	270,5002	4,508336
5	282,8055	4,713425	49	264,0821	4,401368	93	284,9488	4,749146
6	258,704	4,311733	50	249,6414	4,16069	94	279,8163	4,663606
7	268,0374	4,46729	51	284,1702	4,73617	95	277,7872	4,629787
8	275,2991	4,588318	52	271,6379	4,527298	96	265,9672	4,432786
9	283,2467	4,720778	53	284,2276	4,737127	97	289,685	4,828084
10	276,945	4,615749	54	277,7255	4,628759	98	260,9834	4,349724
11	263,7701	4,396168	55	265,3491	4,422485	99	274,2497	4,570828
12	270,9084	4,515141	56	271,163	4,519384	100	256,9222	4,282036
13	276,176	4,602934	57	274,8378	4,58063	101	297,9	4,965
14	268,8159	4,480265	58	264,7223	4,412038	102	306,9	5,115
15	272,7224	4,545373	59	269,6492	4,494154			
16	264,1908	4,40318	60	284,34	4,739			
17	261,0509	4,350848	61	250,7092	4,178487			
18	268,3053	4,471754	62	273,6292	4,560487			
19	270,5607	4,509345	63	277,3393	4,622321			
20	273,1819	4,553032	64	273,3012	4,55502			
21	255,8485	4,264142	65	283,8755	4,731258			
22	272,0473	4,534122	66	243,7695	4,062825			
23	259,9904	4,333174	67	253,4679	4,224464			
24	271,1509	4,519181	68	282,2836	4,704726			
25	266,3298	4,43883	69	262,6918	4,378197			
26	276,9531	4,615884	70	273,264	4,5544			
27	265,4966	4,424944	71	262,9123	4,381872			
28	270,705	4,51175	72	268,3861	4,473102			
29	272,1674	4,536124	73	279,6375	4,660625			
30	266,009	4,433484	74	276,1988	4,603313			
31	283,5473	4,725788	75	259,3637	4,322729			
32	273,739	4,562316	76	263,9369	4,398949			
33	272,799	4,546649	77	265,2426	4,42071			
34	260,12	4,335334	78	249,4686	4,15781			
35	289,4834	4,824723	79	283,6684	4,727806			
36	273,173	4,552883	80	256,0985	4,268308			
37	280,6009	4,676681	81	290,6872	4,844786			
38	271,5107	4,525178	82	271,372	4,522866			
39	266,5612	4,442687	83	280,7456	4,679093			
40	270,9069	4,515115	84	281,2202	4,687003			
41	280,7411	4,679018	85	287,5298	4,792163			
42	267,7708	4,462847	86	270,1968	4,50328			
43	270,6657	4,511095	87	273,0134	4,550223			
44	263,7978	4,396631	88	263,1203	4,385339			

Apêndice E – Dados do Processo Posicionar Paletes

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	61,91429	1,031905	45	62,71364	1,045227	89	53,89693	0,898282
2	52,96548	0,882758	46	50,00188	0,833365	90	67,31794	1,121966
3	66,65588	1,110931	47	71,40069	1,190011	91	56,89183	0,948197
4	53,56418	0,892736	48	63,59494	1,059916	92	60,77241	1,012874
5	55,00271	0,916712	49	55,68803	0,928134	93	53,9089	0,898482
6	54,63356	0,910559	50	60,421	1,007017	94	70,60136	1,176689
7	63,62523	1,060421	51	59,3611	0,989352	95	64,94469	1,082412
8	59,35552	0,989259	52	54,96996	0,916166	96	65,32148	1,088691
9	52,29984	0,871664	53	65,56505	1,092751	97	58,0385	0,967308
10	56,06019	0,934337	54	59,53578	0,992263	98	51,94999	0,865833
11	57,99839	0,96664	55	56,36981	0,939497	99	53,98	0,899667
12	61,6346	1,027243	56	68,72887	1,145481	100	59,89272	0,998212
13	62,69805	1,044968	57	66,25419	1,104237	101	60,29852	1,004975
14	57,74053	0,962342	58	63,81675	1,063612	102	88,1	1,468333
15	64,50614	1,075102	59	56,81286	0,946881			
16	70,35914	1,172652	60	62,61653	1,043609			
17	54,16627	0,902771	61	57,68368	0,961395			
18	66,34684	1,105781	62	64,41572	1,073595			
19	52,73487	0,878914	63	64,88926	1,081488			
20	71,75113	1,195852	64	62,49335	1,041556			
21	57,02413	0,950402	65	56,00561	0,933427			
22	59,58158	0,993026	66	68,84389	1,147398			
23	55,55855	0,925976	67	53,94743	0,899124			
24	59,02333	0,983722	68	66,89565	1,114928			
25	55,10525	0,918421	69	55,53039	0,925506			
26	51,88405	0,864734	70	63,13871	1,052312			
27	57,39333	0,956555	71	54,3587	0,905978			
28	59,33573	0,988929	72	54,31928	0,905321			
29	63,39365	1,056561	73	53,55163	0,892527			
30	68,57175	1,142862	74	61,90629	1,031771			
31	67,82523	1,130421	75	58,49271	0,974879			
32	60,95651	1,015942	76	66,40785	1,106797			
33	56,1428	0,935713	77	58,19001	0,969833			
34	57,1163	0,951938	78	61,75471	1,029245			
35	52,142	0,869033	79	67,26039	1,121006			
36	53,89599	0,898267	80	62,99414	1,049902			
37	60,57572	1,009595	81	65,39418	1,089903			
38	58,45149	0,974192	82	47,48083	0,791347			
39	64,67507	1,077918	83	60,26662	1,004444			
40	61,97105	1,032851	84	59,06757	0,984459			
41	54,98739	0,916457	85	53,07293	0,884549			
42	60,96951	1,016159	86	59,36754	0,989459			
43	52,02345	0,867058	87	52,87785	0,881297			
44	59,67653	0,994609	88	55,93657	0,932276			

Apêndice F – Dados do Processo Abrir Gradil

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	294	4,902588	45	289	4,815258	89	296	4,930599
2	265	4,409856	46	295	4,914395	90	279	4,655202
3	288	4,805082	47	277	4,616851	91	286	4,772861
4	301	5,018059	48	262	4,374032	92	292	4,872297
5	302	5,038111	49	291	4,844148	93	309	5,142356
6	286	4,768102	50	295	4,921366	94	296	4,928288
7	307	5,11577	51	314	5,226422	95	304	5,059987
8	293	4,89131	52	272	4,530632	96	303	5,052466
9	252	4,198461	53	297	4,949312	97	293	4,885972
10	305	5,081518	54	265	4,412197	98	272	4,528428
11	289	4,810226	55	287	4,787945	99	277	4,618417
12	281	4,680302	56	285	4,747975	100	350	5,833333
13	257	4,288231	57	293	4,884242	101	299	4,983333
14	287	4,778734	58	314	5,237236	102	285	4,75
15	259	4,31197	59	290	4,829368			
16	277	4,624565	60	287	4,781854			
17	295	4,917111	61	304	5,066049			
18	286	4,761597	62	271	4,509557			
19	281	4,678951	63	292	4,862389			
20	283	4,723177	64	302	5,027617			
21	297	4,950157	65	284	4,740008			
22	288	4,798076	66	292	4,874842			
23	275	4,578829	67	282	4,697007			
24	292	4,865796	68	288	4,808303			
25	272	4,532414	69	295	4,910362			
26	306	5,095661	70	297	4,949387			
27	300	5,007445	71	286	4,766337			
28	288	4,794816	72	279	4,650347			
29	258	4,306642	73	329	5,482101			
30	266	4,433258	74	257	4,28109			
31	299	4,976905	75	274	4,567591			
32	293	4,882036	76	297	4,953899			
33	298	4,961758	77	278	4,638029			
34	289	4,814046	78	325	5,409612			
35	301	5,009403	79	285	4,754546			
36	272	4,526276	80	315	5,241987			
37	278	4,629092	81	303	5,053111			
38	269	4,488058	82	295	4,913084			
39	299	4,98243	83	298	4,968984			
40	288	4,79759	84	286	4,764848			
41	278	4,634077	85	282	4,696963			
42	273	4,545473	86	298	4,96145			
43	288	4,793674	87	291	4,843416			
44	277	4,614456	88	298	4,973259			

Apêndice G – Dados do Processo Abrir Travas

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	290	4,826778	45	296	4,937248	89	267	4,44733
2	286	4,75944	46	274	4,574182	90	280	4,666383
3	270	4,498051	47	273	4,555789	91	272	4,538105
4	268	4,463167	48	295	4,917216	92	260	4,334899
5	273	4,555852	49	262	4,365498	93	255	4,246697
6	297	4,953041	50	271	4,513533	94	289	4,823639
7	269	4,484951	51	267	4,452479	95	253	4,212771
8	281	4,687747	52	274	4,566123	96	298	4,960611
9	269	4,476659	53	248	4,13551	97	290	4,837669
10	302	5,030262	54	251	4,184117	98	266	4,430728
11	299	4,984172	55	279	4,656267	99	256	4,26469
12	269	4,482097	56	265	4,424731	100	330	5,5
13	255	4,245981	57	261	4,348475	101	255	4,25
14	272	4,526105	58	260	4,333074	102	293	4,883333
15	266	4,440333	59	266	4,441236			
16	274	4,571265	60	289	4,812325			
17	261	4,354756	61	247	4,114776			
18	258	4,308251	62	260	4,331262			
19	290	4,832329	63	256	4,272919			
20	280	4,671625	64	242	4,041267			
21	269	4,488773	65	272	4,539433			
22	219	3,652637	66	275	4,57852			
23	257	4,291515	67	268	4,462849			
24	267	4,456856	68	267	4,448024			
25	270	4,495263	69	281	4,687299			
26	294	4,90541	70	284	4,727209			
27	279	4,656472	71	256	4,271931			
28	232	3,859251	72	285	4,746643			
29	282	4,702339	73	288	4,805866			
30	276	4,598487	74	271	4,524107			
31	270	4,505234	75	240	4,006824			
32	279	4,648465	76	248	4,135941			
33	265	4,408373	77	285	4,754584			
34	273	4,554995	78	261	4,346364			
35	267	4,445227	79	254	4,236488			
36	273	4,556018	80	270	4,500095			
37	271	4,51076	81	241	4,023465			
38	260	4,325779	82	278	4,625979			
39	281	4,682848	83	277	4,621691			
40	269	4,477151	84	286	4,759899			
41	257	4,277084	85	259	4,31854			
42	289	4,822727	86	289	4,82107			
43	273	4,553089	87	274	4,573592			
44	283	4,719712	88	292	4,870848			

Apêndice H – Dados do Processo Enrolar Cintas

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	317	5,286225	45	298	4,963187	89	317	5,287583
2	303	5,055023	46	294	4,903478	90	293	4,888075
3	301	5,008463	47	307	5,124945	91	282	4,705057
4	318	5,296455	48	305	5,075478	92	282	4,703536
5	308	5,135462	49	297	4,954586	93	317	5,285077
6	297	4,949949	50	310	5,171959	94	274	4,562662
7	306	5,097181	51	321	5,345925	95	268	4,459751
8	275	4,576652	52	309	5,154591	96	301	5,021715
9	298	4,967241	53	317	5,279088	97	310	5,167672
10	312	5,206039	54	291	4,850566	98	295	4,920598
11	302	5,028672	55	307	5,117344	99	300	5,000451
12	300	4,99983	56	289	4,810845	100	346	5,766667
13	316	5,271897	57	287	4,776377	101	361	6,016667
14	288	4,798973	58	312	5,19794	102	376	6,266667
15	311	5,189466	59	298	4,963897			
16	301	5,014077	60	318	5,298919			
17	303	5,055755	61	297	4,949752			
18	299	4,990954	62	303	5,054025			
19	293	4,88361	63	290	4,834449			
20	277	4,609815	64	304	5,070987			
21	293	4,876359	65	293	4,88309			
22	287	4,781534	66	294	4,902605			
23	288	4,803272	67	292	4,872668			
24	308	5,14073	68	301	5,010799			
25	326	5,432855	69	291	4,845248			
26	306	5,091926	70	284	4,725993			
27	287	4,788279	71	298	4,97049			
28	301	5,009763	72	326	5,439649			
29	300	4,993057	73	318	5,306858			
30	300	5,001975	74	289	4,818355			
31	300	5,001613	75	307	5,110633			
32	314	5,240275	76	301	5,015897			
33	326	5,43566	77	276	4,606189			
34	327	5,454041	78	291	4,849838			
35	303	5,046855	79	281	4,689798			
36	294	4,892256	80	309	5,143608			
37	327	5,454471	81	327	5,447455			
38	287	4,778805	82	325	5,423302			
39	301	5,014285	83	288	4,806282			
40	285	4,749585	84	335	5,583465			
41	290	4,837331	85	320	5,329677			
42	289	4,811333	86	261	4,354591			
43	297	4,95061	87	351	5,850818			
44	282	4,707604	88	307	5,120814			

Apêndice I – Dados do Processo Abrir Sider

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	344	5,732806	45	344	5,728769	89	359	5,98984
2	357	5,945012	46	341	5,691642	90	365	6,078826
3	356	5,926445	47	344	5,738602	91	358	5,958925
4	331	5,524106	48	344	5,727837	92	360	6,00217
5	350	5,827839	49	356	5,941305	93	337	5,620531
6	353	5,887568	50	375	6,244243	94	349	5,81936
7	354	5,902823	51	306	5,091883	95	362	6,035386
8	382	6,361899	52	351	5,851407	96	380	6,330148
9	319	5,321831	53	331	5,513306	97	368	6,127002
10	324	5,401071	54	337	5,613607	98	330	5,501782
11	351	5,857507	55	338	5,630511	99	348	5,803383
12	360	5,993005	56	327	5,456219	100	390	6,5
13	355	5,920612	57	339	5,653855	101	405	6,75
14	329	5,487851	58	341	5,689942	102	420	7
15	336	5,603282	59	323	5,380594			
16	335	5,585619	60	337	5,620326			
17	331	5,515309	61	365	6,077482			
18	340	5,661195	62	374	6,234454			
19	355	5,924176	63	342	5,701486			
20	336	5,607092	64	376	6,259809			
21	336	5,595524	65	322	5,367962			
22	358	5,959119	66	358	5,972435			
23	343	5,714239	67	376	6,264655			
24	345	5,746286	68	369	6,148705			
25	320	5,32513	69	324	5,405867			
26	317	5,278275	70	326	5,427869			
27	382	6,369745	71	343	5,712642			
28	344	5,728524	72	366	6,0978			
29	350	5,831726	73	320	5,327662			
30	329	5,4762	74	356	5,941072			
31	332	5,530937	75	357	5,945188			
32	320	5,331782	76	331	5,514429			
33	322	5,364436	77	348	5,807304			
34	340	5,662177	78	361	6,015133			
35	353	5,877879	79	332	5,534376			
36	333	5,541689	80	332	5,53327			
37	353	5,885318	81	352	5,85923			
38	353	5,885317	82	332	5,526349			
39	339	5,654655	83	319	5,320869			
40	348	5,79853	84	346	5,759051			
41	355	5,910918	85	346	5,764129			
42	340	5,669932	86	324	5,392978			
43	329	5,476261	87	337	5,615557			
44	366	6,101557	88	344	5,737825			

Apêndice J – Dados do Processo Tirar Travessas

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	377	6,277729	45	391	6,512148	89	403	6,720186
2	411	6,854549	46	375	6,252515	90	398	6,62625
3	390	6,497691	47	388	6,464481	91	400	6,673305
4	400	6,674865	48	389	6,486525	92	416	6,935044
5	408	6,798475	49	394	6,566294	93	376	6,267507
6	373	6,221345	50	366	6,095824	94	370	6,174256
7	381	6,356285	51	359	5,990107	95	378	6,305678
8	371	6,17868	52	390	6,504277	96	392	6,537962
9	408	6,798924	53	379	6,316989	97	399	6,653986
10	390	6,493314	54	369	6,154691	98	399	6,653256
11	378	6,302999	55	380	6,330787	99	378	6,30657
12	397	6,61818	56	369	6,141853	100	435	7,25
13	414	6,89658	57	390	6,499033	101	450	7,5
14	372	6,202959	58	393	6,552901	102	399	6,65
15	384	6,400249	59	382	6,359386			
16	398	6,627648	60	389	6,481212			
17	366	6,102869	61	382	6,358414			
18	403	6,719254	62	377	6,275391			
19	391	6,510459	63	418	6,965761			
20	391	6,524455	64	417	6,950561			
21	416	6,926456	65	411	6,857828			
22	359	5,988135	66	409	6,820076			
23	391	6,524402	67	397	6,620532			
24	408	6,802295	68	402	6,699716			
25	363	6,044474	69	382	6,372366			
26	381	6,355217	70	381	6,35531			
27	389	6,484619	71	399	6,653178			
28	376	6,262765	72	396	6,603833			
29	384	6,392879	73	384	6,404621			
30	395	6,578329	74	398	6,632262			
31	382	6,373734	75	369	6,149207			
32	363	6,042979	76	401	6,67947			
33	388	6,470522	77	401	6,687236			
34	387	6,442121	78	396	6,593045			
35	372	6,205774	79	392	6,535258			
36	402	6,697925	80	377	6,275559			
37	389	6,477989	81	376	6,265365			
38	387	6,453964	82	410	6,833821			
39	378	6,304654	83	400	6,660939			
40	398	6,637641	84	409	6,808477			
41	385	6,411697	85	408	6,801804			
42	404	6,735133	86	385	6,421467			
43	384	6,398665	87	386	6,437273			
44	393	6,546943	88	388	6,461148			

Apêndice K – Dados do Processo Tirar Fuegos

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	54	0,900394	45	45	0,745553	89	48	0,806013
2	49	0,822073	46	45	0,750084	90	48	0,797083
3	49	0,814322	47	53	0,884157	91	52	0,85889
4	52	0,861706	48	44	0,726508	92	47	0,779719
5	54	0,895037	49	43	0,717112	93	46	0,767409
6	51	0,855537	50	47	0,786393	94	50	0,831802
7	52	0,8684	51	50	0,836665	95	55	0,909793
8	51	0,843096	52	43	0,711989	96	39	0,654539
9	47	0,780914	53	50	0,839558	97	49	0,81728
10	53	0,88405	54	48	0,795458	98	52	0,864881
11	51	0,844525	55	42	0,69528	99	46	0,766102
12	57	0,945511	56	53	0,885186	100	68	1,133333
13	48	0,801471	57	49	0,811218	101	38	0,633333
14	40	0,661916	58	49	0,823999	102	49	0,816667
15	47	0,785363	59	49	0,814602			
16	52	0,859253	60	66	1,093966			
17	45	0,757693	61	47	0,788756			
18	53	0,881996	62	42	0,69644			
19	49	0,824857	63	46	0,770357			
20	42	0,699415	64	39	0,645124			
21	43	0,716713	65	44	0,727602			
22	41	0,678484	66	48	0,797776			
23	54	0,899041	67	44	0,740811			
24	41	0,680188	68	49	0,81565			
25	53	0,891131	69	47	0,776876			
26	43	0,723729	70	52	0,868984			
27	44	0,74156	71	39	0,645687			
28	50	0,833949	72	49	0,81267			
29	49	0,817356	73	43	0,724431			
30	42	0,700553	74	50	0,83932			
31	57	0,954463	75	50	0,839025			
32	44	0,739391	76	43	0,724218			
33	45	0,743436	77	53	0,876011			
34	50	0,83002	78	49	0,813015			
35	42	0,708161	79	50	0,83569			
36	47	0,777256	80	40	0,65978			
37	39	0,655404	81	41	0,686548			
38	51	0,854179	82	53	0,887425			
39	47	0,775323	83	47	0,777783			
40	43	0,711474	84	49	0,821672			
41	54	0,897112	85	37	0,608475			
42	54	0,90752	86	45	0,755671			
43	46	0,771586	87	43	0,724794			
44	52	0,868568	88	54	0,898209			

Apêndice L – Dados do Processo Descarregamento c/ Clamp

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	2646	44,09773	45	2498	41,63336	89	2711	45,17757
2	2634	43,90277	46	2776	46,26452	90	2698	44,97214
3	2613	43,55551	47	3076	51,27404	91	2655	44,2482
4	2870	47,82678	48	2416	40,25856	92	2892	48,20264
5	2941	49,01098	49	2856	47,59639	93	2749	45,82478
6	2736	45,59328	50	2533	42,21457	94	2701	45,02204
7	2624	43,73225	51	2443	40,70953	95	2414	40,24155
8	3059	50,98029	52	2774	46,23059	96	2582	43,03005
9	2436	40,60831	53	2731	45,50936	97	2822	47,03521
10	3063	51,05552	54	2542	42,3634	98	2809	46,81836
11	2906	48,43106	55	3210	53,4981	99	2263	37,70945
12	2781	46,34351	56	2574	42,89908	100	4830	80,5
13	2697	44,94693	57	2897	48,28347	101	5250	87,5
14	2888	48,13052	58	2660	44,32718	102	5880	98
15	3002	50,03812	59	2844	47,39379			
16	3016	50,26643	60	2821	47,02412			
17	2940	49,001	61	2420	40,33204			
18	2549	42,48247	62	2743	45,72147			
19	2668	44,46366	63	2407	40,11436			
20	2860	47,66904	64	2647	44,11748			
21	2316	38,60272	65	2722	45,37137			
22	2665	44,41831	66	2803	46,72183			
23	2648	44,12897	67	2882	48,03376			
24	2775	46,24526	68	2921	48,68472			
25	2523	42,04178	69	2713	45,21633			
26	2561	42,68632	70	2763	46,04194			
27	2949	49,15419	71	2999	49,98318			
28	2524	42,06623	72	2475	41,25448			
29	2848	47,47341	73	2824	47,06118			
30	2680	44,66346	74	2765	46,08068			
31	2403	40,0543	75	2801	46,68525			
32	2483	41,37632	76	2746	45,77076			
33	2688	44,7979	77	2620	43,66573			
34	2629	43,8214	78	2599	43,31013			
35	2595	43,25728	79	2796	46,59829			
36	3129	52,15185	80	2597	43,29039			
37	2746	45,76562	81	3009	50,15441			
38	2572	42,87357	82	2563	42,71104			
39	2688	44,79331	83	2737	45,61153			
40	2619	43,65115	84	2347	39,12382			
41	2658	44,29881	85	2895	48,25399			
42	2722	45,36083	86	2934	48,89508			
43	2561	42,68315	87	2562	42,69442			
44	2728	45,46176	88	2731	45,51289			

Apêndice M – Dados do Processo Descarregamento c/ Empi.

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	754	12,56518	45	921	15,35242	89	940	15,66318
2	1089	18,15344	46	830	13,8405	90	795	13,2498
3	766	12,76853	47	822	13,70508	91	911	15,18772
4	748	12,45883	48	888	14,80399	92	948	15,79504
5	985	16,41979	49	1123	18,71558	93	903	15,05242
6	874	14,56664	50	734	12,24051	94	950	15,82528
7	751	12,51811	51	896	14,93802	95	674	11,23924
8	831	13,85021	52	685	11,41064	96	985	16,42287
9	849	14,15804	53	896	14,93909	97	632	10,5261
10	876	14,60818	54	806	13,42811	98	832	13,87006
11	933	15,54514	55	805	13,42468	99	748	12,47164
12	949	15,81446	56	937	15,6145	100	1070	17,84085
13	785	13,07682	57	670	11,17011	101	672	11,20238
14	757	12,6137	58	760	12,65951	102	897	14,95361
15	629	10,481	59	645	10,74834			
16	841	14,02294	60	957	15,95615			
17	747	12,44974	61	909	15,14493			
18	678	11,29802	62	771	12,85386			
19	892	14,86539	63	853	14,21698			
20	743	12,3838	64	837	13,95103			
21	848	14,13923	65	1017	16,94676			
22	970	16,16123	66	846	14,09473			
23	894	14,90509	67	857	14,28635			
24	954	15,90772	68	755	12,58141			
25	642	10,70459	69	805	13,41615			
26	958	15,96802	70	846	14,09851			
27	882	14,702	71	792	13,20746			
28	655	10,91542	72	789	13,15321			
29	918	15,2946	73	959	15,98999			
30	785	13,08095	74	933	15,54352			
31	809	13,48954	75	745	12,40996			
32	1014	16,90545	76	859	14,31126			
33	832	13,85919	77	918	15,3058			
34	733	12,21021	78	734	12,2337			
35	912	15,20539	79	830	13,8346			
36	1050	17,5024	80	822	13,70117			
37	846	14,09582	81	859	14,32459			
38	673	11,21778	82	970	16,16455			
39	943	15,71938	83	752	12,54102			
40	927	15,45613	84	855	14,24694			
41	812	13,53235	85	855	14,24845			
42	890	14,82841	86	737	12,2756			
43	932	15,52716	87	903	15,04378			
44	823	13,71843	88	1031	17,17722			

Apêndice N – Dados do Processo Movimentar Fueiros

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	39	0,654673	45	42	0,702537	89	43	0,718286
2	47	0,783988	46	39	0,65256	90	40	0,662186
3	38	0,630482	47	43	0,722497	91	45	0,743619
4	43	0,721354	48	38	0,628313	92	42	0,706961
5	37	0,614825	49	37	0,619513	93	51	0,854566
6	50	0,830841	50	37	0,622945	94	40	0,673862
7	34	0,574329	51	41	0,684289	95	48	0,799926
8	43	0,713776	52	42	0,698964	96	35	0,57963
9	41	0,683526	53	31	0,512011	97	56	0,928375
10	52	0,865789	54	42	0,706843	98	38	0,632883
11	44	0,7409	55	44	0,726068	99	37	0,616265
12	52	0,868897	56	54	0,89307	100	57	0,95
13	41	0,681756	57	45	0,756689	101	62	1,033333
14	42	0,702675	58	45	0,751855	102	68	1,133333
15	31	0,514666	59	49	0,8084			
16	44	0,732913	60	50	0,825758			
17	42	0,693648	61	39	0,645478			
18	45	0,748381	62	38	0,626687			
19	43	0,710156	63	49	0,819497			
20	43	0,71673	64	36	0,594082			
21	38	0,63162	65	50	0,841131			
22	30	0,502633	66	35	0,575592			
23	50	0,830892	67	32	0,540656			
24	34	0,570795	68	44	0,739832			
25	43	0,716851	69	46	0,764893			
26	43	0,719582	70	45	0,752224			
27	43	0,713598	71	36	0,606688			
28	45	0,750335	72	50	0,839596			
29	41	0,675638	73	40	0,666443			
30	46	0,771651	74	46	0,764312			
31	42	0,69333	75	51	0,849213			
32	44	0,741549	76	44	0,730589			
33	48	0,801422	77	40	0,674041			
34	42	0,692734	78	41	0,686476			
35	40	0,662868	79	39	0,654559			
36	46	0,772684	80	48	0,795545			
37	43	0,713123	81	44	0,72752			
38	39	0,643253	82	45	0,747165			
39	40	0,663316	83	41	0,68402			
40	29	0,48869	84	39	0,647279			
41	45	0,750683	85	40	0,668822			
42	42	0,705529	86	43	0,710245			
43	42	0,695909	87	40	0,672939			
44	41	0,676873	88	33	0,542814			

Apêndices O – Dados do Processo Fechar Fueiros

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	167	2,78558	45	176	2,930175	89	173	2,876612
2	176	2,937845	46	158	2,632194	90	161	2,689845
3	163	2,717707	47	167	2,778908	91	167	2,782877
4	157	2,609199	48	182	3,037536	92	185	3,078857
5	150	2,50497	49	176	2,927759	93	180	2,997548
6	166	2,769332	50	158	2,636492	94	179	2,985463
7	163	2,710032	51	178	2,970907	95	171	2,847114
8	159	2,657332	52	185	3,086021	96	166	2,759914
9	163	2,723326	53	161	2,681891	97	164	2,726882
10	169	2,81411	54	151	2,513205	98	163	2,71361
11	174	2,905276	55	151	2,524045	99	168	2,806377
12	183	3,054064	56	164	2,731264	100	198	3,3
13	170	2,825077	57	159	2,645116	101	208	3,466667
14	173	2,888319	58	184	3,059761	102	171	2,85
15	163	2,712978	59	161	2,67994			
16	168	2,798184	60	169	2,823113			
17	170	2,829982	61	156	2,59299			
18	177	2,94253	62	140	2,34034			
19	185	3,084448	63	169	2,811798			
20	156	2,607662	64	166	2,764929			
21	174	2,905197	65	176	2,928193			
22	155	2,581189	66	162	2,697534			
23	156	2,604203	67	172	2,867293			
24	163	2,715524	68	166	2,770789			
25	160	2,663612	69	173	2,879226			
26	181	3,01382	70	160	2,669968			
27	184	3,073525	71	170	2,834414			
28	176	2,94004	72	160	2,672986			
29	175	2,910385	73	159	2,642662			
30	167	2,788919	74	173	2,880535			
31	173	2,88911	75	165	2,75473			
32	160	2,664494	76	156	2,597838			
33	172	2,858939	77	167	2,782018			
34	156	2,594408	78	180	2,998513			
35	166	2,762183	79	172	2,858595			
36	181	3,011251	80	175	2,909018			
37	164	2,729821	81	163	2,724311			
38	175	2,92116	82	172	2,874044			
39	181	3,016753	83	152	2,533677			
40	169	2,817937	84	169	2,822118			
41	174	2,899717	85	169	2,820635			
42	162	2,693297	86	177	2,946867			
43	173	2,884904	87	165	2,75277			
44	170	2,83783	88	163	2,709136			

Apêndice P – Dados do Processo Fechar Travessas

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	346	5,773774	45	384	6,399854	89	338	5,641229
2	377	6,285176	46	350	5,825665	90	346	5,768992
3	345	5,748217	47	370	6,16772	91	362	6,029451
4	357	5,947971	48	359	5,990977	92	373	6,219702
5	375	6,253712	49	367	6,111737	93	393	6,553935
6	374	6,229308	50	371	6,181875	94	382	6,36005
7	369	6,151248	51	353	5,885541	95	347	5,784049
8	365	6,090922	52	372	6,195957	96	377	6,276016
9	367	6,122099	53	376	6,271348	97	382	6,371048
10	334	5,563857	54	369	6,154585	98	377	6,276038
11	349	5,808652	55	390	6,502266	99	409	6,816667
12	363	6,047124	56	363	6,043296	100	424	7,066667
13	364	6,065579	57	381	6,349391	101	388	6,466667
14	365	6,089907	58	353	5,88089	102	439	7,316667
15	371	6,177547	59	369	6,145432			
16	364	6,069478	60	378	6,303699			
17	360	6,000324	61	351	5,857509			
18	370	6,166464	62	359	5,983766			
19	337	5,62379	63	373	6,214486			
20	380	6,327705	64	352	5,860451			
21	354	5,895021	65	354	5,902057			
22	340	5,67481	66	358	5,967621			
23	355	5,923401	67	353	5,891304			
24	326	5,42878	68	370	6,171785			
25	354	5,895999	69	358	5,963178			
26	391	6,518164	70	375	6,257815			
27	380	6,337256	71	375	6,251765			
28	359	5,983048	72	374	6,229351			
29	370	6,167682	73	367	6,122118			
30	351	5,848814	74	370	6,165589			
31	375	6,244956	75	392	6,531932			
32	359	5,975808	76	373	6,211084			
33	361	6,024762	77	376	6,272561			
34	343	5,722838	78	369	6,157773			
35	355	5,91779	79	364	6,066273			
36	353	5,881315	80	383	6,377575			
37	357	5,943859	81	354	5,896878			
38	392	6,535682	82	356	5,936259			
39	361	6,0091	83	369	6,147208			
40	371	6,181636	84	356	5,937361			
41	358	5,958498	85	378	6,294608			
42	382	6,365341	86	352	5,873027			
43	360	5,992905	87	356	5,927614			
44	369	6,1554	88	353	5,875436			

Apêndice Q – Dados do Processo Fechar Sider

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	390	6,494096	45	373	6,20956	89	425	7,088263
2	404	6,728048	46	418	6,973897	90	406	6,767508
3	405	6,74361	47	422	7,034741	91	419	6,983224
4	368	6,137306	48	411	6,84972	92	384	6,403798
5	415	6,920324	49	441	7,350503	93	405	6,748841
6	389	6,491084	50	403	6,713828	94	394	6,56509
7	422	7,038569	51	408	6,801693	95	400	6,666532
8	399	6,644975	52	385	6,419657	96	414	6,892006
9	405	6,756294	53	408	6,804977	97	413	6,877073
10	423	7,049798	54	391	6,524924	98	406	6,774247
11	394	6,573013	55	411	6,854792	99	451	7,516667
12	396	6,601011	56	372	6,207032	100	466	7,766667
13	390	6,499873	57	418	6,971825	101	481	8,016667
14	406	6,770256	58	410	6,840859	102	416	6,933333
15	405	6,746136	59	409	6,816947			
16	413	6,881961	60	406	6,766566			
17	415	6,919125	61	393	6,557546			
18	397	6,61585	62	436	7,27048			
19	403	6,709772	63	422	7,034841			
20	376	6,263851	64	429	7,14671			
21	388	6,466014	65	390	6,494201			
22	431	7,175579	66	413	6,885439			
23	406	6,772696	67	404	6,727368			
24	422	7,034812	68	414	6,898572			
25	397	6,613194	69	387	6,451588			
26	427	7,121191	70	395	6,576782			
27	405	6,744897	71	415	6,914045			
28	411	6,849776	72	430	7,159004			
29	399	6,646866	73	394	6,565978			
30	396	6,599986	74	420	7,003256			
31	387	6,442498	75	404	6,730831			
32	407	6,776929	76	422	7,038154			
33	424	7,063713	77	398	6,631151			
34	408	6,803837	78	382	6,372844			
35	397	6,610341	79	417	6,946749			
36	414	6,903079	80	412	6,872669			
37	443	7,382068	81	407	6,782277			
38	410	6,833254	82	383	6,385882			
39	419	6,989209	83	410	6,8341			
40	424	7,06331	84	382	6,374242			
41	415	6,921316	85	438	7,2932			
42	417	6,952658	86	410	6,831143			
43	391	6,512473	87	407	6,790406			
44	382	6,364113	88	417	6,950933			

Apêndices R – Dados do Processo Retirar Carreta

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	175	2,920211	45	179	2,988764	89	181	3,015112
2	188	3,138798	46	176	2,927522	90	186	3,100552
3	196	3,271015	47	183	3,04997	91	181	3,015748
4	183	3,044224	48	189	3,156498	92	189	3,145146
5	191	3,180901	49	171	2,844336	93	187	3,111118
6	184	3,062968	50	168	2,793284	94	190	3,167554
7	196	3,26215	51	214	3,568865	95	188	3,12703
8	200	3,331322	52	197	3,28577	96	203	3,384796
9	180	2,996783	53	188	3,137171	97	183	3,045545
10	180	2,995553	54	183	3,048549	98	188	3,128519
11	177	2,954501	55	179	2,985657	99	188	3,13303
12	197	3,279811	56	196	3,271632	100	217	3,616667
13	197	3,276345	57	194	3,235357	101	227	3,783333
14	201	3,34304	58	179	2,985589	102	237	3,95
15	188	3,129013	59	173	2,883389			
16	180	2,995846	60	186	3,104278			
17	196	3,258517	61	199	3,316015			
18	205	3,410217	62	170	2,828819			
19	186	3,093451	63	192	3,192415			
20	186	3,104034	64	164	2,739204			
21	184	3,061635	65	183	3,050061			
22	198	3,303029	66	181	3,023232			
23	180	2,997404	67	189	3,158288			
24	171	2,84819	68	186	3,104107			
25	195	3,249392	69	167	2,784491			
26	170	2,8413	70	187	3,118646			
27	176	2,940451	71	179	2,986481			
28	179	2,981283	72	177	2,94592			
29	184	3,063761	73	181	3,023652			
30	177	2,949831	74	184	3,060235			
31	194	3,23791	75	190	3,17111			
32	194	3,226519	76	188	3,127416			
33	187	3,122517	77	183	3,046386			
34	196	3,265379	78	184	3,05855			
35	196	3,263569	79	199	3,321277			
36	174	2,907189	80	196	3,261353			
37	191	3,18009	81	179	2,976089			
38	198	3,296278	82	185	3,082137			
39	177	2,950427	83	189	3,14587			
40	176	2,927981	84	197	3,285059			
41	172	2,865791	85	176	2,929445			
42	180	2,994994	86	211	3,512147			
43	198	3,302035	87	184	3,061618			
44	195	3,257968	88	188	3,132452			

Apêndices S – Dados do Processo Entregar Carreta

Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min	Amostra	Tempo em s	Tempo em min
1	515	8,588448	45	508	8,458362	89	526	8,761678
2	548	9,129462	46	521	8,685135	90	531	8,849382
3	527	8,777786	47	517	8,615251	91	545	9,086437
4	507	8,448078	48	522	8,705516	92	533	8,885093
5	525	8,749631	49	529	8,812356	93	490	8,163052
6	536	8,936457	50	531	8,846304	94	517	8,620075
7	503	8,385768	51	513	8,55814	95	518	8,633346
8	554	9,235236	52	527	8,790426	96	535	8,912144
9	539	8,977025	53	533	8,876442	97	507	8,441781
10	541	9,013758	54	555	9,253036	98	543	9,051688
11	534	8,89927	55	565	9,41257	99	525	8,744036
12	530	8,830428	56	519	8,642486	100	584	9,733333
13	526	8,771906	57	529	8,824994	101	531	8,85
14	532	8,864578	58	506	8,435491	102	499	8,316667
15	516	8,601692	59	529	8,809653			
16	511	8,522029	60	517	8,618838			
17	529	8,813834	61	557	9,275653			
18	510	8,506112	62	543	9,053569			
19	539	8,982311	63	493	8,224443			
20	519	8,648652	64	503	8,381996			
21	525	8,755002	65	531	8,85675			
22	526	8,773294	66	517	8,624675			
23	537	8,949416	67	523	8,724734			
24	518	8,634629	68	520	8,660774			
25	557	9,276306	69	527	8,780052			
26	540	8,995695	70	495	8,252243			
27	521	8,685371	71	554	9,241381			
28	520	8,662575	72	541	9,017525			
29	528	8,799199	73	553	9,221745			
30	525	8,745473	74	506	8,430715			
31	517	8,608535	75	509	8,475598			
32	539	8,981375	76	505	8,415073			
33	534	8,897436	77	506	8,437183			
34	534	8,9022	78	512	8,54047			
35	548	9,131725	79	512	8,531044			
36	521	8,68272	80	512	8,533692			
37	531	8,851183	81	515	8,585407			
38	511	8,522626	82	521	8,682212			
39	516	8,602517	83	505	8,415162			
40	516	8,60333	84	545	9,081209			
41	509	8,478427	85	519	8,64623			
42	516	8,592368	86	502	8,368178			
43	507	8,452904	87	529	8,810605			
44	519	8,642078	88	522	8,695053			