

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

RICARDO JULIANO GOUVEIA

Modelo de Simulação da Logística das Portarias de Entrada e
Saída de Veículos de Abastecimento e escoamento de
Produtos da USIMINAS em Cubatão/SP

Belo Horizonte
2017

© 2017, Ricardo Juliano Gouveia.

Todos os direitos reservados

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do ICEx - UFMG

Gouveia, Ricardo Juliano.

G719m Modelo de simulação da logística das portarias de entrada e saída de veículos de abastecimento e escoamento de produtos da USIMINAS em Cubatão - SP. / Ricardo Juliano Gouveia. – Belo Horizonte, 2016. x, 74 f.: il.; 29 cm.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Ciência da Computação.

Orientador: Martín Gómez Ravetti

Orientador: Geraldo Robson Mateus.

1. Computação. 2. Métodos de simulação. 3. Logística
I. Orientador. II. Título.

CDU 519.6*61 (043)

RICARDO JULIANO GOUVEIA

Modelo de Simulação da Logística das Portarias de Entrada e
Saída de Veículos de Abastecimento e Escoamento de
Produtos da USIMINAS em Cubatão/SP

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Otimização de Sistemas
do Departamento de Ciência da Computação
do Instituto de Ciências Exatas da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista Otimização de Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Martín Gómez Ravetti

Belo Horizonte

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

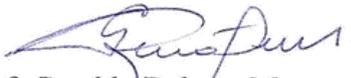
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTMIZAÇÃO DE SISTEMAS: ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
GESTÃO INDUSTRIAL

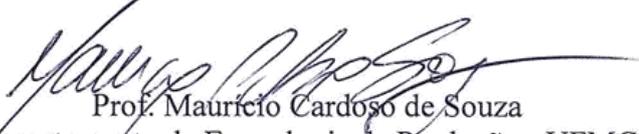
MODELO DE SIMULAÇÃO DA LOGÍSTICA DAS PORTARIAS DE ENTRADA E SAÍDA DE VEÍCULOS DE ABASTECIMENTO E ESCOAMENTO DE PRODUTOS DA USIMINAS EM CUBATÃO/SP

Ricardo Juliano Gouveia

Monografia apresentada aos Senhores:


Prof. Martin Gomez Ravetti - Orientador
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG


Prof. Geraldo Robson Mateus
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


Prof. Mauricio Cardoso de Souza
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG

Belo Horizonte, 20 de fevereiro de 2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado força e saúde para a realização deste trabalho.

A Universidade Federal de Minas Gerais e a Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais pela oportunidade de fazer o curso.

Ao Coordenador Doutor Geraldo Robson Mateus pelo apoio e compreensão ao longo do curso.

Ao Professor Doutor Martín Gómez Ravetti, por dividir comigo seus conhecimentos, pela orientação, apoio e confiança.

A todos os professores pela disseminação dos conhecimentos e contribuição em minha formação.

Aos meus pais por me ensinarem os verdadeiros valores da vida, pela paciência e pelo incentivo em todos os momentos.

Aos meus irmãos que mesmo morando longe, sempre estiveram perto me incentivando e entendendo que meu tempo ausente no presente foram dedicados ao estudo para obter um futuro melhor.

A todos os amigos com os quais pude contar nos melhores e piores momentos desta trajetória.

RESUMO

O mercado competitivo necessita de produtos de qualidade com agilidade e pontualidade na entrega. Visando maior representatividade no mercado, as empresas ambicionam melhorias nos processos para obter ganhos de produtividade com baixo custo. O presente trabalho, portanto, propõe melhorias para reduzir custos operacionais logísticos, tempos de permanência dos veículos dentro da planta e de entrega de produtos. A simulação de processos está em crescente neste ramo e auxilia a tomada de decisões em melhorias de fluxo e modificações futuras de leiaute. Um modelo computacional com animações e alterações de leiaute foi elaborado para fundamentar as propostas e nortear a empresa para tomadas de decisões futuras. A solidez da base de dados foi confirmada por testes de aderência. O teste de Kolmogorov-Smirkov e o de *p-value* foram utilizados para verificar a efetividade das funções características referentes às amostras coletadas. Os resultados obtidos pelo modelo foram satisfatórios e as qualidades de cada cenário comparados ao cenário atual.

Palavras-chave: Logística. Modelagem. Simulação. Siderurgia. Fluxo.

ABSTRACT

A competitive market requires high quality products delivered on time. Aiming to acquire a larger share of the market, companies aspire to refine processes to improve productivity while retaining low costs. This work aims to advise improvements to logistic operational costs by reducing time spent by vehicles on site and out in delivery. Process simulation is commonly used in logistics to assist decision-makers in improving vehicle flows and layout changes. A computational model with animations and layout updates was designed to support proposals and provide insight to the company in future decisions. The consistencies of these datasets were confirmed by adherence tests. Both Kolgoromov-Smirkov and p-value tests were used to verify the effectiveness of the curve model functions related to the samples collected. The results obtained by the presented model were suitable and any advantages of each scenario were compared to the current state.

Keywords: Logistics. Modeling. Simulation. Steel industry. Flow

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de atendimento a veículos	2
Figura 2 - Etapas de modelagem e simulação	17
Figura 3 - Fluxo de processos da logística interna	22
Figura 4 - Berço metálico	23
Figura 5 - Fluxo Mensal de Abastecimento e Escoamento Rodoviário	27
Figura 6 - Vista Superior da Portaria 03 com ampliação de atendimentos.....	32
Figura 7 - Bloco de chegada de veículos	34
Figura 8 - Bloco de atendimento do Ecopátio.....	35
Figura 9 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 04.....	36
Figura 10 - Animação da vista superior da Portaria 04	37
Figura 11 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 04.....	37
Figura 12 - Quadro de veículos nas áreas internas da Usina.....	38
Figura 13 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 03 sem galpão	39
Figura 14 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 03 sem galpão	41
Figura 15 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 03 com galpão	43
Figura 16 - Animação da vista superior da Portaria 03	44
Figura 17 - Sistema de balança automatizado	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenários propostos	30
Tabela 2 - Quantidade média de chegadas diárias por tipo	46
Tabela 3 - Quantidade média de chegadas diárias por material	46
Tabela 4 - Tempo médio de permanência por tipo	47
Tabela 5 - Curvas características das chegadas de veículos.....	65
Tabela 6 – Tempos e quantidades obtidos pelo modelo	70
Tabela 7 - Taxa de utilização de recursos obtida pelo modelo.....	71

SUMÁRIO

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
1. Introdução	1
1.1 Setor analisado	3
1.1.1 Justificativa	4
1.2 Objetivos	6
1.3 Estrutura do Trabalho	7
2. Trabalhos relacionados	9
2.1 Conclusões Parciais	13
3. Metodologia	15
3.1 Pesquisa Operacional	15
3.1.1 Modelagem e Simulação	16
4. Descrição do Problema	22
4.1 Coleta de dados	26
5. Simulação e Análise de Resultados	30
5.1 Identificação das Variáveis	32
5.2 Construção do Modelo	34
5.3 Verificação e Validação do Modelo	45
5.4 Análises dos Resultados Obtidos	48
6. Discussão e Conclusões	56
Referências	60
Apêndice A	65
Apêndice B	70
Apêndice C	72

1. INTRODUÇÃO

O ambiente empresarial nos sistemas produtivos de alta competitividade busca diferenciação e vantagem competitiva em relação a seus concorrentes e aumenta a pressão sobre os fabricantes e distribuidores a fim de fornecer rapidamente produto para os clientes, segundo Cota et al. [13] e Santos e Santana. [45]. Grandes empresas possuem cadeia de suprimentos e logística que visam garantir produtos e materiais no mercado de consumo com velocidade, eficiência e custos minimizados afirmam Santana e Santana. [44]. Portanto, a logística interna da Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais – USIMINAS de Cubatão é o principal foco deste trabalho.

Em 2014, a indústria da USIMINAS localizada em Cubatão/SP recebia todos os veículos de matéria prima, peças, insumos e prestadores de serviços através de modal rodoviário. O escoamento de produtos siderúrgicos e subprodutos para o atendimento ao Mercado Interno era de 65% em modal rodoviário e 35% via modal ferroviário. A empresa utilizava uma área alugada com 14.250 m² dentro do Ecopátio e o acesso às áreas internas da Usina referentes a estes veículos ocorriam pela Portaria 04, com uma área total de 35.444 m². A saída destes veículos era efetuada pela Portaria 03 com 14.006 m² de área total. A indústria contém vários locais de carregamento e descarga destes veículos de acordo com o tipo de material transportado.

Figura 1 - Áreas de atendimento a veículos



Fonte: USIMINAS apud Google [54]

A Ecorodovias [14] informa que o Ecopátio Cubatão, plataforma logística da Elog localizado fora das dependências da Usiminas, presta serviços de gestão de logística e informação, comércio exterior e demais projetos customizados para a indústria. Este complexo recebe todos os veículos de escoamento de produtos siderúrgicos e os direciona para a área alugada pela Usiminas antes destes veículos seguirem para a Usina.

A Portaria 04 era destinada a entrada de veículos de abastecimento de matérias-primas, insumos, prestadores de serviços e veículos de escoamento de produtos siderúrgicos e subprodutos. Após a descarga ou carregamento de material, os veículos seguiam para a Portaria 03 destinada a saída da Usina.

O fluxo médio de veículos que transitavam entre as portarias era de 16.058 veículos por mês, aproximadamente 536 veículos por dia. A quantidade de veículos de escoamento de produtos siderúrgicos e subprodutos correspondem a 51,9% e os

veículos de abastecimento de matérias-primas, insumos e prestadores de serviços correspondem a 48,1%.

1.1 Setor analisado

A logística de entrada e saída de veículos deve ocorrer de forma rápida e eficaz para evitar atrasos no recebimento de matéria-prima, baixo tempo de permanência de veículos dentro do Ecopátio, da empresa e filas de veículos na rodovia.

A constante preocupação com a segurança dos processos logísticos no que tange a redução de desvios de produtos, insumos, materiais e ferramentas, multas por excesso de carga por eixo (centralização da carga entre eixos), gargalos logísticos, tempos de permanência dentro da empresa e sistemas de pesagem, necessita de estudos e melhorias contínuas nos processos e fluxos da logística na empresa.

O efetivo deve ser adequado e a automação deve ser utilizada de forma a minimizar custo e maximizar a fluidez dos acessos de entrada e saída da Usina.

A Portaria 03 enfrenta gargalos de fluxo por conter apenas uma via de entrada e uma via de saída do pátio e fornecer vagas de estacionamento para veículos de escoamento de produtos devido a necessidade de coleta de notas fiscais e preparação da carreta gerando grande concentração de veículos dentro do pátio, filas na balança e aumentando o tempo de permanência de veículos na Usina. As vinte e cinco vagas do pátio não comportam todos os veículos que necessitam estacionar em horários de pico.

Inspeções de documentação e veículos devem ocorrer para evitar transtornos nas áreas internas, desvios de material e multas de trânsito devido a liberação de veículos carregados com produtos da empresa com excesso de peso ou amarração da carga de forma incorreta. A amarração e o enlonamento de carretas de escoamento de produtos são efetuados pelos motoristas nas áreas da empresa sem os equipamentos

apropriados e os riscos de queda do mesmo ao escalar o veículo são pontos de preocupação da empresa.

A pesagem composta é efetuada em cerca de 30% dos veículos de abastecimento de matéria prima, 25% dos veículos de escoamento de produtos siderúrgicos, e 3% de escoamento de subprodutos. Este procedimento é efetuado com duas pesagens somadas no sistema por dois posicionamentos do veículo na balança porque as balanças atuais possuem 21 metros de comprimento e a empresa recebe veículos acima de 25 metros. Portanto, o motorista posiciona o cavalo e a primeira carreta e na segunda pesagem posiciona a segunda carreta para o operador efetivar a pesagem no sistema. A movimentação do veículo para realizar as duas pesagens duplica o tempo de pesagem e reduz a confiabilidade entre o peso inserido no sistema e o peso real.

1.1.1 Justificativa

Avaliar os cenários com a automatização das balanças rodoviárias, a centralização dos postos de atendimento na Portaria 03 e a migração dos postos de atendimento para preparação e a amarração de cargas que atuavam no Ecopátio, fora das dependências da Usina e os impactos destes serviços na permanência dos veículos nas dependências da Usina e entrega de produtos.

A automação e ampliação das balanças nos cenários propostos devem abordar a instalação de balanças longas e automatizadas e a sua real necessidade para a redução de tempos de fila e confiabilidade do sistema com a eliminação de dupla pesagem rodoviária para aumentar a confiabilidade do sistema e redução de tempos de trajetos a pé para reposicionamento do veículo porque os veículos acima de vinte e cinco metros necessitam efetuar duas pesagens de forma manual com dois posicionamentos da carreta pelo motorista.

Analisar a transferência de atividades que ocorrem no galpão do Ecopátio para as dependências da Portaria 03 para redução de dispêndios com contrato de *take-or-pay* e deslocamento de mão-de-obra.

As instalações fornecidas pelo complexo logístico Ecopátio eram alugadas mediante um contrato de *take-or-pay*. Esta transação, segundo Grossman et al. [20], obriga o comprador a adquirir um produto a uma taxa constante durante um período fixo e um preço especificado. Portanto, o contrato da Usiminas era de transitar três mil carretas por mês no estacionamento do complexo a um preço fixo. Se a capacidade exceder, o valor era pago e as carretas excedentes eram pagas individualmente e caso contrário, o valor a ser expendido era o valor contratual de *take-or-pay* referentes as três mil carretas.

A Usiminas arcou cerca de cento e cinquenta mil reais apenas por não atingir a capacidade de carretas do *take-or-pay* no ano de 2014 e até a metade do ano de 2014, época da coleta dos dados, estes dispêndios ultrapassavam os cento e vinte mil reais.

No ano de 2013, a Usiminas e os transportadores de escoamento de produtos siderúrgicos desembolsaram mais de um milhão de reais em gastos com estadias e o contrato de *take-or-pay*. No ano seguinte, os seis primeiros meses apresentaram gastos superiores a quinhentos mil reais.

O tempo de permanência de veículos na empresa e a redução do tempo de entrega de produtos aos clientes estão conjecturados nos cenários propostos devido aos veículos de escoamento de produtos siderúrgicos saírem da Usina com a amarração de carga adequada por percorrer um trecho de rodovia antes de seguirem ao Ecopátio para os procedimentos de amarração finais e padronizados. Ao avaliar a centralização de postos de trabalho na Portaria 03, o modelo analisa a necessidade deste processo repetido, com isto, o tempo de transporte e entrega poderão ser reduzidos porque o veículo seguirá viagem direta ao cliente ou ao transportador.

Esta centralização de postos de trabalho possibilita o modelo ampliar os serviços de amarração e enlonamento para todos os veículos de escoamento afim de padronizar o serviço a todos os tipos de produtos oferecidos pela empresa. A ampliação dos atendimentos visa reduzir os riscos de acidentes com motoristas e aumentar a segurança do material transportado por ser um serviço padronizado e efetuado por pessoas treinadas.

1.2 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho são avaliar o cenário atual da época de estudo e propor cenários futuros com finalidade de minimizar gargalos e tempos de permanência de veículos nas portarias da Usina e no Ecopátio, apontar melhorias na padronização de procedimentos e centralização de serviços e reduzir riscos de acidentes e custos com o Ecopátio.

Avaliar a transferência do galpão de inspeções e postos de trabalho pertinentes a estas tarefas situados no Ecopátio para as dependências da Portaria 03 da Usina. Conjecturar a ampliação dos atendimentos de amarração final efetuado pela equipe especializada para atender os veículos de escoamento de subprodutos.

A automatização do sistema das balanças e ampliação das plataformas de pesagem serão pautados para reduzir ou eliminar as pesagens compostas que impactam na confiabilidade do sistema.

A redução de custos com instalações alugadas e redução de postos de trabalho com a automatização de equipamentos, centralização de postos e o aumento da padronização dos procedimentos serão avaliados para firmar o investimento e aumentar a competitividade da empresa no mercado.

Diante dos objetivos relacionados, este trabalho consiste em avaliar o cenário atual adotando ferramentas de modelagem e simulação de sistemas. Através de uma análise dos dados adquiridos pelos sistemas da empresa, coleta de dados *in loco*,

levantamento de curvas características e testes de aderência aplicados nos resultados obtidos pelo modelo computacional, será efetuada uma análise do comportamento do fluxo de veículos dentro do sistema no cenário atual e em cada cenário proposto.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No primeiro capítulo foi contextualizado uma abordagem geral sobre o problema no cenário de 2014. As justificativas e objetivos referentes ao tema que será defendido também foram apresentados.

O capítulo seguinte, aborda os trabalhos relacionados no âmbito de simulação de sistemas de tráfego rodoviário, filas de veículos, os retornos obtidos nos sistemas simulados e as influências de cada trabalho para a realização desta monografia.

A metodologia aborda no terceiro capítulo inclui o sustentáculo teórico e seus pressupostos. Os temas aludidos pela pesquisa envolvem: Pesquisa Operacional, Modelagem e Simulação e suas etapas de aplicação em modelos computacionais expondo o universo da pesquisa e a abordagem técnica utilizada para a elaboração do modelo.

A descrição detalhada do problema, o mapa dos fluxos do processo, as premissas adotadas para a seleção das amostras e as restrições do modelo estão abordadas no quarto capítulo.

O quinto capítulo versa a simulação e a análise dos resultados obtidos pelo modelo, relatando minuciosamente as particularidades de cada cenário proposto e as premissas para a seleção das amostras. A parte analítica do trabalho com o detalhamento descritivo do modelo desenvolvido, dos cenários analisados, das lógicas praticadas no modelo, a verificação e validação do modelo e a análise dos resultados obtidos estão detalhadas nesta seção.

As discussões referentes aos pontos fortes e as fraquezas dos cenários propostos, conclusões do trabalho e propostas para trabalhos futuros relacionados ao tema pautado estão inseridos no sexto e último capítulo.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo Prado, p.21 [40] a logística é uma “[...] área que temos observado uso crescente de simulação. ”, porém, foram encontradas dificuldades para identificar modelos computacionais logísticos desenvolvidos no software Arena com os principais pontos analisados neste trabalho que envolvem filas de caminhões, processos de pesagem, carregamento ou descarga de material, emissão de notas fiscais, pátios de espera e proposições de cenários futuros com modificações de leiaute. Em consequência disto, os trabalhos que envolvem o desenvolvimento no Arena e abordam mais de um dos itens relacionados, foram analisados conforme os parágrafos seguintes.

Kamrani et al. [25] analisaram o fluxo de veículos em um sistema de vias públicas que devido a problemas de sinalização, alguns motoristas percorriam um trajeto maior ou transcorriam o trajeto estudado com maior morosidade por receios de causarem acidentes. O modelo de um sistema ferroviário em Newcastle elaborado em Arena por Motraghi e Maricov [37] e o modelo computacional de Liu [30] influenciaram na escolha do software Arena para a modelagem o tipo de abordagem de investigação. Liu [30] aborda que a clareza na indicação de controle de tráfego influencia na tomada de decisões das pessoas e na fluidez do sistema. Portanto, os autores propuseram cenários visando maior fluidez, redução de acidentes e clareza nas sinalizações viárias, com modificações em todo o sistema do cruzamento. As melhorias implementadas em cada cenário do modelo computacional impactavam positivamente na fluidez e na redução de acidentes no transito local. O sistema *First In First Out* (FIFO) “[...] ocorre quando o primeiro a chegar a fila será o primeiro a ser atendido pelo recurso” afirma Freitas, p.43 [18]. Este sistema ocorre em todas as filas do modelo computacional destes autores.

A pesquisa de Constantino et al. [12] aborda a logística rodoviária de uma empresa do ramo madeireiro. A problemática trata dos gargalos no fluxo de veículos dentro do sistema. Há processos de atendimento de portaria, balanças de entrada e saída de veículos, processo de carregamento dos veículos, amarração e enlonamento de carga. Os autores relatam sobre as dificuldades de Seixas [48] em relação a coleta e

análise de dados devido as dificuldades de transporte e terrenos de carregamento desse tipo de material. O software Arena é utilizado pelo autor para modelar os processos e delinear propostas para melhorias futuras no sistema. A melhoria nos recursos de automatização de equipamentos, melhorias nas rotinas e comunicação entre equipes internas da empresa afim de evitar a entrada de veículos na empresa sem a carga estar pronta para carregamento e aumento de fluidez dos veículos.

As pesquisas de Spasovic et al. [51], abordaram o fluxo de chegada de carretas e a eficiência dos serviços prestados e indicaram melhorias futuras no porto de containers Newark em New Jersey, Nova Iorque, no âmbito rodoviário. O padrão de chegadas de veículos ocorre de acordo com as chegadas dos navios no porto. O modelo computacional dos autores inclui cenários futuros com mudanças de leiaute e priorização de fila para navios nomeados de forma a priorizar o atendimento devido a chegada próxima do navio, ou seja, implementar faixas dedicadas a navios próximos. A adequação de leiaute e escalas de turno modificadas nos cenários propostos foram influenciadas pelos estudos de Giuliano e O'Brien [19] apontou os impactos dos congestionamentos dos veículos na rodovia que se destinam aos portos de Los Angeles e Long Beach e as alterações de escalas de turno para diluir o fluxo de veículos.

No âmbito de movimentação e armazenagem, Al-Bazi e Emery [01] encontram dificuldades em um Centro de Distribuição (CD) localizado em Birmingham, no centro da Inglaterra. A chegada de veículos para descarregamento no armazém ocorria de forma aleatória excedendo a capacidade do armazém, invadindo as vias públicas e tornando-as passíveis de acidentes mesmo com separação do material antecipada e a expedição de produtos agendada previamente. O modelo computacional elaborado pelos autores propôs cenários e o que permitiu vários atendimentos simultâneos obteve o melhor desempenho.

Franco et al. [17] também apresentaram um trabalho sobre um CD, envolvendo os fluxos de processos rodoviários de recebimento de produtos, carregamento de veículos e emissão de notas fiscais, checagem veicular, de documentação e separação da carga, processos de carregamento, conferência e lacração de carga. O

maior gargalo do sistema ocorria na emissão de notas fiscais. Os cenários com melhorias futuras envolviam a implantação de um sistema ERP para acompanhar e controlar a entrada de pedidos de compra devido à falta de procedimentos adequados há divergências de pedidos resultando em morosidade no atendimento implantação de indicadores de desempenho referentes ao recebimento e emissão de notas fiscais. O sistema foi implantado e o modelo obteve reduções de 65% no tempo de emissão de notas fiscais.

A logística de movimentação, carregamento e pesagem de caminhões para o transporte de minérios foi apresentado por Andrade et al. [04]. O estudo abrange as problemáticas de fluidez e gargalos nos atendimentos de balanças. Os cenários propostos incluíram mudanças no leiaute atual, melhorias nos processos de pesagem e emissão de notas fiscais. Um dos cenários indicou a implantação de mais uma balança para e obteve os melhores resultados simulados.

O *Cross-docking* é um sistema de distribuição em que os produtos são transportados do fabricante ou de depósitos para um armazém intermediário que estoca os produtos temporariamente e os carrega posteriormente em um veículo para entrega no destino final, sendo uma pratica de roteamento de caminhões direta ou indiretamente define Arnaout et al [06] em sua pesquisa. O método é analisado neste estudo e os pedidos são gerados aleatoriamente através de três depósitos de expedição de produtos de cinco clientes de destino final. Gue [21] é citado pelos autores por adotar cenários de movimentações de material de acordo com cada tipo de veículo. Estas influências auxiliaram os autores a elaborar cenários que incluíam as análises de zero, dois ou quatro centros de *cross-docking* e notou-se que a utilização de caminhões de grande porte torna o sistema mais produtivo.

Os gargalos logísticos que ocorrem em uma indústria siderúrgica foram abordados por Zuting et al. [56]. Os autores relatam o tempo elevado de permanência de veículos dentro da planta e processos com tempos elevados de atendimento. Os autores citam trabalhos de Manson et al. [33] e Potter e Lalwani [38] que afirmam a importância de todos os setores ligados a cadeia de suprimentos utilizarem controles e sistemas interligados para obter ganhos significativos nas operações. Os cenários propostos

pelos autores indicaram que o aumento da padronização de serviços e modificações nos processos de estocagem, resultam em redução de retrabalhos, aumento de 30% na eficiência dos processos, redução de 65% nos tempos de despacho de produtos e aumento da capacidade diária de atendimentos em quase 67%.

Espinal et al. [16] analisaram a eficiência e o tempo de permanência de caminhões dentro do sistema de uma indústria de colchões de médio porte na cidade de Medellín. O estudo envolve armazenamento, carregamento e expedição dos produtos via modal rodoviário. O teste de aderência adotado foi o Kolmogorov-Smirnov com tolerância para hipótese nula de aderência da amostra com valor p de maior que 0,05, ou seja, 5%. O modelo segue o cenário atual de sistema FIFO de filas. O autor cita Potter et al. [39] em relação a adequação dos processos logísticos da cadeia de suprimentos sem aumentar os custos ou afetar a produtividade. As análises dos autores indicaram melhorias ao simular cenários com carretas de tamanhos variados e modificações nos processos de recebimento e despacho.

Um sistema de produção puxada de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar foi analisado por Rangel et al. [41]. Este método de produção, segundo Caxito [08], ocorre quando a demanda do processo atual é gerada pela necessidade do processo seguinte. Portanto, os autores constataram ao simularem dez cenários que, para um aumento de demanda de produção, serão necessárias melhorias futuras no processo de descarregamento dos caminhões a fim de possibilitar maior capacidade de descarga de matéria prima. Os autores utilizaram os preceitos de Maria [34] e Sánchez [43] que são similares aos aludidos por Andrade apud Lopes et al. [03] para a elaboração do modelo computacional. Estes três autores utilizam métodos de Law e Kelton [29], Banks [07] e Sargent [46] para fundamentar os passos para investigação e elaboração do modelo computacional.

As rotas de tratores tipo fora-de-estrada foram analisadas no modelo de Ervin e Harris [15]. O modelo foi elaborado conforme as metodologias de análise de Law e Kelton [28]. As mudanças sucedidas das regras de trânsito americanas impactaram negativamente nos resultados do modelo e possibilitou identificar falhas no lançamento dos horários de tarefas e serviços que os motoristas realizavam no

sistema e melhorias na deliberação de pedidos aos motoristas. Os cenários propostos avaliaram melhorias a serem implantadas neste tipo de lançamento e modificações nas escalas diárias de motoristas que resultaram em uma redução da taxa de utilização de recursos em quase 10% mais de 4% nos tempos de atendimento ao cliente e mais de 12% nos tempos de descarga.

2.1 Conclusões Parciais

Os processos relacionados no modelo apresentado por Constantino et al. [12] são mais enxutos, porém abordam atendimentos semelhantes aos da usina siderúrgica de Cubatão e os processos básicos para mapeamento de processos, coleta de dados *in loco*, levantamento de curvas características e norteamento para tomadas de decisões futuras seguem a mesma tendência.

O modelo computacional de Kamrani et al. [25] rege o sistema FIFO de filas. Este sistema é utilizado em grande parte dos processos da logística estudada da usina de Cubatão.

Os atendimentos simultâneos abordados no estudo da usina de Cubatão obtiveram influências de Al-Bazi e Emery [01] para ampliar os procedimentos para os veículos de escoamento de subprodutos e os postos de atendimento na Portaria 03.

Franco et al. [17] e Andrade et al. [04] enfatizam a importância da modernização de sistemas e os gargalos na emissão de notas fiscais, desta forma, a modernização do sistema das balanças é pautada no estudo da usina de Cubatão.

Ao analisarem o *cross-docking*, Arnaout et al [06] e Gue [21] concluíram que caminhões de maior porte obtém melhor aproveitamento. A tendência é de aumento da utilização destes veículos pela usina visando o despacho de produtos para Centros de Distribuição ou diretamente para um ou mais clientes com o mesmo veículo e a mesma viagem. A pesquisa sobre a Usina de Cubatão aborda o recebimento de veículos deste porte, porém, o procedimento de pesagem composta é realizado para

adequar o sistema de pesagem ao recebimento destes veículos. O sistema de *cross-docking* não será analisado na pesquisa da Usina de Cubatão.

Zuting et al. [56] apresentou as dificuldades dos diversos locais recebimento de matéria prima e expedição de material dentro de uma usina siderúrgica. Há semelhanças com a planta de Cubatão/SP devido as fábricas estarem em diferentes localizações dentro da planta impactando no tempo de permanência dos veículos dentro da usina. Kamrani et al. [25] observou em sua investigação que motoristas mais cautelosos dirigiam em baixa velocidade e percorriam trajetos maiores. Este fato ocorre na usina de Cubatão, mas foram considerados os tempos médios de trajetos para cada local.

Os processos para elaboração do modelo computacional adotados por Rangel et al. [41] Ervin e Harris [15] com adaptações das metodologias Law e Kelton [28] e [29], Banks [07] e Sargent [45] de influenciaram nos passos a serem tomados para a elaboração do modelo computacional da usina de Cubatão.

Os testes de aderência abordados por Espinal et al. [16] avaliam a confiabilidade das amostras de forma clara tornando-se uma das referências sobre quais testes a pesquisa da usina de Cubatão deveria adotar.

As problemáticas nos fluxos de veículos e gargalos em processos logísticos nos sistemas das pesquisas abordadas se assemelham aos processos da siderúrgica de Cubatão. Estes estudos abordam sistemas de balanças, filas de veículos, gargalos em processos de documentos fiscais e de ordens de carregamento ou descarga de material.

Os objetivos apontam para melhorias nos fluxos de veículos, redução de tempos de permanência dentro do sistema e reduções de custo, otimizados através da automatização dos processos e modificações de leiaute com cenários simulados em software Arena. Desta forma, os objetivos e as modificações no sistema da Usina de Cubatão seguem a mesma linha.

3. METODOLOGIA

A tomada de decisão é definida por Hammond et al. [23] como a atividade mais importante, arriscada e difícil na rotina de um executivo, e equívocos nestas ações podem arruinar um negócio e uma carreira, e em alguns casos, de forma irreversível. Dentro desta conjuntura, observa-se a importância de ferramentas que auxiliem os executivos nas tomadas de decisões.

A Pesquisa Operacional por Banks [07], consiste no desenvolvimento de métodos científicos com a finalidade de prever e comparar estratégias ou decisões alternativas.

Arenales et al. [05] relata que a programação matemática da Pesquisa Operacional trata problemas de decisão e através de modelos matemáticos visa representar o problema real.

3.1 Pesquisa Operacional

O surgimento da Pesquisa Operacional ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial por cientistas contratados para realizar estudos e auxiliar os militares a sanar problemas estratégicos e táticos, segundo Silva et al. [50].

A simulação para Science [47], “[...] é a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema através de modelos que imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado. ”

Este trabalho utiliza as ferramentas da Pesquisa Operacional no âmbito de modelagem e simulação para analisar e delinear propostas para tomadas de decisões futuras da empresa.

3.1.1 Modelagem e Simulação

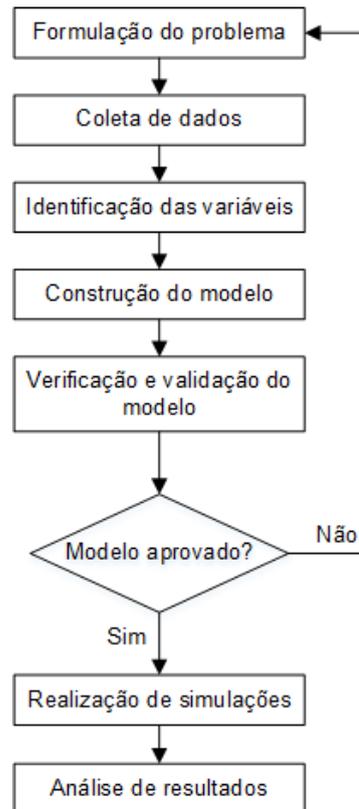
Normalmente, desenvolvem-se modelos de simulação objetivando e encaminhando para a solução de um dado problema. Freitas [18] relaciona que as razões mais comuns são: inexistência do sistema atual, experiências com o sistema atual dispendiosas ou experimentos com o sistema atual não apropriadas (exemplo, logística de serviços prestados por bombeiros).

Conforme Chwif e Medina, um modelo de simulação de sucesso é aquele que,

“[...] consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresenta quando submetido às mesmas condições de contorno.”
Chwif e Medina [10].

Os conceitos destas ferramentas determinam etapas para a fundamentação e elaboração do modelo conforme a figura:

Figura 2 - Etapas de modelagem e simulação



Fonte: Andrade apud Lopes [03]

Hillier e Lieberman [24] afirmam que a formulação do problema é de suma importância e afeta quão importante serão as conclusões sobre o estudo. Nesta fase, os responsáveis pelo processo e pelo estudo deverão abordar o problema de forma clara e coerente a fim de delinear os objetivos e caminhos alternativos para a execução do modelo, segundo Silva et al. [50]. Desta forma, os objetivos da simulação são definidos e a delimitação das áreas da empresa que serão abordadas aponta Melo et al. [36].

A coleta de dados é abordada por Lopes et al. [32] como uma fase que influencia diretamente na formulação do problema haja vista que possibilita definir o escopo do modelo, sua finalidade e o grau de confiabilidade dos resultados obtidos no final da simulação.

Segundo Freitas [18], esta fase inclui os processos de amostragem e coleta de dados, tratamento dos dados, identificação da distribuição de probabilidade, estimação dos parâmetros da distribuição e testes de aderência.

A amostragem e coleta de dados são definidos por Cwhif e Medina [10], como um conjunto de valores retirados da população de interesse que represente a população depurada estatisticamente, a fim de que a amostra obtida seja significativamente aceita ao comportamento do universo estudado.

Freitas [18] aponta que após a coleta dos dados que representem a população, o tratamento de dados deve ser iniciado para tornar acessível e compreensível todas as informações coletadas por meio de distribuições de frequência ou histogramas com variáveis agrupadas ou não agrupadas.

A identificação da distribuição de probabilidade consiste inserir os dados tratados em ferramentas de análise estatística para distinguir a expressão matemática que represente a variação dos dados, segundo Melo et al. [36].

A etapa de estimação de parâmetros da distribuição entrega medidas de posição e dispersão, tais como, média, mediana, moda, variância, entre outros, relaciona Silva [49].

No processo de verificação de dados pelos testes de aderência, Torman et al. [53] informam que a objetividade e hipótese de normalidade para diferentes distribuições e tamanho amostral são analisadas. Para confirmar a aderência gráfica, deve-se utilizar testes não-paramétricos que consideram a forma de distribuição em vez de utilizar os dados obtidos pela amostra afirmam Martínez-Espinosa et al. [35]. Para Altioek e Melamed [02], os dois testes de aderência não-paramétricos mais conhecidos para simulações de modelos matemáticos são o teste qui-quadrado e o teste de Kolmogorov-Smirkov.

Qui-quadrado, segundo Chwif e Medina [10], é um teste baseado no cálculo do desvio entre as frequências acumuladas observadas em cada classe e as frequências teóricas do modelo nas mesmas classes. Porém, este teste se torna satisfatório desde que todas as classes das frequências sejam maiores ou iguais a cinco.

Kolmogorov-Smirnov (K-S) é um teste de comparação entre a função da distribuição acumulada e a função empírica obtida pelos dados da amostra. O resultado do teste é uma estatística do maior valor absoluto entre a diferença destas curvas, conforme a definição de Ryan [42].

O resultado final de qualquer teste estatístico é chamado de valor de p (ou *p-value*). Whitley e Ball [55] citam que o valor de p é a significância observada entre os valores da amostra e os valores obtidos pela função da distribuição. A probabilidade p pode assumir valores entre 0 e 1 e valores aproximados de 1 indicam funções de distribuição consistentes contra hipóteses de rejeição menciona Kelton et al.[26]. Quando o valor de significância p resultar entre 0,05 e 0,01, indica a evidência para rejeitar a hipótese de aderência afirmam Chwif e Medina [10].

No processo de identificação das variáveis, Lopes et al. [32] indicam que, os recursos físicos, humanos e técnicos, as medidas de eficiência admitidos, os fatores a serem variados, as relações entre as variáveis, as condições e restrições do sistema são levantadas e definidas.

Freitas [18] relata que, após as análises e diagnósticos de todos os levantamentos abordados, a construção do modelo é o próximo passo a ser realizado. Esta etapa envolve a codificação para uma linguagem de simulação apropriada. Para Banks [07], o modelo deve ser suficientemente detalhado para conclusões válidas e ser desenhado sobre o sistema real, abstraindo as características essenciais do problema, selecionando e modificando pressupostos básicos.

Verificar e validar o modelo são os próximos passos do processo de modelagem. A verificação consiste em assegurar que o modelo de simulação está correto em relação a situação real, conforme Choi e Kang [09]. Consiste em aferir e remover erros de programação do modelo computacional afirmam Chwif e Medina [10].

A validação, segundo Law, p.24 [27], “[...] é o processo de determinar se um modelo de simulação é uma representante de forma precisa do sistema para atender aos objetivos específicos do estudo”. Prado [40] informa que esta etapa deve ser realizada

diversas vezes com o acompanhamento do cliente/usuário durante o desenvolvimento do modelo para participar da análise e validação dos resultados.

Após a aprovação do modelo, Lopes [31] cita que é necessário verificar se os objetivos serão atendidos através de testes de simulação reproduzindo a situação atual e configurando cenários com alterações propostas no estudo ou alterações do sistema real no futuro.

A análise dos resultados ocorre após as simulações e Freitas [18] discorre que, a geração dos dados de saída do modelo e possibilitam:

- Realizar análises de sensibilidade;
- Traçar inferências sobre os resultados alcançados;
- Verificar se as replicações do modelo estão precisas estatisticamente;
- Comparar cenários e identificar as melhores soluções.

Este trabalho segue especificamente o método passo-a-passo para a investigação e elaboração do modelo computacional adotado por Andrade apud Lopes et al. [03] que adaptou as metodologias de Law e Kelton [29], Banks [07] e Sargent [46] conforme a Figura 2.

A formulação do problema iniciou-se com as problemáticas da pesagem composta e tempos de permanência elevados e foi ampliado conforme as necessidades da empresa.

A coleta de dados foi efetuada nos bancos de dados da empresa e *in loco* e não foram encontradas dificuldades para obtenção dos dados.

A identificação das variáveis e os testes de aderência delimitaram os principais processos a serem analisados e a confiabilidade das amostras. O teste de qui-quadrado não foi utilizado para atestar as amostras porque necessita que todas as classes das frequências sejam maiores ou iguais a cinco.

Os testes de Kolmogorov-Smirkov (K-S) e *p-value* correspondente foram adotados para firmar a aderência das amostras. Chwif e Medina [10] indicam que o *p-value* maior ou igual que 0,1 a evidência é fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência. As funções características analisadas neste estudo estão com *p-value* maiores que 0,1.

O erro quadrático médio amostral não abordado em todos os trabalhos acima citados avalia a diferença entre os resultados da função característica e a amostra conforme Guo [22]. Quanto menor este valor, melhor o ajuste, afirma Freitas [18]. A maior diferença obtida nas análises deste erro foi de 8,4% e em maioria estabeleceram-se abaixo dos 4%.

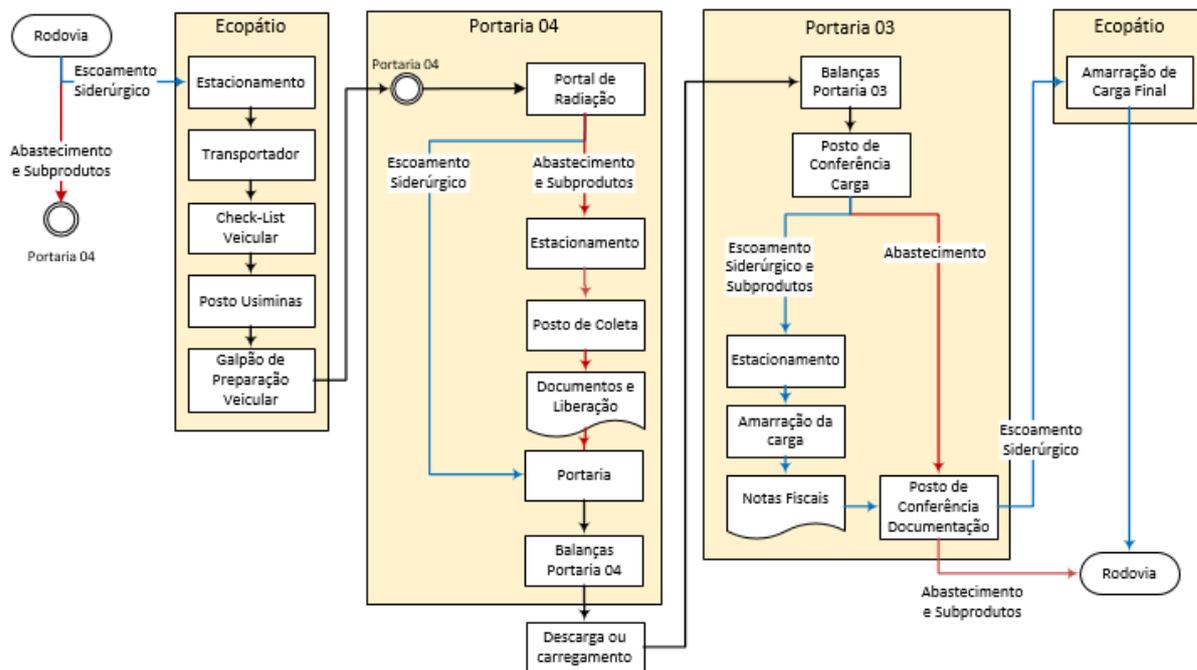
Após a verificação e validação do modelo com os testes de aderência e afirmação das áreas envolvidas, os cenários propostos foram simulados e as análises obtidas pelas saídas do modelo.

4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo descreve o problema e o fluxo dos processos no cenário atual. As particularidades das portarias e do Ecopátio são evidenciadas e em seguida, a abordagem da coleta de dados e abrangência do modelo são relacionadas para delimitar o escopo deste trabalho.

Os atendimentos estão divididos em quatro áreas de operações distintas: Ecopátio, Portaria 04, Áreas de Embarque/Desembarque e Portaria 03. Cada portaria contém duas balanças.

Figura 3 - Fluxo de processos da logística interna

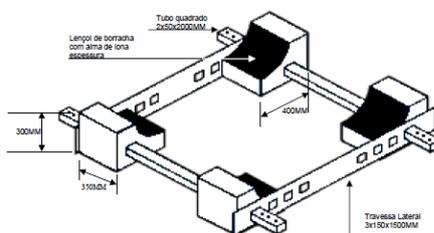


Ecopátio

Os veículos de escoamento de produtos siderúrgicos seguem primeiramente ao Ecopátio para coletar o Documento de Transporte de Escoamento (DTE) no transportador, disponibilizar o veículo para checagem veicular e são atendidos no Posto da Usiminas para serem inseridos no sistema de Fila Virtual da área de embarque do material. Em seguida, o veículo é dirigido até o galpão de preparação

veicular para a retirada das tampas laterais da carreta e arrumação de berços metálicos para acomodação de bobinas.

Figura 4 - Berço metálico



Fonte: Conselho Nacional de Trânsito [11]

Após a preparação inicial, os caminhões retornam a área reservada do Ecopátio e aguardam a liberação da área de embarque para seguir até a Usina através da Fila Virtual do sistema ERP que utiliza o método de produção puxada.

Vale ressaltar que o veículo necessita seguir até o Ecopátio duas vezes. Uma antes de seguir para a Usina e a segunda ao sair da Usina carregado para a preparação final da carga. Esta etapa envolve ajuste de cintamento do material, enlonamento superficial e amarração com cordas, reposicionamento das tampas e enlonamento da carreta.

Portaria 04

Após a chegada do veículo de abastecimento de matéria-prima, material de almoxarifado, prestadores de serviços, escoamento de produtos siderúrgicos ou subprodutos, o mesmo entra em uma fila única no Portal de Radiação da Portaria 04.

Abastecimento de matéria-prima e material de almoxarifado, prestadores de serviços e escoamento de subprodutos

Na fila, o motorista seleciona a faixa de um dos portais de radiação e segue para o pátio de estacionamento da Portaria 04. Se for necessário emitir Documento de Transporte de Abastecimento (DTA) ou de escoamento de Subprodutos, o motorista

estaciona no pátio e caminha até os guichês do Posto de Coleta de Notas Fiscais e crachá. Após a emissão, o motorista aguarda autorização para seguir com o veículo para portaria de entrada. Nesta portaria, os vigilantes conferem equipamentos de proteção individual (EPI's), documentos do motorista, do veículo e da carga, emitem o crachá caso o motorista não tenha e liberam a cancela de entrada. Todos os veículos são atendidos em uma das duas vias e seguem para pesagem nas Balanças e posteriormente para a área de descarga.

Escoamento de produtos siderúrgicos

Após chegar a Usina, o motorista seleciona a faixa de um dos portais de radiação e segue para a portaria de entrada. Em seguida, o veículo segue para pesagem e para a área de carregamento.

Balanças

Atualmente, o motorista posiciona o veículo na plataforma da balança, desliga o caminhão, desce e se apresenta no guichê de atendimento. O vigilante confere o posicionamento visualmente, acessa o documento de transporte no sistema e registra a pesagem. Se o veículo for menor que os 21 metros da plataforma, o peso do veículo é efetivado no sistema e em caso negativo, é necessário efetuar a pesagem composta.

As balanças automatizadas contém sensores de localização para verificar se o veículo está posicionado corretamente, semáforos, cancelas (bloqueio físico de acesso), painéis indicativos e leitores de dados. Desta forma, basta posicionar o veículo, apresentar o código de barras no leitor e a pesagem é efetuada, em seguida, a cancela é liberada.

Ao automatizar e adequar o tamanho de apenas uma balança em cada portaria, pode ocorrer uma diferença de peso entre balanças devido os veículos acessarem as balanças em fila e o motorista escolher a balança de pesagem. A facilidade de uso o motorista faz o motorista escolher a balança automatizada porque não precisa desligar

o veículo, descer, se apresentar no guichê de atendimento e aguardar o vigilante efetivar a pesagem. Portanto, se o motorista acessar uma balança automatizada e uma balança do cenário atual, haverá a diferença do peso do motorista. Se ocorrer, os postos necessitam do efetivo em cada guichê de pesagem por continuar com uma balança atual em cada portaria porque há balanças do sistema atual em operação.

Áreas de Carregamento/Descarregamento

Após os procedimentos de carregamento/descarregamento efetuados, o veículo segue para a Portaria 03. Se o veículo necessita de pesagens por lote, as mesmas são efetuadas na Portaria 04 e após o término total da descarga, o veículo segue para a Portaria 03.

Portaria 03

O veículo chega a Portaria 03 e segue para a fila de balança ou via lateral. Se o veículo não necessita de pesagem, ou seja, veículos de prestadores de veículos ou que já efetuou repesagem na Portaria 04, o mesmo segue pela via lateral, passa pelo processo de inspeção visual, contorna o pátio, passa pelo processo de inspeção de documentação e/ou ferramental, entrega o crachá na cancela de saída e deixa a Usina.

Abastecimento de matéria-prima e material de almoxarifado

Após a efetivação da pesagem do veículo, o mesmo segue para adentrar ao pátio. Após o processo de inspeção visual, contorna as vagas, segue para a inspeção de documentação, entrega o crachá na cancela de saída e inicia viagem.

Escoamento de produtos siderúrgicos e subprodutos

Após a efetivação da pesagem do veículo, o mesmo segue para adentrar ao pátio. A inspeção da carga é realizada na entrada e em seguida, o motorista estaciona e efetua a preparação da carreta para poder trafegar na rodovia, caminha para coletar as notas fiscais (NFs) no setor de Faturamento, retorna ao veículo, dirige-se para a inspeção de documentação, entrega o crachá na cancela e inicia viagem. Os veículos de escoamento de produtos siderúrgicos devem retornar ao Ecopátio para a preparação final do veículo e para posteriormente seguir viagem.

A preparação da carreta no pátio da Usina envolve cintamento do material, enlonamento e amarração com cordas.

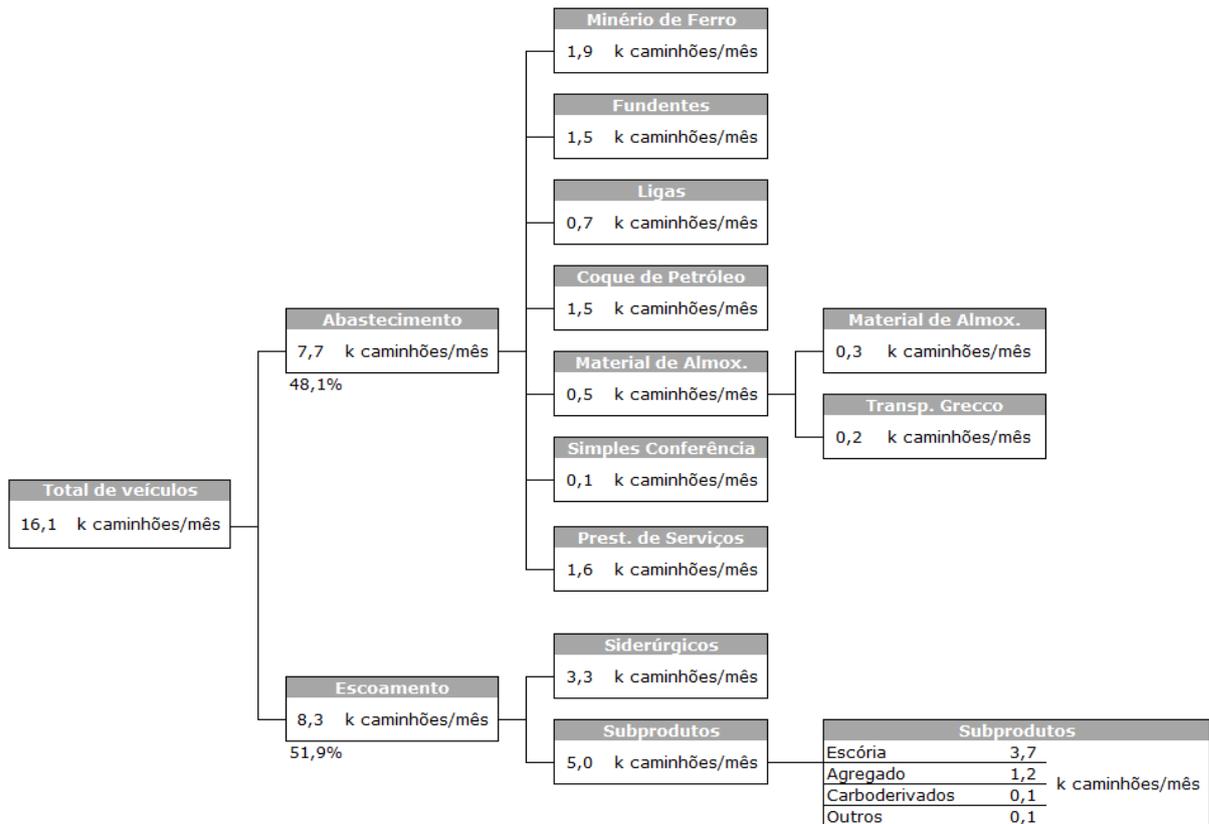
4.1 Coleta de dados

Os tempos de chegadas de veículos, trajetos e de processos das áreas de embarque utilizados pelo modelo foram coletados nas bases de dados do sistema SAP/ERP, BW e Portal da Automação da empresa referentes aos anos de 2014 e 2015.

O ritmo de produção base está referenciado ao período de janeiro a abril de 2014, sendo 3,3 Mt aço/ano.

O modelo abrange 12 tipos de materiais a serem embarcados/desembarcados. Para cada material é gerada uma chegada de veículo conforme a distribuição estatística determinada a cada dia da semana.

Figura 5 - Fluxo Mensal de Abastecimento e Escoamento Rodoviário



Os tempos de atendimento das portarias, referentes aos setores de faturamento e vigilância foram coletados *in loco* pela Engenharia Industrial e validados pelas Gerências de Segurança Empresarial e de Faturamento.

Períodos de saída de ônibus fretados foram fornecidos pela Gerência de Segurança Empresarial. A saída destes veículos impacta no fluxo da Portaria 03 que permanece com a saída fechada durante este período.

As restrições de agendamentos de entrada, restrições de horários de recebimento de veículos e carregamento de Subprodutos foram fornecidos pela Gerência de Faturamento.

Dados relevantes

Os dados de entrada do modelo foram inseridos na programação de acordo com o ritmo de produção.

As funções e as curvas de distribuição características foram obtidas através da inserção dos dados de cada amostra chegada de veículos no software *Input Analyser* que é disponibilizado juntamente com o software *Arena*. O *Input Analyser* disponibiliza uma ferramenta chamada *Fit All* que testa todas as funções de distribuição e entrega a mais aderente, afirma Freitas [18].

Para que seja possível o registro dos dados de saída do modelo foi construído uma interface em Excel 2013. Este arquivo tem a finalidade de registrar os dados de saída do modelo (variáveis como tempo entre chegadas e quantidade de veículos em determinado local, entre outras). Para facilitar a compreensão dos dados simulados, estes são totalizados neste mesmo arquivo Excel 2013.

Abrangência do modelo

O modelo considera os tempos desde a chegada da Rodovia no Portal de Radiação até a saída pela Portaria 03. O estudo não abordou os veículos após saírem da Usina.

Itens não considerados no modelo

O modelo não considera a metodologia operacional, bem como os dispositivos utilizados no Ecopátio, e nas áreas de embarque ou desembarque da Usina. A influência destes parâmetros deve ser considerada na movimentação de cada tipo de material embarcado/desembarcado;

O modelo não considera falhas e quedas de sistema, paradas para manutenção de equipamentos e eventos externos a Usina (congestionamentos, manifestações na rodovia, etc.).

O programa de simulação adotado para a confecção do modelo computacional foi o Rockwell Arena 14. Segundo Choi e Kang [09], o software Arena é um dos softwares de linguagem de simulação mais populares nas universidades e há vários livros disponíveis no mercado.

5. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

O software de simulação de sistemas adotado é o Rockwell Arena 14[®], por ser uma das ferramentas de simulação computacional de alto nível mais utilizada no mundo por empresas e universidades, conforme Prado [40].

Além de simular o sistema atual, os cenários do modelo devem abordar configurações com balanças automatizadas e a transferência o galpão que está no Ecopátio para atendimento de preparação das carretas na Portaria 03. Diante dos fatos, os cenários propostos foram:

Tabela 1 - Cenários propostos

Cenário	Quantidade de Balanças automatizadas		Galpão na Portaria 03
	Portaria 04	Portaria 03	
Cenário 1	0	0	
Cenário 2	1	1	Não
Cenário 3	2	2	
Cenário 4	0	0	
Cenário 5	1	1	Sim
Cenário 6	2	2	

O Cenário 1 aborda o cenário atual, ou seja, simular o ambiente real sem modificações.

Análise da Automatização das Balanças

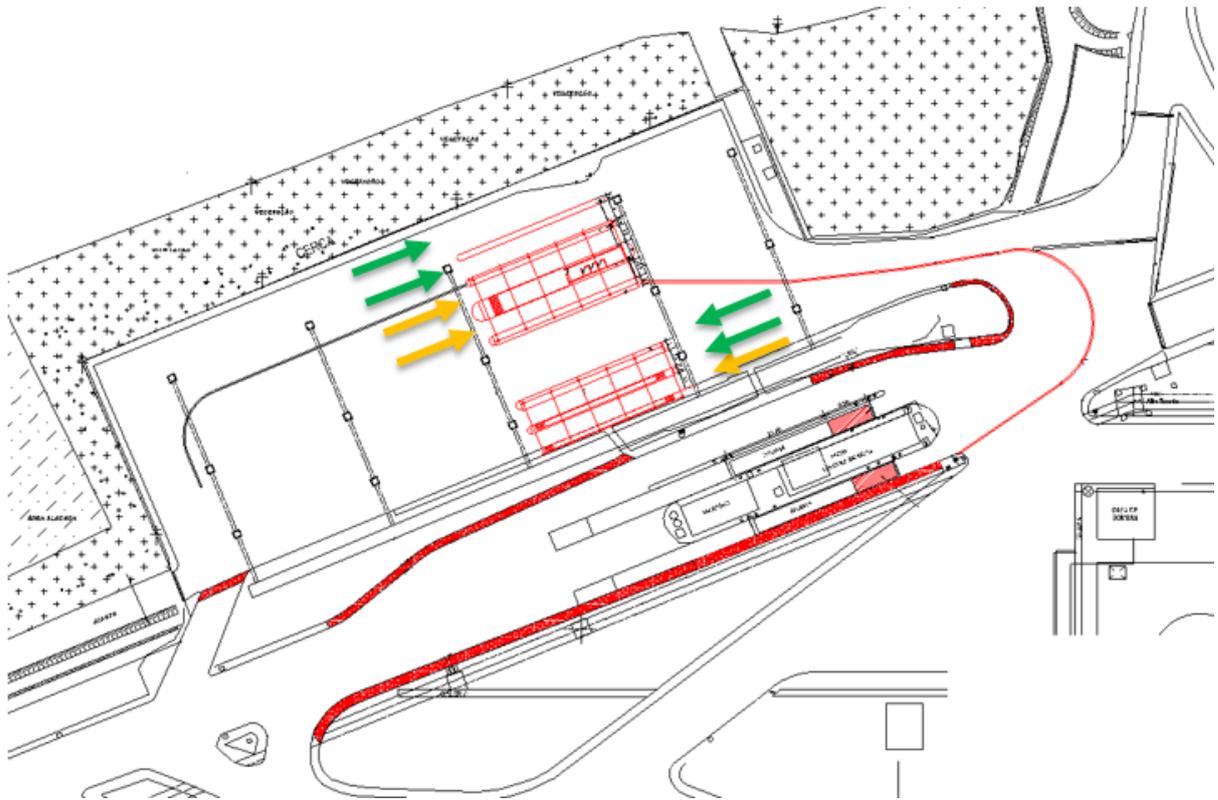
Para analisar o impacto das balanças no tempo de permanência dos veículos e na fila das balanças das portarias, foram propostos dois cenários envolvendo a automação e modernização parcial ou total das balanças.

Análise da Transferência do Galpão

O desempenho do manejo do galpão para a Portaria 03 com a mão-de-obra especializada é avaliado nos cenários propostos, ampliando o atendimento de preparação de carretas para os veículos de subprodutos e padronizando o processo.

A instalação desta estrutura modifica o leiaute atual de saída com apenas uma via de inspeção de carga, uma via de inspeção de notas fiscais na saída da Usina e uma cancela para entrega de crachá. A instalação do galpão inclui a ampliação dos atendimentos de inspeção de carga, inspeção de documentação e cancelas para entrega do crachá na cancela. O atendimento na inspeção de carga é ampliado para três vias de atendimento incluindo uma via para escoamento de produtos e duas vias para veículos vazios de abastecimento e prestadores de serviços. As vias de saída ampliadas incluem duas vias inspeção de documentação e ferramental de veículos de abastecimento e prestadores de serviços e duas vias de amarração final e inspeção de documentação destinadas a veículos de escoamento. Cada via de inspeção de documentação inclui uma cancela para entrega do crachá e liberação da saída da Usina.

Figura 6 - Vista Superior da Portaria 03 com ampliação de atendimentos



Fonte: Elaborado pelo autor e pela Engenharia da empresa

Vias em verde indicam acessos de abastecimento e prestadores de serviços e vias de laranja indicam acessos de veículos de escoamento de produtos.

5.1 Identificação das Variáveis

Os parâmetros e limitações das variáveis de entrada para a elaboração do modelo serão expostos neste capítulo.

O período de simulação adotado foi de um mês contendo sete dias por semana e vinte e quatro horas diárias pela análise dos dados históricos de 2014 a 2015 e determinação dos parâmetros de entrada do modelo.

Para cada tipo de produto a ser embarcado/desembarcado, são necessários os seguintes parâmetros de entrada: Intervalo entre chegadas, intervalos de

agendamento e intervalos de restrição de recebimento de veículos, tempos de trajeto, tempos de atendimento, alocação de recursos em cada processo e atributos e variáveis de rota.

A partir dos dados coletados dos bancos de dados, dos tempos coletados *in loco*, das informações adquiridas e validadas com os gestores das áreas, foram tabulados os dados e calculados os seguintes parâmetros de entrada do modelo.

Conforme o Apêndice A, foram analisadas cinquenta e sete amostras referentes a cada dia da semana para cada tipo de material. As análises obtidas através do programa *Input Analyser*, ferramenta auxiliar do software *Arena* para análise de amostras, foi possível verificar os dados das curvas, funções características, resultados dos testes de Kolmogorov-Smirkov e dados do histograma das amostras analisadas.

Os testes de Kolmogorov-Smirkov conforme o Apêndice A obtiveram resultados do valor p acima de 0,1 ou 10%, desta forma, não há evidências contra a hipótese de aderência, segundo Chwif e Medina [10].

Alguns materiais contêm particularidades que foram inseridas no modelo referentes a restrições de recebimento ou quantidade cadenciada de carretas a serem liberadas para descarga ou carregamento. As restrições de recebimento e cadenciamento de foram inseridas no modelo conforme indicado pela empresa. O range das horas diárias foi inserido porque há tipos de materiais que a janela de recebimento ocorre apenas na madrugada, período da manhã, período noturno ou horário administrativo.

Os tempos médios de cadenciamento de chegadas destes veículos e tempos de atendimento dos processos podem ser conferidos no Apêndice C.

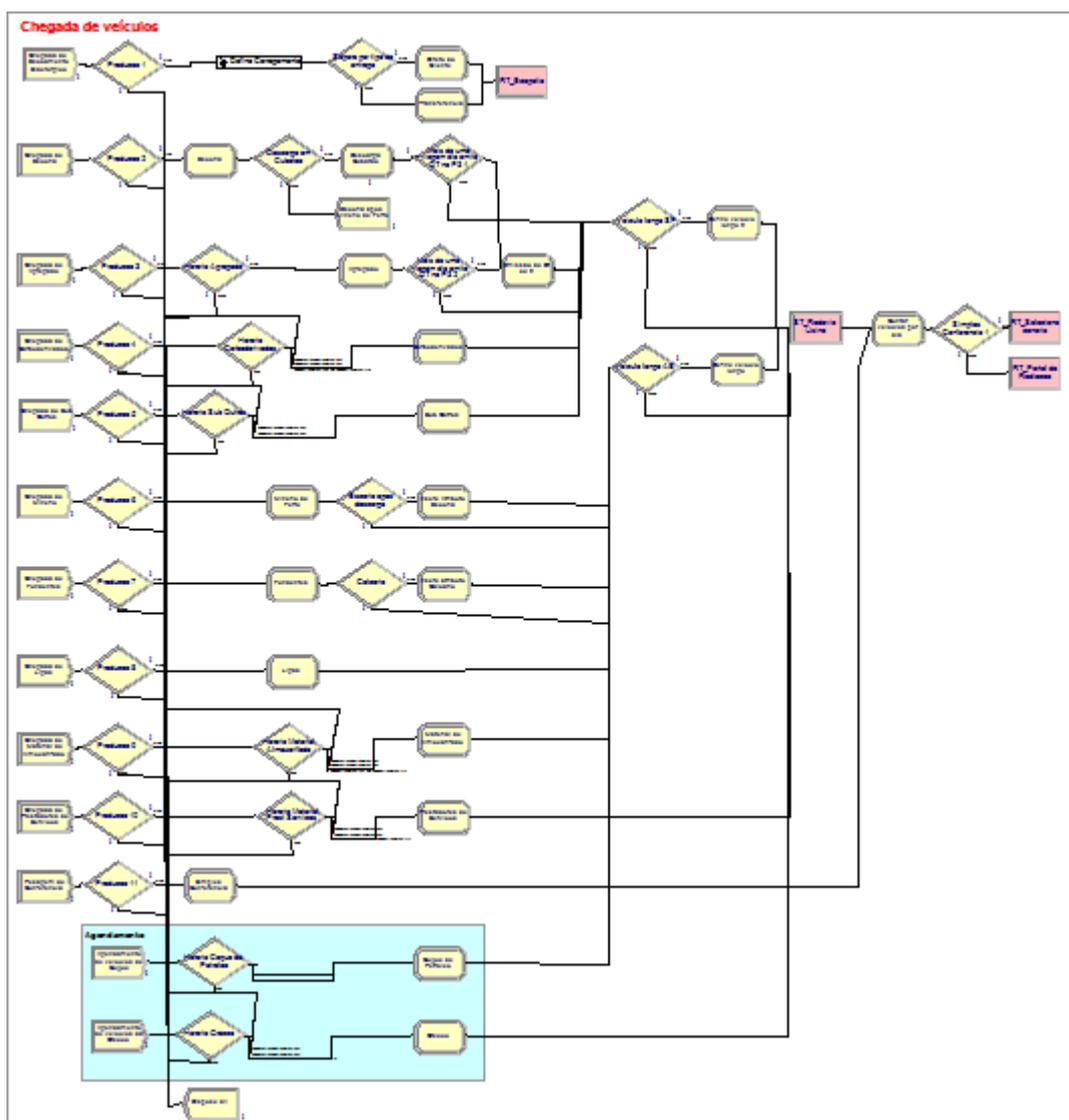
5.2 Construção do Modelo

O modelo foi confeccionado em blocos para separar as chegadas de veículos, portaria, Ecopátio e diferenciar cenários.

Bloco de chegada de veículos

A alimentação de todos os veículos que circulam pelos processos deriva deste bloco. Ele possui módulos para as funções de criação de entidades de veículos separadas por tipo de material, fatores de produção, restrição de horários de acesso, marcação de atributos referentes as particularidades de cada entidade e indicadores de rotas.

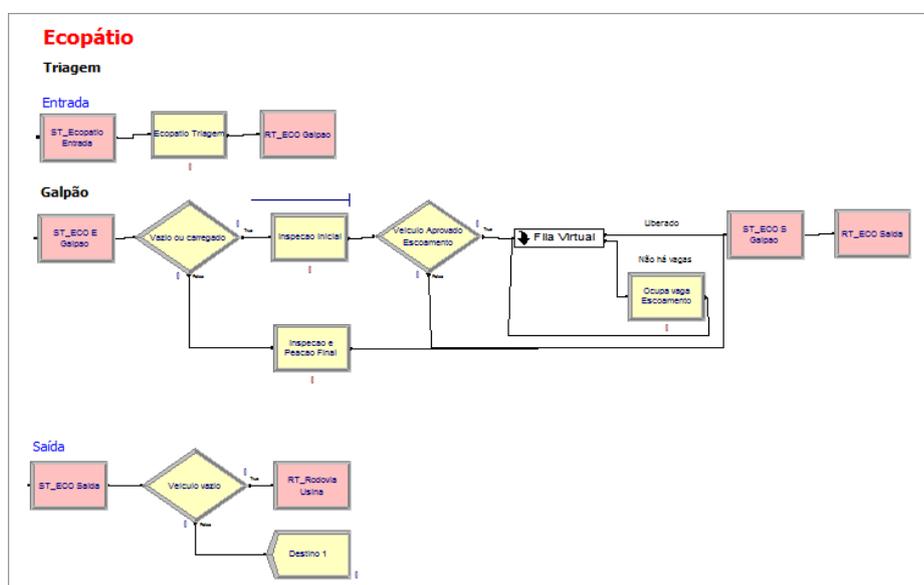
Figura 7 - Bloco de chegada de veículos



Bloco de atendimento do Ecopátio

Conforme descrito anteriormente, os veículos de produtos siderúrgicos passam pelo Ecopátio para os procedimentos iniciais e finais antes de seguirem viagem. Estes procedimentos modelados possuem os módulos de pontos de localização, processos de triagem e inspeção veicular, subprocessos de Fila Virtual das áreas de carregamento (verifica qual o local de carregamento e insere na fila do local) e indicadores de rotas.

Figura 8 - Bloco de atendimento do Ecopátio



Bloco de atendimento e animação da Portaria 04

Os atendimentos da Portaria 04 estão delineados por sub-blocos de processo para auxiliar no entendimento da programação. Cada sub-bloco contém pontos de localização e indicadores de rotas para a animação dos cenários. Estes sub-blocos estão divididos em:

- 1) Triagem do Portal de Radiação;
- 2) Triagem de veículos da Usiminas e prestadores de serviços;

- 3) Seleção de via de acesso ao estacionamento ou a portaria de entrada;
- 4) Estacionar no pátio, coletar Documento de Transporte e aguardar chamada para entrar na Usina;
- 5) Programação do atendimento da portaria de entrada, envolvendo conferência de EPI's e documentos, emissão de crachá e liberação de acesso;
- 6) Pesagem de veículos;
- 7) Lógica de retorno de veículos de material de almoxarifado que necessitam de pesagem em lotes.

Figura 9 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 04

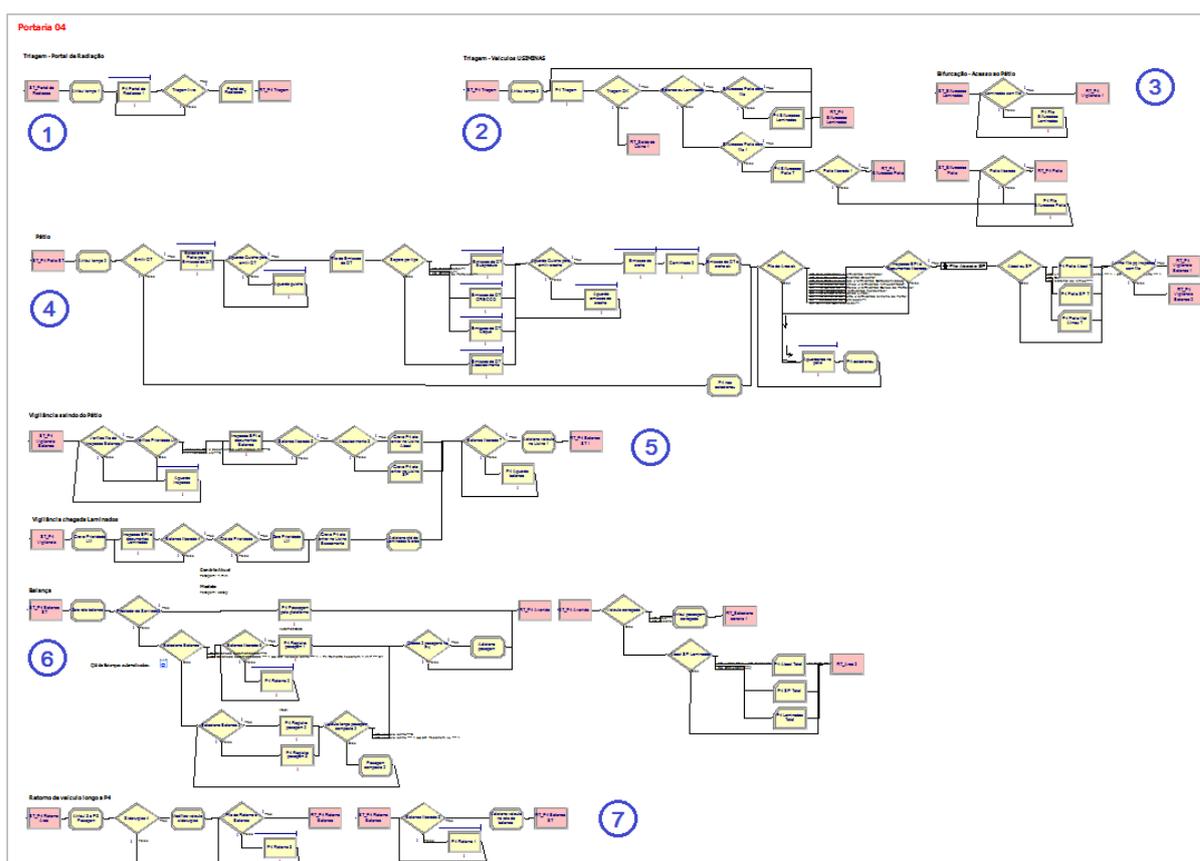
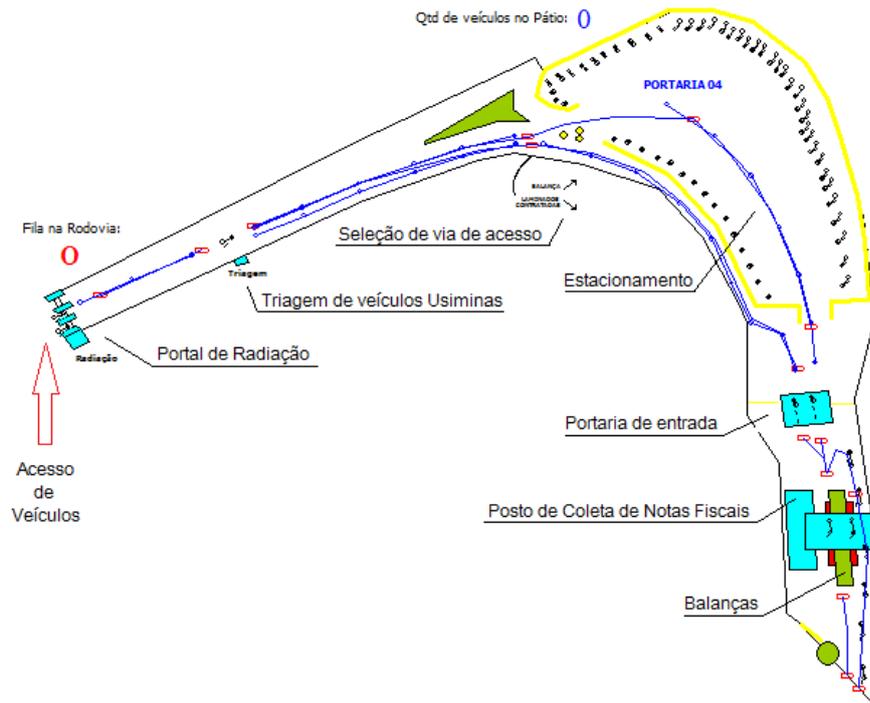


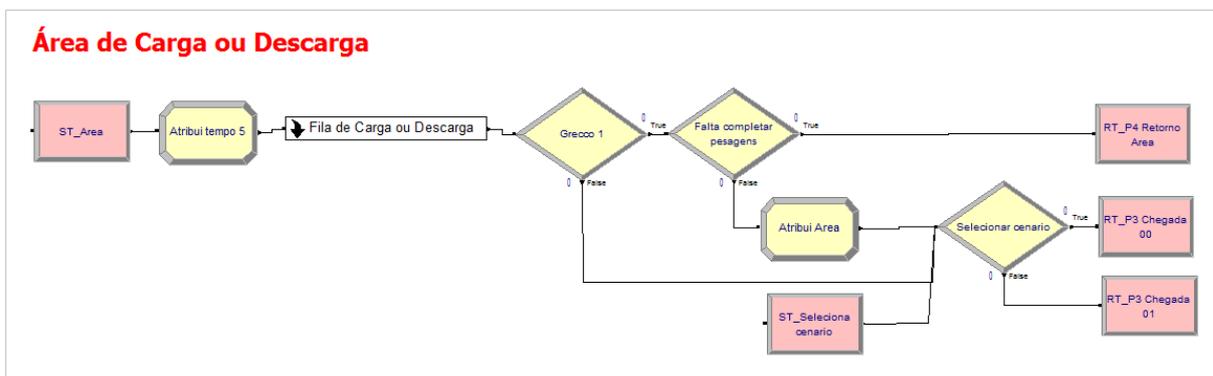
Figura 10 - Animação da vista superior da Portaria 04



Bloco de atendimento e animação das áreas de carregamento ou descarregamento de material

Este bloco contém os atendimentos das áreas de recebimento de veículos dentro da Usina. O submodelo de fila de carga e descarga insere os veículos na Fila Virtual do sistema e contém os processos de carregamento ou descarregamento de material. Em seguida, é verificado qual cenário da Portaria 03 está acionado e os módulos de rota que enviam os veículos para a portaria.

Figura 11 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 04



O quadro de veículos nas áreas de carregamento ou descarga está disponível para verificar a quantidade de veículos em cada local e por tipo de material.

Figura 12 - Quadro de veículos nas áreas internas da Usina

Qtd de veículos em descarga ou carregamento			
DPA 1	0	Pátio de Escória	0
DPA 2	0	Harsco	0
Local 3	0	Carboquímicos	0
Local 4	0	Outros	0
Local 5	0	Total Subproduto:	0
Local 7	0		
Local 9	0	Almoxarifado	0
Local 11	0	Coque de Petróleo	0
Local 81	0	Aciaria - Ligas	0
Local 82	0	Desc 03 e Sinter	0
Pátio CG 1	0	Silo A2A	0
Pátio CG 2	0	Grecco	0
Pátio CG 3	0	Prest de Serviços	0
Pátio CG 4	0	Total Abastecimento:	0
Pátio CG 5	0		
Pátio CG 6	0	TOTAL	
		Veículos Externos:	0
Pátio Ext Placas	0		
Local 17	0		
Local 26	0		
Total Laminados:	0		

A portaria 03 necessita de um nível maior de programação devido a logística interna do pátio ser afetada com a instalação do galpão para a preparação de carretas referentes aos cenários 4, 5 e 6. Portanto, a programação foi dividida em Portaria 03 com e sem galpão.

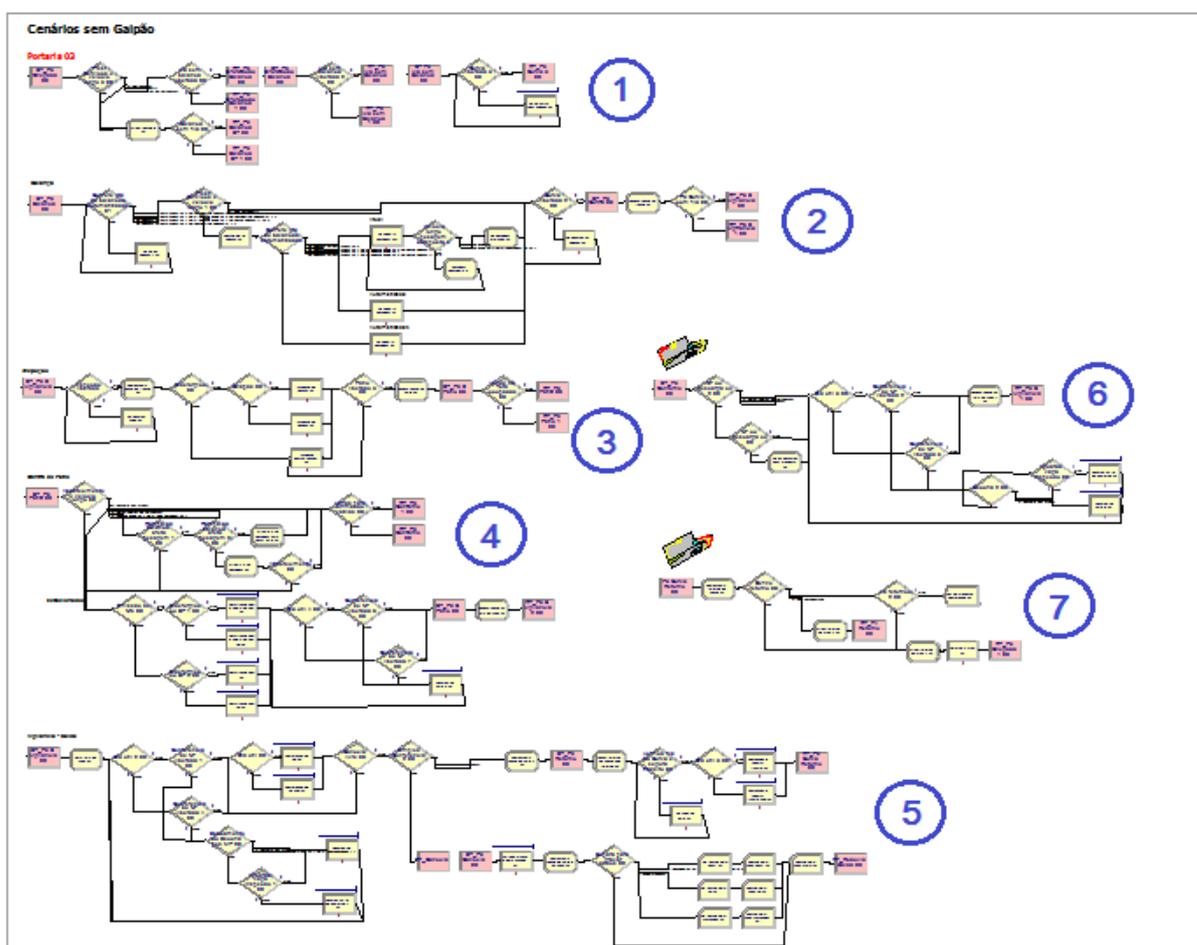
Blocos de atendimento e animação da Portaria 03 sem galpão

A programação está dividida em sub-blocos conforme a seguir:

- 1) Chegada do veículo na portaria e indicação para qual rota o veículo deve seguir;
- 2) Lógica das balanças dos cenários 0 a 3 e indicadores de rotas para entrar no pátio;

- 3) Inspeção visual de veículos vazios ou conferência de material embarcado na carreta;
- 4) Programação das vagas dentro do pátio, preparação dos veículos de subprodutos e coleta de notas fiscais;
- 5) Processos de atendimento do posto de vigilantes no atendimento de saída da Usina e cancela para coleta de crachás;
- 6) Lógica de contorno de veículos que não necessitam estacionar no pátio, apenas se direcionarem a portaria de saída;
- 7) Programação de veículos que retornam para dentro da Usina por se tratar de pesagens de simples conferência.

Figura 13 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 03 sem galpão



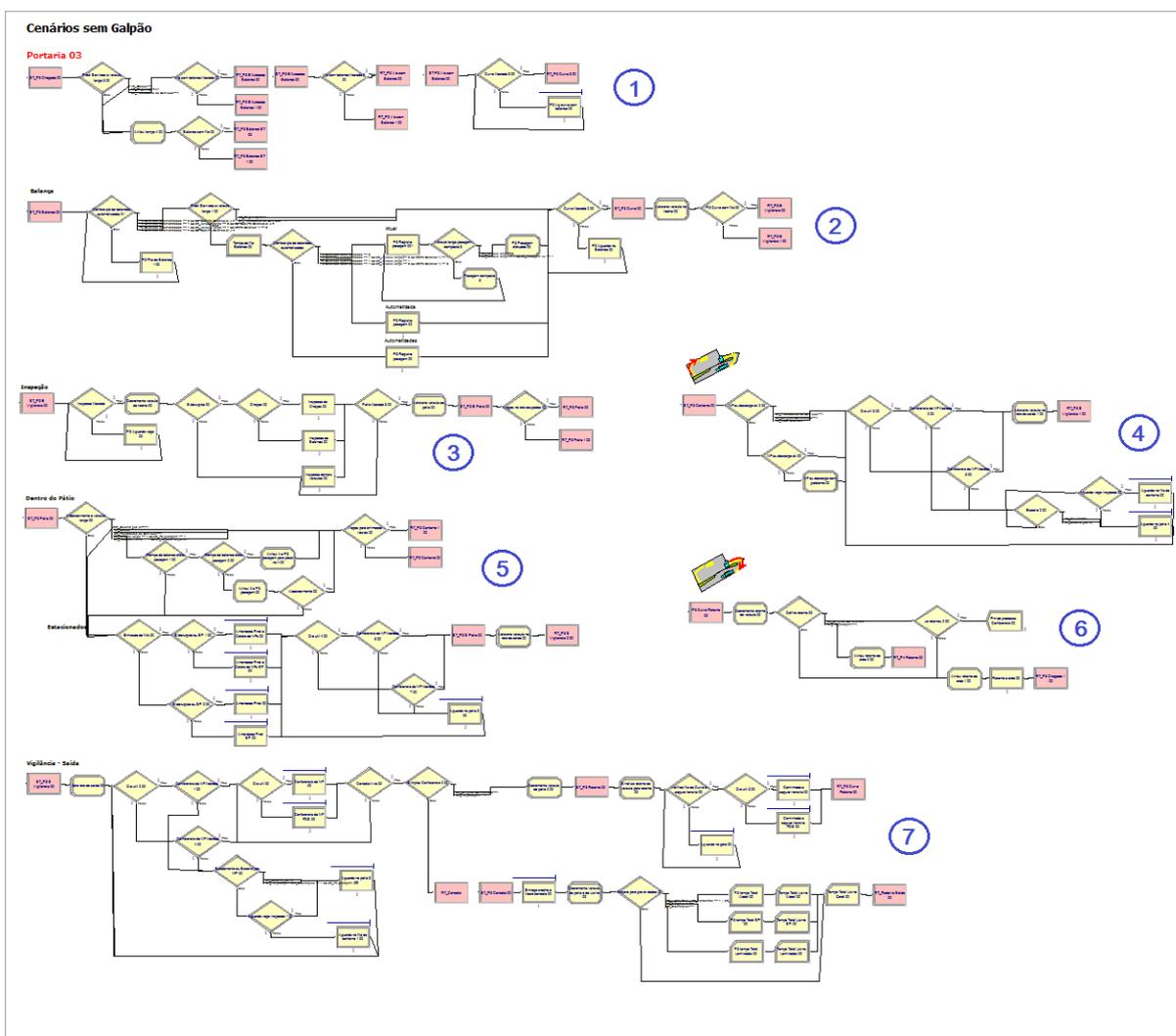
A programação dos módulos da Portaria 3 rege os mesmos princípios da Portaria 04, porém, devido a seleção de cenários afetar os processos do pátio, principalmente nos cenários 4, 5 e 6, a portaria foi dividida em dois blocos.

Blocos de atendimento e animação da Portaria 03 sem galpão

Este bloco aplica os cenários 1, 2 e 3. A programação está subdividida em pequenos blocos para auxiliar no entendimento. A seguir, a descrição de cada sub-bloco.

- 1) Chegada dos veículos à portaria e seleção de via de acesso de balanças ou direto ao pátio;
- 2) Programação da fila de pesagem e balanças;
- 3) Fila de inspeção visual e de carga para permitir acesso ao pátio e indicando se o veículo deve estacionar, retornar para a Usina ou seguir pelo contorno do pátio;
- 4) Programação de fila e contorno do pátio para saída da Usina;
- 5) Processos de seleção de vagas de estacionamento, amarração de carga e coleta de notas fiscais no setor de Faturamento;
- 6) Módulos com a programação do processo de parar o trânsito para os veículos que retornam a Usina acessarem a via;
- 7) Posto de atendimento de veículos na portaria de saída da empresa, abordando os processos de conferência de notas fiscais e/ou ferramental, entrega do crachá e liberação de cancela para saída da Usina.

Figura 14 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 03 sem galpão



Blocos de atendimento e animação da Portaria 03 com galpão

Conforme proferido anteriormente, o galpão transferido do Ecopátio para a Usina, possibilita a extensão do atendimento de preparação das carretas aos subprodutos. Este aumento de demanda de atendimentos foi abordado na programação. A seguir, os sub-blocos dos atendimentos da Portaria 03 com galpão.

- 1) Chegada dos veículos à portaria e seleção de via de acesso de balanças ou direto ao pátio;
- 2) Programação da fila de pesagem e balanças;

- 3) Fila de inspeção visual e de carga para permitir acesso ao pátio e indicando se o veículo deve estacionar, retornar para a Usina ou seguir pelo contorno do pátio;
- 4) Atendimento aos veículos de abastecimento, material de almoxarifado, prestadores de serviço e conferência interna porque estes não necessitam de preparação de carga;
- 5) Atendimento aos veículos de escoamento siderúrgico e de subprodutos. A preparação dos veículos é efetuada por pessoas treinadas e dedicadas a este fim no ato que o veículo é estacionado. Em paralelo, o motorista coleta as notas fiscais e o vigilante, confere a documentação com o veículo e a carga, autorizando a saída da Usina;
- 6) Módulos com a programação do processo para os veículos que retornam a Usina acessarem a via;
- 7) Define o deslocamento do vigilante para parar o trânsito para os veículos retornarem a Usina;

Figura 15 - Bloco de atendimento e animação da Portaria 03 com galpão

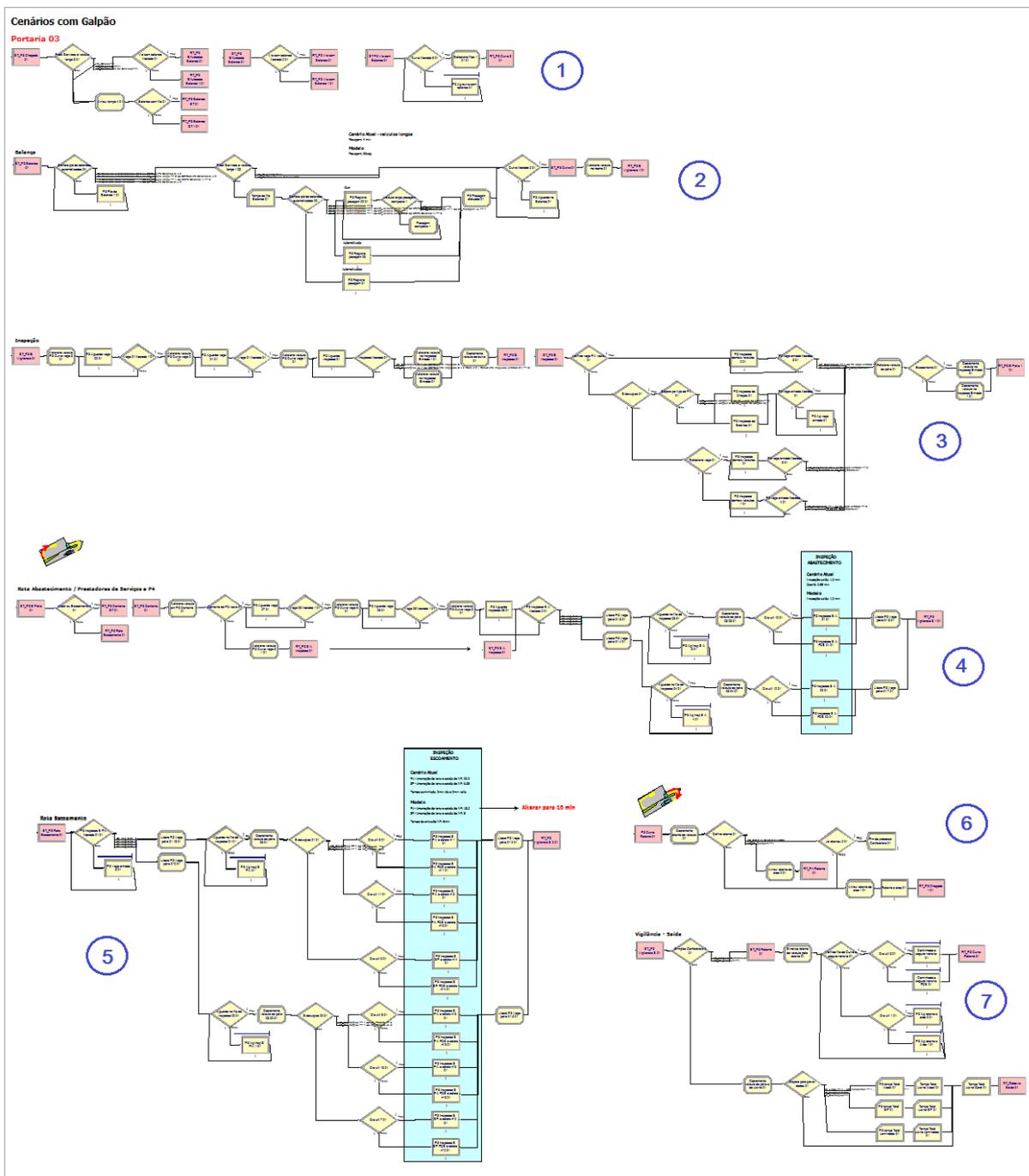
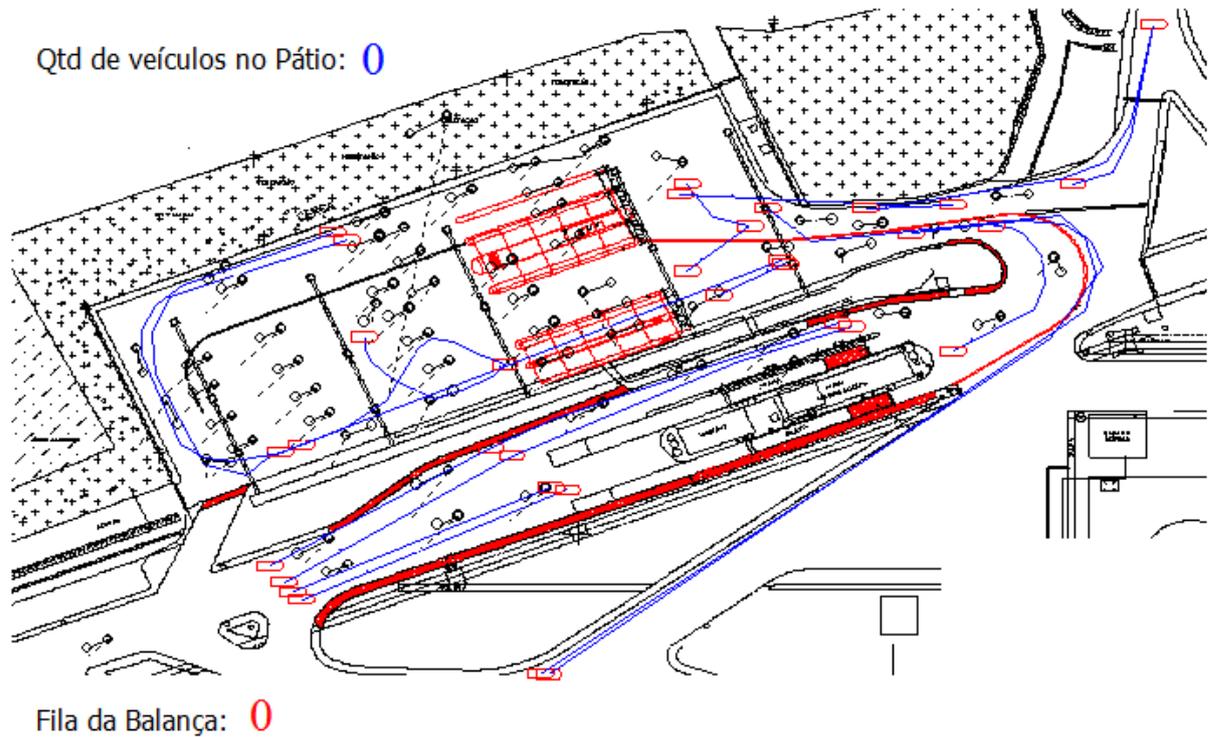


Figura 16 - Animação da vista superior da Portaria 03



Fonte: Elaborado pelo autor e pela Engenharia da empresa

Dados de saída do modelo

Para facilitar a compreensão e permitir cálculos adicionais, o modelo grava os dados a seguir em planilha de Excel:

Portaria 04:

Quantidade de veículos aguardando na Rodovia;

Tempo aguardando no pátio referente aos veículos de Abastecimento e de Subprodutos;

Quantidade de veículos no pátio;

Quantidade de motoristas aguardando emissão de DT;

Tempo entre o Portal de Radiação até entrar na Usina referente aos veículos de Abastecimento, Subprodutos e Produtos Acabados;

Tempo total de veículos dentro da Portaria 04 referentes aos veículos de Abastecimento, Subprodutos e Produtos Acabados;

Portaria 03:

Quantidade de veículos aguardando na fila da Balança;

Tempo aguardando na fila da Balança;

Tempo total na Portaria 03 referente aos veículos de Abastecimento; Subprodutos e Produtos Acabados;

Quantidade de veículos dentro do pátio;

Dentro da Usina

Quantidade total de veículos dentro da Usina;

Tempo total referente aos veículos de Abastecimento, Subprodutos e Produtos Acabados;

Chegadas de veículos

Quantidade diária de veículos que acessam a Usina referentes a cada tipo de material a embarcar ou descarregar.

A partir destes dados, foi criada uma tabela resumo com os dados mínimos, médios e máximos referentes ao período simulado. Esta tabela pode ser observada no Apêndice B referente aos dados obtidos pelo cenário atual simulados no modelo.

5.3 Verificação e Validação do Modelo

Freitas [18] discorre que o desempenho do modelo deve ser avaliado em relação a conformidade dos resultados obtidos pelo modelo, se estão coerentes ao comportamento do cenário real, aos objetivos e propostas do estudo e ao comportamento da lógica se está claro e bem delineado. Portanto, as respostas obtidas pelo modelo simulando um mês do cenário atual foram comparadas a média dos quatro meses da coleta de dados deste trabalho.

Primeiramente, foi observado o comportamento do modelo em relação a quantidade média diária de chegadas de veículos.

Tabela 2 - Quantidade média de chegadas diárias por tipo

Tipo de carga	Cenário Real	Modelo	Diferença
Abastecimento	290	289	-0,3%
Produtos Siderúrgicos	110	105	-4,8%
Subprodutos	172	166	-3,6%
Total	572	560	-2,1%

A variação das chegadas de veículos ficou abaixo dos 5% nos três tipos de motivos de acesso a empresa.

Ao expandir os tipos de materiais, as chegadas de veículos para carregamento de Escória de Alto Forno resultantes da simulação do modelo obtiveram quase 8% abaixo dos da média do cenário real. As chegadas de veículos de recebimento de subprodutos variados obtiveram 20% da variação acima do cenário real. Este valor reflete a uma carreta a menos na média de quatro carretas no cenário real. As chegadas dos veículos com produtos de almoxarifado obtiveram quase 7% de variação devido ao cadenciamento de veículos que ocorre com este tipo de recebimento e aos veículos para descarga de materiais pela transportadora Grecco (pallets, descarga em vários armazéns, materiais em quantidades, etc.). Haja vista que há o cadenciamento em tempo e quantidade diária destes veículos, a quantidade diária foi inserida no sistema de forma linear. O mesmo cadenciamento ocorre para os veículos de prestadores de serviços e abastecimento de Coque de Petróleo.

Tabela 3 - Quantidade média de chegadas diárias por material

Tipo de carga / serviço	Cenário Real	Modelo	Diferença
Produtos Siderúrgicos	110	105	-4,8%
Escória de Alto Forno	123	116	-6,0%
Agregado Siderúrgico	41	41	0,0%
Carboderivados	4	4	0,0%
Outros Subprodutos	4	5	20,0%
Minério de ferro	64	64	0,0%
Ligas	24	24	0,0%
Material de Almoxarifado	14	15	6,7%
Prestadores de Serviços	73	73	0,0%
Pesagem de Conferência	5	5	0,0%
Materiais diversos	10	10	0,0%
Coque de Petróleo	50	50	0,0%
Fundentes	50	48	-4,2%
Total	572	560	-2,1%

Os tempos de permanência dos três tipos de objetivo de acesso a Usina foram comparados aos resultados obtidos pelo modelo. A análise de tempos de veículos de prestadores de serviços e materiais diversos transportados pela Grecco não estão inseridos porque os veículos não realizam pesagem e não, desta forma, a análise do cenário real destes tempos não foi considerada. Os veículos de pesagem de conferência, não efetuam o fechamento dos tickets de pesagem, não são obrigados a efetuar este processo e não afetam nos custos de frete da empresa, portanto, estes veículos não são considerados nos relatórios de desempenho da empresa e não foram inseridos nos tempos médios do modelo.

A análise dos tempos de permanência dentro da empresa em relação aos veículos de abastecimento e subprodutos é realizada pela empresa na diferença do tempo entre balanças, conforme a fórmula:

$$\text{Tempo de Permanência} = \text{Horário Pesagem Portaria 03} - \text{Horário Pesagem na Portaria 04}$$

A comparação do tempo obtido pelo modelo deve ser de acordo com os dados da empresa para compararmos os dados obtidos pelo modelo, portanto, o tempo de permanência equivalente é obtido pela fórmula:

$$\text{Tempo de Permanência Modelo} = \text{Tempo de área} + \text{Trajetos} + \text{Tempo de fila da Balança} + \text{Tempo de Pesagem Portaria 03}$$

Desta forma, os resultados obtidos pelo modelo em comparação ao cenário real obtiveram os seguintes resultados:

Tabela 4 - Tempo médio de permanência por tipo

Tipo de carga / serviço	Cenário Real	Modelo	Diferença
Abastecimento	5,5	5,6	2,3%
Produtos Siderúrgicos	6,9	7,0	1,4%
Subprodutos	2,6	1,5	-6,7%

Houve variação de 6,7% abaixo dos tempos de permanência de veículos para carregamento de subprodutos em relação aos tempos médios obtidos pelas bases de

dados da empresa. Esta variação foi agravada pela variação de 6% em relação as chegadas destes veículos na Usina. Os demais veículos obtiveram resultados abaixo de 3% de variação em relação à média de tempos obtidos pelos sistemas da empresa no cenário real.

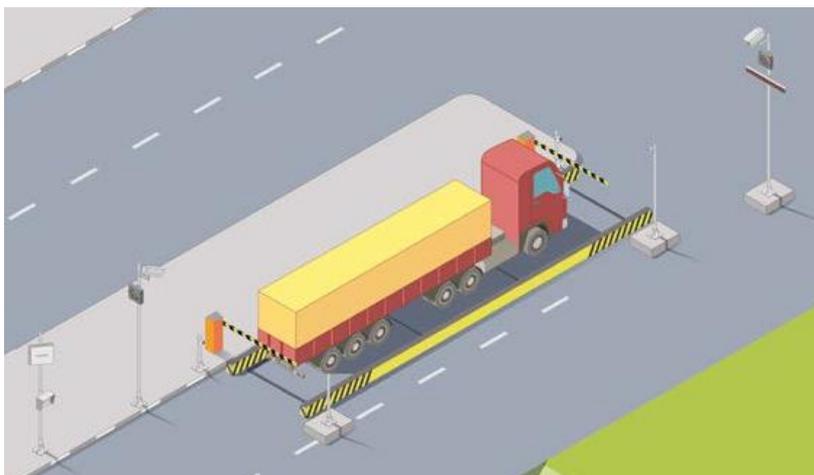
Após as análises de comparação com o cenário real, os cenários foram simulados com propostas para melhorias futuras.

5.4 Análises dos Resultados Obtidos

Conforme abordado item 4.2.1, os cenários propostos envolvem a substituição das balanças atuais por balanças automatizadas. Para inserir os tempos de processos de pesagem e conhecer o sistema de perto, foram realizadas visitas técnicas monitoradas e coleta de tempos *in loco* em 2015 na Intercemment, indústria de cimento localizada em Cubatão/SP, próximo a Usiminas.

O tempo médio do processo de pesagem de veículos destas balanças é de 30 segundos comparado ao cenário atual de 2 minutos e 15 segundos, obtém-se uma redução significativa de 1 minuto e 45 segundos. Desta forma, os cenários envolvem a instalação de zero, uma ou duas balanças automatizadas em cada portaria conforme a tabela 1. Ao instalar duas balanças automatizadas em uma portaria, o sistema dispensa operadores, por disponibilizar sensores diversos e cancelas para bloqueio de acesso.

Figura 17 - Sistema de balança automatizado



Fonte: Toledo do Brasil [52]

O galpão instalado no Ecopátio atualmente também está configurado no modelo para atender os veículos na portaria 03 nos cenários 4 ao 6, possibilitando o aumento de atendimentos e padronização conforme já referenciado.

Os cenários foram analisados plotados em gráficos para a análise dos tempos e quantidade de veículos no sistema.

Houve variação no tempo total de permanência das carretas dentro de abastecimento de matérias-primas dentro da Usina. O cenário 2 com a automatização de apenas uma balança em cada portaria garantiu uma redução de 4,2% no tempo de permanência e obtendo a melhor redução em cenários sem galpão.

Os cenários 5 e 6 obtiveram uma redução de 6,4% de tempo com a instalação de uma ou duas balanças automatizadas e o galpão para atendimento de veículos de escoamento.

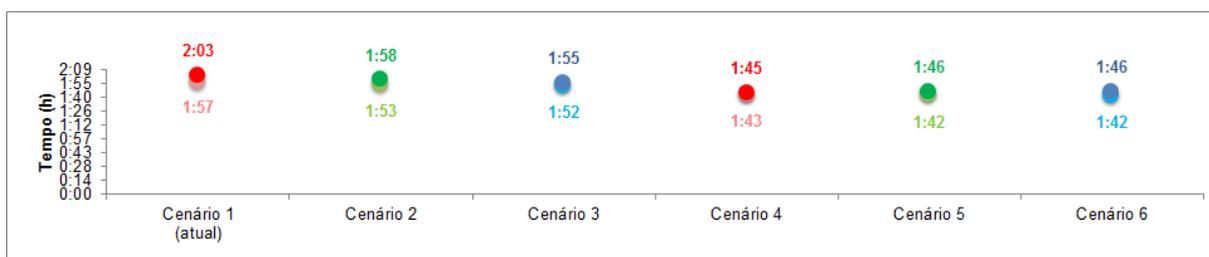
As cores iguais referem-se a cenários similares em quantidade de balanças automatizadas. Os tons escuros indicam os tempos máximos obtidos nas simulações e os claros apontam os tempos médios obtidos.

Gráfico 1 - Tempos de permanência de carretas de Abastecimento



Os impactos referentes as melhorias implantadas no cenário 3, com duas balanças automatizadas em cada portaria sem o galpão na Portaria 03 obteve redução de 6,3% nos tempos máximos de permanência na Usina referentes aos veículos de escoamento de Subprodutos. Estes tipos de carretas obtiveram ganhos significativos e similares a partir dos cenários com o galpão implantado na Portaria 03, com uma redução em torno de 17,1%.

Gráfico 2 - Tempos de permanência de carretas de Subprodutos



Os desempenhos dos tempos de permanência das carretas de escoamento de produtos siderúrgicos obtiveram os maiores ganhos, mas só pode ser observada com a implantação do galpão na Portaria 03.

A amarração de carga efetuada pela equipe especializada impactou para a redução do tempo e o motorista deixa de efetuar este serviço e coleta as notas fiscais durante este período.

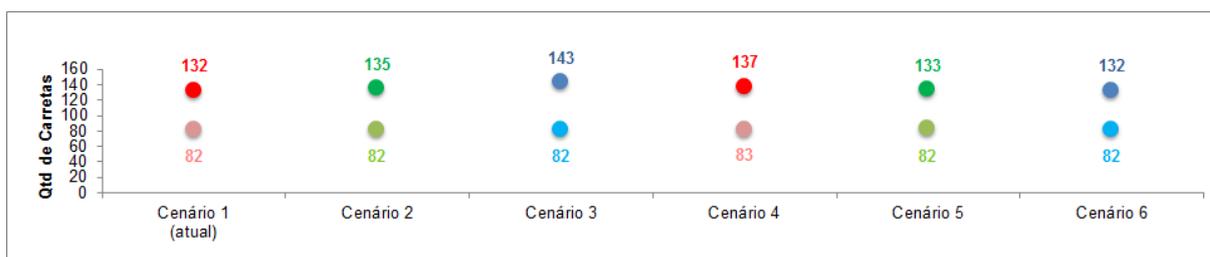
O cenário contendo apenas o galpão instalado impacta em 5,6% na redução de tempo de permanência deste veículo na Usina e o cenário 6 com todas as instalações propostas reduz em 9,1% o tempo de permanência destas carretas na empresa.

Gráfico 3 - Tempos de permanência de carretas de Produtos Siderúrgicos



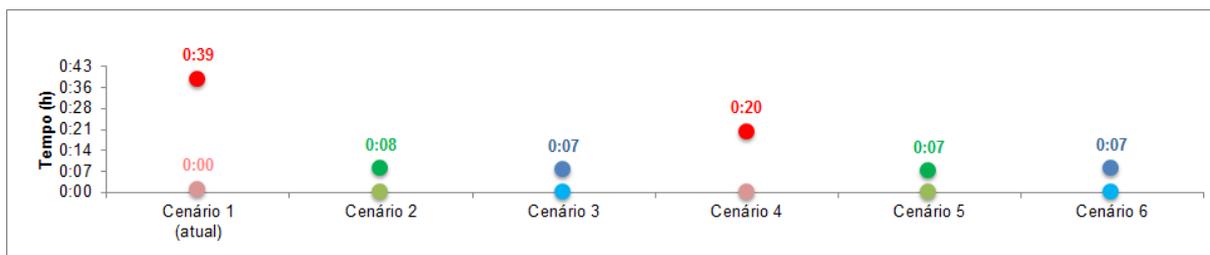
As quantidades médias de carretas dentro da Usina se mantiveram estáveis, mas o cenário 3 obteve maior quantidade de carretas dentro da empresa. A Portaria 04 absorve maior capacidade de veículos, porém as vias de saída da Usina e os procedimentos existentes na saída não absorvem este aumento de recebimento de veículos adequadamente, principalmente em relação aos veículos de produtos siderúrgicos que obtiveram tempos similares ao cenário atual.

Gráfico 4 - Quantidade de carretas dentro da Usina



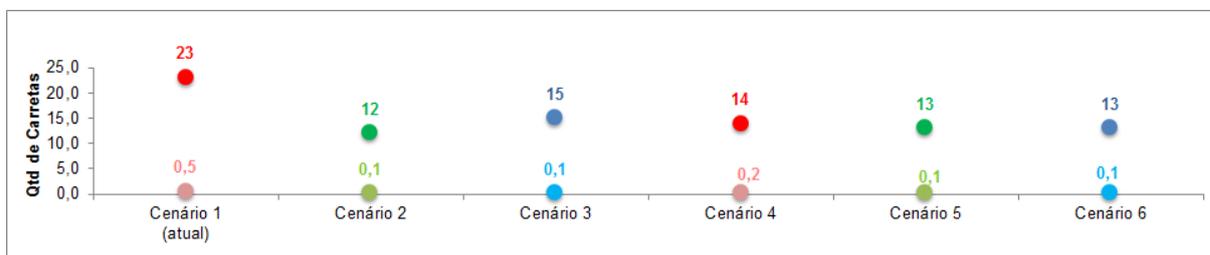
A automatização e ampliação de uma ou duas balanças na Portaria 03 em cenários com ou sem galpão impactam de forma similar, reduzindo o tempo máximo de fila drasticamente em até 32 minutos. Os tempos médios perpetuam em menos de um minuto de espera para a pesagem de veículos haja vista que os tempos maiores ocorrem apenas em horários de maior quantidade de chegada de veículos e horários de trocas de turno. Apenas a instalação do galpão permitiu a redução dos tempos máximos de fila em 47,1% e a instalação de uma ou duas balanças automatizadas na Portaria 03 reduzem em quase 80%.

Gráfico 5 - Tempo de fila das Balanças da Portaria 03



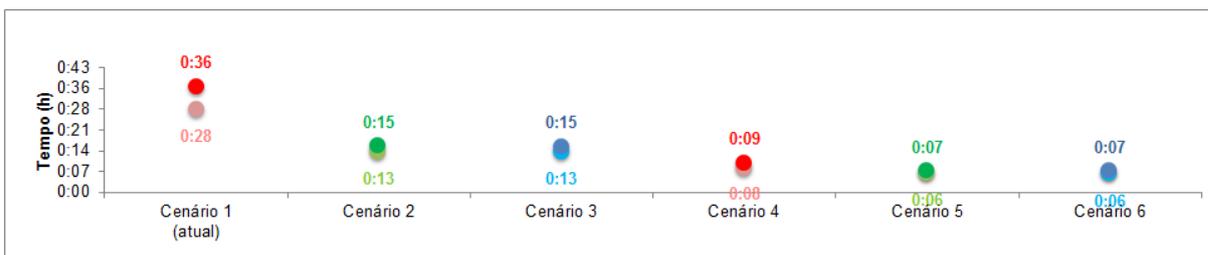
A quantidade média de carretas na fila das balanças da Portaria 03 se manteve próxima de zero em todos os cenários e os horários de maior movimento obtiveram reduções em torno de 35% a 48% aproximadamente. O cenário 4 obteve tempos máximos de fila de 20 minutos, maiores que os demais cenários propostos, mas a quantidade máxima de veículos se manteve estável nas propostas analisadas. O cenário 2 obteve o melhor equilíbrio entre a quantidade máxima de veículos e instalações, desta forma obteve a menor quantidade de carretas em horários de grande fluxo.

Gráfico 6 - Quantidade de carretas na fila das balanças da Portaria 03



Os tempos de permanência de veículos de abastecimento nas dependências da Portaria 03 reduzem em 51,2% nos cenários propostos sem galpão e os cenários com uma ou duas balanças automatizadas obtiveram redução de quase 75% nos tempos de permanência nesta portaria. A redução de quase trinta minutos para realizar a pesagem passar por dois processos de inspeção e entrega de crachá tornam-se ágeis para estes tipos de veículos.

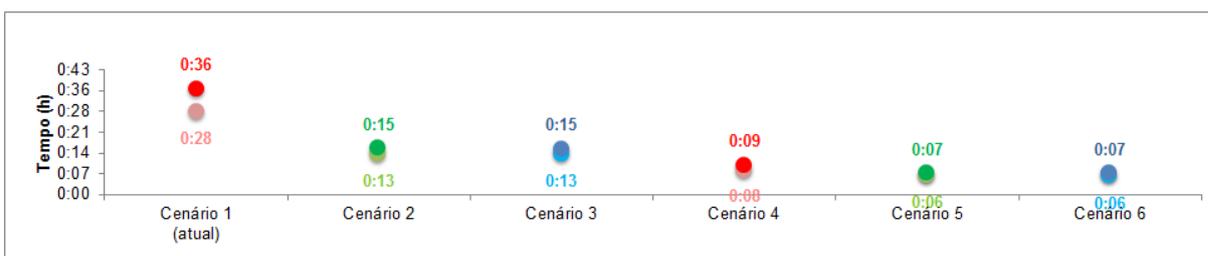
Gráfico 7 - Tempos de permanência das carretas de Abastecimento na Portaria 03



Os veículos de subprodutos obtiveram redução gradativa dos tempos de acordo com os cenários propostos, A implantação do galpão no cenário 4 reduziu os tempos de permanência destes veículos quase pela metade principalmente por evitar que os motoristas subam nas carretas para efetuar a amarração das lonas e depois coletar a nota fiscal. Devido estes procedimentos ocorrerem paralelamente, ou seja, a amarração da carga por uma equipe especializada no galpão e o motorista coletar a nota fiscal no setor de faturamento, este tempo reduz em 52,7%.

A automatização de balanças sem a implantação do galpão obteve redução de até 27% de tempo de permanência e com a implantação do galpão, a redução chegou a 61% nos cenários 5 e 6.

Gráfico 8 - Tempos de permanência das carretas de Subprodutos na Portaria 03



Os veículos de escoamento de produtos siderúrgicos obtêm redução de tempo de permanência na Portaria 03 em todos os cenários. A implantação das balanças automatizadas nos cenários 2 e 3 obtêm reduções de tempos máximos de permanência na portaria até 29%.

A implantação do galpão nos cenários 4 a 6, além de reduzirem os tempos de permanência destes veículos entre 65% a 75% aproximadamente, há um ganho

significativo na redução de tempo de entrega no cliente. A eliminação do retorno do veículo carregado ao Ecopátio para a preparação final da carreta com a instalação do galpão na Portaria 03 elimina o retrabalho de amarração de cargas destes tipos de veículos. O motorista não necessita subir no veículo e efetuar este procedimento, ficando sob responsabilidade da equipe especializada e em paralelo, o motorista coleta as notas fiscais no setor de Faturamento.

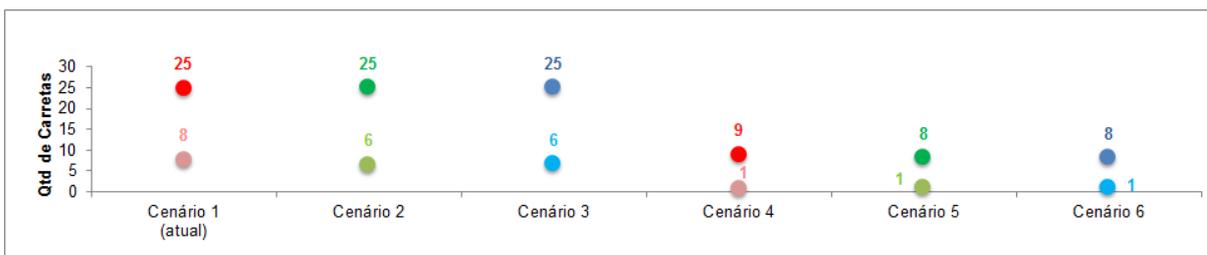
Gráfico 9 - Tempos de permanência das carretas de Produtos Siderúrgicos na Portaria 03



O pátio da Portaria 03 é ocupado em sua totalidade, 25 veículos em todos os cenários que não á galpão instalado. As vagas foram reduzidas a 9 com a instalação do galpão e foram totalmente utilizadas apenas no cenário 4. A taxa média de utilização do pátio no cenário atual simulado ficou em 32% e nos cenários 2 e 3 houve uma redução de 8%.

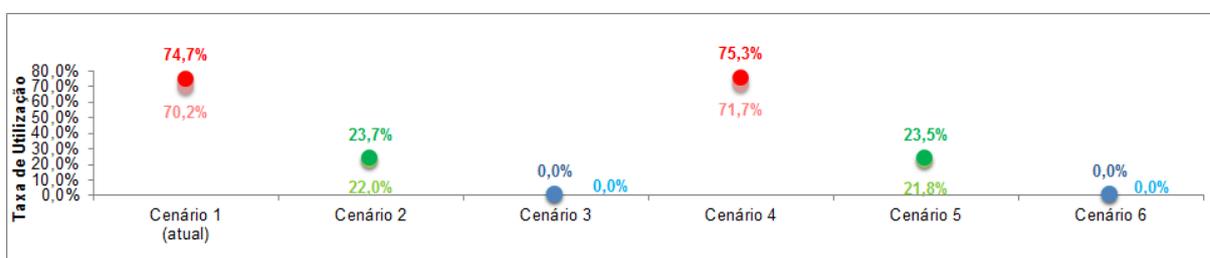
Os cenários com galpão instalado obtiveram a taxa de utilização de 11% em média em relação a quantidade de 9 vagas no total. Este máximo foi atingido apenas nos horários de grande fluxo do cenário 4, sem a automatização das balanças. O aumento da fluidez e dos atendimentos na entrada e na saída do pátio impactaram significativamente para esta redução mesmo com a redução para 8 vagas no total.

Gráfico 10 - Quantidade de veículos no pátio da Portaria 03



O desempenho dos cenários 1 e 4 que não envolvem balanças automatizadas obtiveram taxas de utilização entre 70 e 72%. Apesar do galpão ampliar os atendimentos dentro do pátio, a taxa de utilização da balança foi 1,5% maior comparada ao cenário atual, em contrapartida, conforme diagnosticado no gráfico 5, este cenário possibilita a redução de 47,1% nos tempos de fila das balanças da Portaria 03. A automatização de uma balança possibilita envolvendo ou não a instalação do galpão obtém uma ociosidade de aproximadamente 76% do Vigilante que opera a balança instalada no cenário real.

Gráfico 11 - Taxa de utilização do posto de operador das Balanças da Portaria 03



Os cenários 3 e 6 envolvem toda a automatização das balanças e a pesagem automática dos veículos eliminando o posto de trabalho para operar o sistema. Os Vigilantes podem ser deslocados para auxiliar no atendimento dentro do galpão ou em outras áreas.

6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este trabalho tem como objetivo analisar o fluxo da logística rodoviária de abastecimento de matéria prima, prestadores de serviços e escoamento de produtos siderúrgicos ou subprodutos que transitam por duas portarias destinadas a estes fins. Estas operações são avaliadas por finalidade de acesso a empresa, tempos de permanência dentro do sistema, filas de atendimento, quantidades de veículos, quantidade de vagas de estacionamento e taxas de utilização de recursos.

Os dados coletados *in loco* e pela disponibilidade do banco de dados da empresa são comparados aos resultados obtidos pelos cenários do modelo sem modificações do cenário atual e com cenários com propostas para modificar procedimentos e leiaute futuros.

Um modelo de simulação computacional foi desenvolvido para recriar as operações logísticas das portarias no software Arena. A opção deste aplicativo ocorreu por ser uma das principais ferramentas de criação de modelos de simulação, a mais completa e a única que possibilitasse animação de cenários que a siderúrgica utiliza.

A metodologia utilizada abrange a formulação do problema com os principais envolvidos no processo, coleta de dados e identificação das variáveis, construção do modelo de simulação, verificação e validação do modelo, realização de simulações dos cenários propostos e análises dos resultados obtidos.

O modelo foi elaborado com foco nos processos e fluxos existentes nas portarias, mas possibilita sua adaptação para aumento de produção e análises mais detalhadas sobre os processos de atendimento que ocorrem em todos os armazéns, pátios de carregamento ou descarga de veículos e reduções de tempos de atendimento a clientes. Os processos estão descritos no modelo de forma clara a fim de permitir futuras tomadas de decisão com as ampliações mencionadas.

Vários estudos foram realizados e a planta dos cenários propostos foi elaborada pela empresa, mas não haviam respostas sobre o atendimento dos gargalos logísticos

existentes. A transferência do galpão de atendimento localizado no Ecopátio era uma das incógnitas a serem estudadas.

A simulação dos cenários permitiu observar os comportamentos das adequações propostas para o futuro de forma a auxiliar as tomadas de decisões referentes aos processos existentes.

A instalação do galpão no pátio da Portaria 03, atendeu as expectativas de absorver os atendimentos a todos os veículos de escoamento de produtos siderúrgicos e subprodutos, A transferência dos processos que ocorrem dentro do galpão para a Usina possibilita o cintamento, amarração e enlonamento de carga por uma equipe especializada e ferramentas adequadas a fim de padronizar os procedimentos, reduzir o tempo de preparação das carretas e reduzir o risco de acidentes. Além disso, a usina siderúrgica não necessitará enviar colaboradores para inspeções e acompanhamento dos processos do galpão no Ecopátio.

O encerramento do contrato de *take-or-pay* de estadia de carretas destinadas a siderúrgica permite uma redução de mais de um milhão de reais em custos anuais referentes ao Ecopátio.

Os investimentos para o cenário 06, corolário de maior valor aquisitivo, engloba duas balanças automatizadas em cada portaria e o remanejamento do galpão de amarração com todos os postos de trabalho para as dependências da Portaria 03, ficou orçado em R\$ 3,1 milhões. Os dispêndios incluem a aquisição de plataformas longas, células de carga, licença e instalação do sistema, equipamentos e infraestrutura de informática e alvenaria para adequar o piso. Portanto, o retorno do investimento ocorre em três anos apenas com o corte de gastos referentes a área alugada no Ecopátio.

A eliminação do retorno ao Ecopátio possibilita uma redução no tempo de entrega dos produtos ao cliente haja vista que o motorista não necessita retornar ao complexo logístico para o retrabalho de preparação final da carreta.

No cenário atual, o posicionamento do veículo na plataforma de pesagem é confirmado visualmente pelo operador da balança para evitar ocorrências de veículos com o pneu fora da plataforma. O sistema automatizado contém sensores que verificam o posicionamento adequado do caminhão, aumentando a eficiência do processo.

A automatização das balanças possibilita uma redução significativa nos tempos de atendimento para pesagem de carretas mas, para um melhor aproveitamento, a automação deve ser realizada em todas as balanças conforme os cenários 3 ou 6 porque, no cenário atual, se apenas uma balança for automatizada em cada portaria, conforme os cenários 2 e 5, os motoristas seguirão para o caminho mais fácil e pode haver divergência do peso do motorista e do posicionamento do veículo, caso o veículo passar por uma balança automatizada e uma do cenário atual.

A implantação de duas balanças automatizadas em âmbito de tempos de atendimento e filas de processos não manifesta ganhos significativos comparados aos cenários com uma balança automatizada em cada portaria, porém, resulta na eliminação de dois postos de operador da balança, ensejo para redução de custos de mão de obra e encerramento dos processos de pesagem composta.

A pesagem composta efetuada manualmente com o posicionamento do veículo pelo motorista na plataforma de pesagem para a pesagem do cavalo e da primeira carreta e posicionamento para pesagem da segunda carreta não ocorreria novamente nestes cenários, eliminando divergências de peso e aumentando a confiabilidade no sistema.

O modelo computacional e os cenários propostos e desenvolvidos através do aplicativo Arena possibilitaram o alcance dos objetivos deste trabalho. A pauta do desempenho do galpão instalado dentro do estacionamento da empresa foi sanada de forma que os cenários com estas instalações atendem as decisões estratégicas da empresa para aumentar sua competitividade no mercado, reduzindo custos com estadias, tempos de permanência dentro da planta, tempos de entrega de produtos e auxiliando nas tomadas de decisões futuras da empresa.

Como sugestões para continuação deste trabalho, podem ser realizadas modificações em relação a produtividade e taxa de utilização dos equipamentos. A investigação em relação a flexibilidade de produção com a variação da produção anual poderá possibilitar o acompanhamento da logística das portarias de acordo com as variações do cenário atual.

A ampliação da investigação referentes aos armazéns e pátios de carregamento é outro ponto a ser mais aprofundado efetuando o levantamento das curvas características referentes a cada um ou a programação de cada processo e a alocação de recursos dentro do modelo. Quebras, falhas e preventivas podem ser inseridas no modelo possibilitando a análise das chegadas de veículos referentes a estes locais e a variação da taxa de utilização do estacionamento da portaria de entrada.

Uma análise minuciosa na redução do tempo de entrega dos produtos aos clientes é outra alternativa profícua no modelo a fim de mensurar a redução de custos em relação ao frete e estadias pagas ao transportador, melhorias nas taxas de entregas de produtos siderúrgicos dentro do prazo estipulados na elaboração do pedido de compra e redução do tempo de retorno do investimento.

A redução dos riscos de acidentes e aumento da confiabilidade na segurança da carga por ser efetuado por uma equipe especializada pode ser mensurado em investigações futuras e inseridas no modelo comparando os dados das operações do Ecopátio com os dados sobre estes quesitos dentro da Usina que são efetuados pelo motorista no cenário atual estudado.

Espera-se que este estudo contribua para aumentar a competitividade da empresa no mercado auxiliando na melhoria da eficiência dos processos logísticos existentes com o norteamento para tomadas de decisões futuras.

REFERÊNCIAS

- [01] AL-BAZI, A.; EMERY, L. Using spatial simulation modeling to improve warehouse-logistics operations management. **Economics & Strategic Management of Business Process**, Sousse, v. 1, p. 47-53, 2013.
- [02] ALTIOK, T.; MELAMED, B. **Simulation, Modeling and Analysis with Arena**. San Diego, California.: Elsevier, 2007.
- [03] ANDRADE, E. L. APUD LOPES ET AL. **Introdução a pesquisa operacional**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004 apud **Modelagem e simulação como ferramentas ao diagnóstico operacional de sistemas: estudo aplicado ao transporte de minério de ferro pela hidrovia do Araguaia- Tocantins**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 129. 2008.
- [04] ANDRADE, R. Q. ET AL. Aplicação de simulação de processos em um sistema de carregamento e pesagem de caminhões em uma mina. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Belo Horizonte, 2011. 10.
- [05] ARENALES, M. ET AL. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Campus, 2007.
- [06] ARNAOUT, G. E. A. Modeling Cross-docking operations using discrete event simulation. **CAiSE 2010 Workshop on Enterprise & Organizational Modeling and Simulation**, Hammamet, 2010. 113-120.
- [07] BANKS, J. ET AL. **Discrete-event system simulation**. 4th. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004.
- [08] CAXITO, F. A. **Produção: Fundamentos e Processos**. Curitiba: IESDE, 2008.
- [09] CHOI, B. K.; KANG, D. **Modeling and Simulation of Discrete Event Systems**. New Jersey: Wiley, 2013.
- [10] CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- [11] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO - CONTRAN. **Resolução nº 293 de 29 de setembro de 2008, art. 12, inciso I, da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 que instruiu o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (Brasil), conforme Decreto n. 4.711**. Brasil. 29 de maio de 2003.

- [12] CONSTANTINO J., S.; CARDOSO, L. E. Z.; VENDRAMETTO L. L. Análise de um sistema de carregamento de madeiras com o auxílio da simulação computacional: um estudo de caso. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v. 7, n. 1, 2016.
- [13] COTA, P. M.; LIRA, E. G.; RAVETTI, M. G. O Problema de sequenciamento de caminhões em centros de crossdocking com múltiplas docas. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Salvador, Setembro 2014. p.48-59.
- [14] ECORODOVIAS, G. Relatório Anual de Sustentabilidade. **Grupo Ecorodovias**, 2015. Disponível em: <<http://relatoweb.com.br/ecorodovias/15/pt/>>. Acesso em: 02 set. 2016.
- [15] ERVIN, E. C.; HARRIS, R. C.. Simulation analysis of truck driver scheduling rules. **Winter Simulation Conference**, Lowell AR, 2004. 1861-1869.
- [16] ESPINAL, A. A.C.; MONTOYA, R. A.G.; ALZATE, J. A. S. Improvement of operations of picking and dispatch for a business in the mattress industry, supported by discrete simulation. **Revista DYNA**, Medellín, v. 79, n. 173, 2012.
- [17] FRANCO, G. A. ET AL. A simulação para auxiliar na movimentação de caminhões e de notas fiscais em um centro de distribuição de móveis e eletrodomésticos. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, São Paulo, 2010.
- [18] FREITAS, F. P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas. Com aplicação em Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- [19] GIULIANO G.; O'BRIEN, T. **Evaluation of Extended Gate Operations at the Ports of Los Angeles and Long Beach**. Extended Gate Operations Final Report - METRANS. Los Angeles e Long Beach, p. 05-12. 2008.
- [20] GROSSMAN, T. A.; ROHLEDER, T. R.; SILVER, E. A. A negotiation aid for fixed-quantity contracts with stochastic demand and production. **International Journal of Production Economics**, v. 66, n. 1, p. 67-76, 2000.
- [21] GUE, K. R. The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals. **Transportation Science**, n. 33, p. 419-428, 1999.
- [22] GUO, D.; SHAMAI, S.; VEDÚ, S. Mutual Information and Minimum Mean-Square Error in Gaussian Channels. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 51, n. 4, p. 1261-1282, 2005.

- [23] HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. The hidden traps in decision making. **Harvard Business Review**, v. 84, n. 1, p. 118, 2006.
- [24] HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2009.
- [25] KAMRANI, M.; ABADI, S. M. H. E.; GOLROUDBARY, S. R.. Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 49, p. 167-179, 2014.
- [26] KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. **Simulation with ARENA**. 2. ed. Pennsylvania: Mc Graw Hill, 2002.
- [27] LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. **Winter Simulation Conference**, Tucson, 2009. p. 24-33.
- [28] LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [29] LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- [30] LIU, Z. A survey of intelligence methods in urban traffic signal control. **IJCSNS Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.** 7, Jiangmen, 2007. 105-112.
- [31] LOPES, H. S. Simulação do transporte de minério de ferro na hidrovia do Araguaia-Tocantins. **Revista Gestão Industrial**, v. 7, n. 1, p. 43-71, 2011.
- [32] LOPES, H. S.; ET AL. **Modelagem e simulação como ferramentas ao diagnóstico operacional de sistemas: estudo aplicado ao transporte de minério de ferro pela hidrovia do Araguaia-Tocantins**. Universidade Federal do Ceara. Fortaleza, p. 129. 2008.
- [33] MANSON S.J. ET AL. Integrating the Warehousing and Transportation Functions of the Supply Chain. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 141-159, n. 39 (2), 2003.
- [34] MARIA, A. **Introduction to modeling and simulation**. Winter Simulation Conference. Miami: [s.n.]. 1997. p. 7-13.
- [35] MARTÍNEZ-ESPINOSA, M.; CALIL J., C.; LAHR, F. A. R.; Métodos paramétricos e não-paramétricos para determinar o valor característico em resultados de ensaio de madeira. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 76-83, 2004.

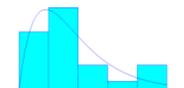
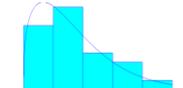
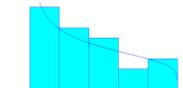
- [36] MELO, N. A. F.; PESSANHA, A. M. B.; ROCHA F., S. M. D. Estudo da aplicação do software Arena em um contrato de prestação de serviço de manutenção de instrumentação. **Exatas & Engenharia**, v. 1, n. 2, 2011.
- [37] MOTRAGHI A.; MARICOV, M.V.. Analysis of urban freight by rail using event based simulation. **Simulation Modelling Practice and Theory**, Newcastle, v. 25, p. 73-89, 2012.
- [38] POTTER, A.; LALWANI, C. Developing a methodology to analyse despatch bay performance. **Int. J. Production Economics**, n. 106, p. 82–91, 2007.
- [39] POTTER, A.; YANG, B.; LALWANI C. A simulation study of dispatch bay performance in the steel processing industry. **European Journal of Operational Research**, n. 179, p. 567-578, 2007.
- [40] PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação. Série Pesquisa Operacional**. Nova Lima: INDG TecS, v. 3, 2010.
- [41] RANGEL, J. J. A. ET AL. Modelo de simulação para o Sistema de Corte, Carregamento e Transporte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 3, p. 43-54, 2009.
- [42] RYAN, T. **Estatística Moderna para a Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- [43] SÁNCHEZ, P. J. **Fundamentals of simulation modeling**. Winter Simulation Conference. Miami: [s.n.]. 2007. p. 54-62.
- [44] SANTANA, P. S.; SANTANA, J. C. C. Gestão de operações e logística na estratégia empresarial. **Revista Educação, Gestão e Sociedade**, v. 2, n. 7, 2012.
- [45] SANTOS N. U. J. S.; SANTANA, L. C. Logística e serviço ao cliente como estratégia competitiva. **Revista de Iniciação Científica – RIC Cairu**, v. 2, n. 2, p. 97-111, 2015.
- [46] SARGENT, R. G. **Verifications and validation of simulations models**. Winter Simulation Conference. Miami: [s.n.]. 2007. p. 124-137.
- [47] SCIENCE, P. D. Introdução à Simulação com Arena e Análise de Dados. **Material Didático - Apostila**, São Paulo, 2014.
- [48] SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento de frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira**. Escola de Engenharia de São Carlos (Tese Doutorado). São Carlos, p. 106. 1992.

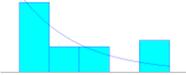
- [49] SILVA, A. L. C. **Introdução a Análise de Dados**. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.
- [50] SILVA, E. M. ET AL. **Pesquisa Operacional: Programação Linear, Simulação**. São Paulo: Edição Atlas, v. 3, 1998.
- [51] SPASOVIC, L. N.; HE, Y.; BESENSKI, D. Quantifying impact of port truck traffic on highway operations using GPS-based speed data. **Center for Advanced Infrastructure and Transportation R. CAIT-UTC-023**, New York, 2015. 23.
- [52] TOLEDO DO BRASIL, G. **Gerenciamento, automação e pesagem de veículos, controle de acesso de veículos e integração de dados. TBR-SIS80**. TOLEDO DO BRASIL. São Paulo, p. 12. 2015.
- [53] TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, v. 32, n. 2, p. 227-234, 2012.
- [54] USIMINAS APUD GOOGLE. Google Maps. **Google**, 2014. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: ago. 2016.
- [55] WHITLEY, E.; BALL, J. Statistics review 3: Hypothesis testing and P values. **Critical Care**, v. 6, p. 222-225, mar. 2002.
- [56] ZUTING, K. R. ET AL. A synchronised strategy to minimize vehicle dispatching time: a real example of steel industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 2, p. 333-343, 2014.

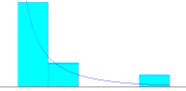
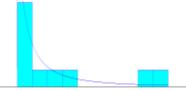
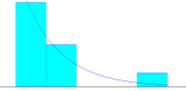
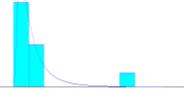
APÊNDICE A

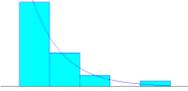
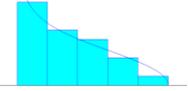
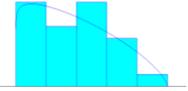
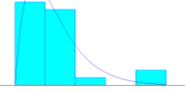
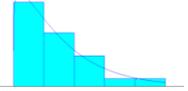
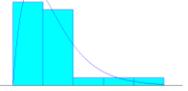
Curvas características das chegadas de veículos

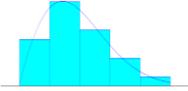
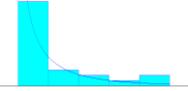
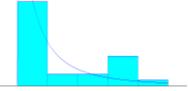
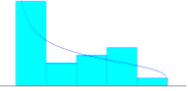
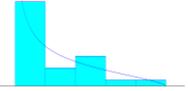
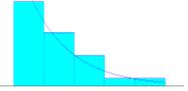
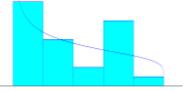
Tabela 5 - Curvas características das chegadas de veículos

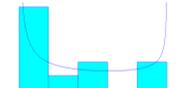
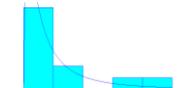
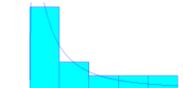
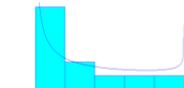
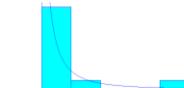
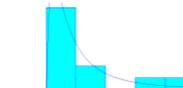
Abastecimento	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Fundentes							
Resumo da Distribuição							
Distribuição	Erlang	Weibull	Beta	Normal	Normal	Weibull	Weibull
Expressão:	20 + ERLA(15.8, 2)	13 + WEIB(12.5, 1.34)	14 + 30 * BETA(0.698, 1.19)	NORM(29.1, 8.46)	NORM(25.2, 7.15)	11 + WEIB(18, 1.73)	17 + WEIB(20.6, 1.51)
Erro quadrático:	0.020086	0.009452	0.008676	0.021981	0.006220	0.022949	0.002762
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico	= 0.0829	= 0.103	= 0.109	= 0.0685	= 0.091	= 0.12	= 0.119
Valor p correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra	24	24	24	24	24	24	24
Valor mínimo da amostra	= 20.8	= 13.2	= 14.9	= 13.7	= 14.7	= 11.6	= 17.7
Valor máximo da amostra	107	= 46.1	44	52	= 44.9	= 45.1	= 76.6
Média amostral	= 51.5	= 24.6	= 25.1	= 29.1	= 25.2	= 27.3	= 35.6
Desvio Padrão	= 23.1	= 8.19	= 8.53	= 8.65	= 7.3	= 9.06	= 12.9
Resumo do histograma							
Rangebilidade do histograma	= 20 a 107	= 13 a 47	= 14 a 44	= 13 a 53	= 14 a 45	= 11 a 46	= 17 a 77
Número de intervalos	5	5	5	5	5	5	5

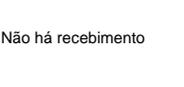
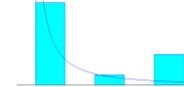
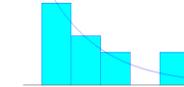
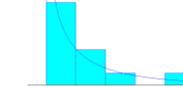
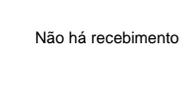
	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Ligas							
Resumo da Distribuição							
Distribuição	Exponencial	Weibull	Gama	Gama	Gama	Beta	Lognormal
Expressão:	-0.001 + EXPO(335)	19 + WEIB(56.9, 0.841)	20 + GAMM(15.3, 1.49)	24 + GAMM(21.7, 1.26)	24 + GAMM(10.3, 1.89)	24 + 158 * BETA(1.88, 10.5)	24 + LOGN(40.3, 51.6)
Erro quadrático:	0.041054	0.029256	0.008645	0.036822	0.007453	0.007624	0.035271
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico	= 0.133	= 0.186	= 0.134	= 0.187	= 0.123	= 0.0895	= 0.0985
Valor p correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra	24	24	24	24	24	23	20
Valor mínimo da amostra	0	= 19.3	= 20.7	= 24.6	= 26.7	= 25.9	= 26.8
Valor máximo da amostra	867	616	= 99.1	182	= 66.8	= 82.3	154
Média amostral	335	= 82.7	= 42.7	= 51.4	= 43.5	48	= 62.1
Desvio Padrão	310	116	= 17.3	= 31.6	= 13.3	= 15.5	= 34.7
Resumo do histograma							
Rangebilidade do histograma	= -0.001 a 868	= 19 a 617	= 20 a 100	= 24 a 182			
Número de intervalos	5	5	5	12	12	12	12

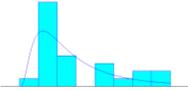
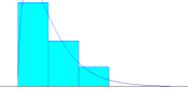
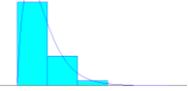
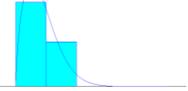
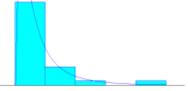
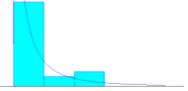
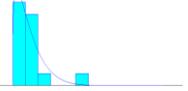
	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Material de Almozarifado	Não há recebimento						Não há recebimento
Resumo da Distribuição							
Distribuição		Lognormal	Lognormal	Exponencial	Weibull	Lognormal	
Expressão:		34 + LOGN(52.3, 50.4)	63 + LOGN(64.6, 209)	59 + EXPO(45.5)	34 + WEIB(26.1, 0.531)	34 + LOGN(52.3, 50.4)	
Erro quadrático:		0.023185	0.027534	0.024705	0.020961	0.023185	
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico		= 0.214	= 0.195	= 0.146	= 0.143	= 0.214	
Valor p correspondente		> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra		10	10	10	10	10	
Valor mínimo da amostra		= 52.5	= 63.8	= 59.7	= 34.4	= 52.5	
Valor máximo da amostra		357	227	245	448	357	
Média amostral		= 95.3	110	105	89	= 95.3	
Desvio Padrão		= 92.9	= 58.5	= 54.8	127	= 92.9	
Resumo do histograma							
Rangebilidade do histograma	1440	= 34 a 448	= 63 a 227	= 59 a 246	= 34 a 448	= 34 a 448	1440
Número de intervalos		10	10	5	10	10	

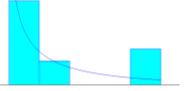
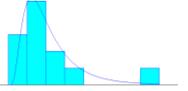
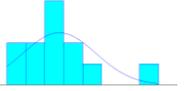
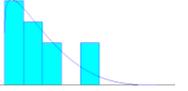
	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Minério de Ferro							
Resumo da Distribuição	Exponencial	Lognormal	Beta	Beta	Erlang	Weibull	Erlang
Distribuição	8 + EXPO(20.8)	11 + LOGN(10.6, 19.4)	10 + 24 * BETA(0.782, 1.48)	11 + 24 * BETA(1.08, 1.69)	15 + ERLA(3.54, 2)	12 + WEIB(13.5, 1.12)	13 + ERLA(6.02, 2)
Expressão:	0.002217	0.026676	0.001881	0.009718	0.018933	0.001672	0.013890
Erro quadrático:							
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico	= 0.0903	= 0.106	= 0.131	= 0.0913	= 0.0896	= 0.115	= 0.111
Valor p correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra	24	24	24	24	24	24	24
Valor mínimo da amostra	= 8.02	= 11.4	= 10.7	= 11.1	= 15.5	= 12.2	= 13.5
Valor máximo da amostra	111	= 56.8	= 33.8	= 34.2	= 41.9	= 54.1	= 57.5
Média amostral	= 28.8	= 21.7	= 18.3	= 20.3	= 22.1	25	25
Desvio Padrão	= 22.4	= 14.7	= 6.33	= 6.03	= 6.36	= 10.8	= 9.52
Resumo do histograma							
Rangeabilidade do histograma	= 8 a 111	= 11 a 57	= 10 a 34	= 11 a 35	= 15 a 42	= 12 a 55	= 13 a 58
Número de intervalos	5	5	5	5	5	5	5

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Escoamento							
Produtos Siderúrgicos							
Resumo da Distribuição	Weibull	Weibull	Lognormal	Beta	Beta	Exponencial	Beta
Distribuição	17 + WEIB(17.3, 1.86)	2 + WEIB(9.59, 0.643)	5 + LOGN(6.41, 12.8)	5 + 20 * BETA(0.644, 1.22)	5 + 26 * BETA(0.565, 1.64)	5 + EXPO(5.73)	5 + 21 * BETA(0.729, 1.14)
Expressão:	0.000353	0.006398	0.038911	0.016691	0.016728	0.008127	0.034982
Erro quadrático:							
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico	= 0.113	= 0.211	= 0.149	= 0.166	= 0.211	= 0.15	= 0.112
Valor p correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra	24	24	24	24	24	24	24
Valor mínimo da amostra	18	= 2.15	= 5.23	= 5.76	= 5.82	= 5.09	= 5.88
Valor máximo da amostra	56	= 66.5	23	= 24.5	= 30.2	= 25.8	= 25.1
Média amostral	= 32.5	= 15.4	= 10.6	= 11.9	= 11.7	= 10.7	= 13.2
Desvio Padrão	= 8.61	= 18.6	= 5.66	= 5.61	= 6.35	= 5.37	= 6.04
Resumo do histograma							
Rangeabilidade do histograma	= 17 a 57	= 2 a 67	= 5 a 24	= 5 a 25	= 5 a 31	= 5 a 26	= 5 a 26
Número de intervalos	5	5	5	5	5	5	5

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Agregado Siderúrgico							
Resumo da Distribuição							
Distribuição	Beta	Lognormal	Lognormal	Beta	Lognormal	Lognormal	Lognormal
Expressão:	$53 + 224 * \text{BETA}(0.417, 0.62)$	$16 + \text{LOGN}(17.1, 32.3)$	$17 + \text{LOGN}(18.2, 41.4)$	$18 + 51 * \text{BETA}(0.479, 0.826)$	$14 + \text{LOGN}(26.3, 97.3)$	$15 + \text{LOGN}(13.5, 20.1)$	$16 + \text{LOGN}(19.8, 44.7)$
Erro quadrático:	0.024952	0.013475	0.005902	0.007459	0.016534	0.016982	0.019745
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico	= 0.193	= 0.226	= 0.144	= 0.161	= 0.189	= 0.139	= 0.13
Valor p correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra	11	11	11	11	11	11	11
Valor mínimo da amostra	= 53.5	= 16.7	= 17.3	19	= 14.2	16	= 16.8
Valor máximo da amostra	277	= 80.2	= 61.9	= 68.8	129	= 63.9	= 89.5
Média amostral	128	32	= 30.8	= 32.4	= 33.2	= 28.3	= 33.7
Desvio Padrão	= 76.9	= 20.1	= 14.1	16	= 32.8	= 15.7	= 23.4
Resumo do histograma							
Rangeabilidade do histograma	= 53 a 277	= 16 a 81	= 17 a 62	= 18 a 69	= 14 a 129	= 15 a 64	= 16 a 90
Número de intervalos	5	5	5	5	5	5	5

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Carboderivados							
Resumo da Distribuição							
Distribuição	Não há recebimento	Uniforme	Triangular	Lognormal	Exponencial	Weibull	Não há recebimento
Expressão:		$\text{UNIF}(176, 795)$	$\text{TRIA}(-0.001, 276, 920)$	$108 + \text{LOGN}(921, 5.32e+003)$	$153 + \text{EXPO}(224)$	$-0.001 + \text{WEIB}(382, 0.703)$	
Erro quadrático:		0.077778	0.022506	0.084006	0.021696	0.010838	
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico		= 0.333	= 0.174	= 0.227	= 0.132	= 0.331	
Valor p correspondente		= 0.111	> 0.15	> 0.15	> 0.15	= 0.116	
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra		12	12	12	12	12	
Valor mínimo da amostra		177	0	109	153	0	
Valor máximo da amostra		795	920	= 1.2e+003	767	= 1.57e+003	
Média amostral		500	408	498	377	429	
Desvio Padrão		241	256	437	219	415	
Resumo do histograma							
Rangeabilidade do histograma	1440	= 176 a 795	= -0.001 a 920	= 108 a 1.2e+003	= 153 a 768	= -0.001 a 1.57e+003	1440
Número de intervalos		5	5	5	5	5	

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Escória de Alto Forno							
Resumo da Distribuição	Lognormal	Gama	Erlang	Weibull	Lognormal	Lognormal	Beta
Distribuição	7 + LOGN(10.5, 9.67)	7 + GAMM(3.52, 1.61)	7 + ERLA(2.33, 2)	7 + WEIB(5.11, 1.64)	7 + LOGN(4.71, 5.88)	7 + LOGN(5.81, 14.3)	7 + 27 * BETA(1.23, 10.3)
Expressão:	0.066340	0.002630	0.001831	0.003283	0.001841	0.011293	0.023041
Erro quadrático:							
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico	= 0.119	= 0.131	= 0.179	= 0.108	= 0.13	= 0.127	= 0.257
Valor p correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra	24	23	24	23	24	22	15
Valor mínimo da amostra	= 7.82	= 7.3	= 7.56	= 7.4	= 7.35	= 7.02	= 7.05
Valor máximo da amostra	= 33.7	= 19.7	= 17.9	= 17.5	= 28.7	= 19.8	= 18.8
Média amostral	= 17.1	= 12.7	= 11.7	= 11.6	= 11.6	= 11.1	= 9.9
Desvio Padrão	= 7.42	= 3.71	= 2.73	= 2.8	= 4.77	= 4.07	= 2.99
Resumo do histograma							
Rangebilidade do histograma	= 7 a 34	= 7 a 34	= 7 a 34	= 7 a 34	= 7 a 34	= 7 a 34	= 7 a 34
Número de intervalos	8	5	5	5	5	5	12

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Outros Subprodutos	Não há recebimento						Não há recebimento
Resumo da Distribuição		Weibull	Lognormal	Normal	Normal	Beta	
Distribuição		-0.001 + WEIB(480, 0.667)	-0.001 + LOGN(387, 265)	NORM(489, 340)	NORM(257, 132)	-0.001 + 1.41e+003 * BETA(1.14, 3.9)	
Expressão:		0.062446	0.020236	0.036750	0.044537	0.028908	
Erro quadrático:							
Teste de Kolmogorov-Smirnov							
Teste estatístico		= 0.318	= 0.172	= 0.15	= 0.151	= 0.202	
Valor p correspondente		= 0.143	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	
Resumo da amostra							
Quantidade de valores da amostra		12	12	12	11	11	
Valor mínimo da amostra		0	174	0	0	0	
Valor máximo da amostra		= 1.41e+003	= 1.39e+003	= 1.29e+003	540	733	
Média amostral		556	401	489	257	319	
Desvio Padrão		531	349	355	139	241	
Resumo do histograma							
Rangebilidade do histograma	1440	= -0.001 a 1.41e+003	= -0.001 a 1.41e+003	= -0.001 a 1.41e+003	= -0.001 a 1.41e+003	= -0.001 a 1.41e+003	1440
Número de intervalos		5	8	8	8	8	

APÊNDICE B

Resultados obtidos pelo modelo referentes ao Cenário 1 (atual)

Tabela 6 – Tempos e quantidades obtidos pelo modelo

Filas e tempos de permanência					
Local	Dado coletado	Tipo	Mínimo	Média	Máximo
Portaria 04	Fila na Rodovia	Qtd	0	0	0
	Tempo de Pátio Abastecimento	T	0:17	0:17	0:18
	Tempo de Pátio Subprodutos	T	0:05	0:05	0:06
	Veículos aguardando no Pátio	Qtd	0	3	13
	Fila Emissão de DT	Qtd	0	0	6
	Tempo de pátio Abastecimento	T	0:16	0:17	0:17
	Tempo de pátio Subprodutos	T	0:08	0:08	0:09
	Tempo de pátio Laminados	T	0:02	0:02	0:02
	Tempo de Permanência de Abastecimento	T	0:21	0:21	0:21
	Tempo de Permanência de Subprodutos	T	0:08	0:08	0:09
	Tempo de Permanência Laminados	T	0:03	0:03	0:03
Portaria 03	Fila da Balança	Qtd	0	1	23
	Tempo de fila da Balança	T	0:00	0:00	0:39
	Tempo de Permanência de Abastecimento	T	0:27	0:28	0:36
	Tempo de Permanência de Subprodutos	T	0:27	0:29	0:34
	Tempo de Permanência Laminados	T	0:48	0:50	0:54
	Veículos estacionados no Pátio	Qtd	0	8	25
Área	Veículos de Abastecimento	Qtd	17	49	88
	Veículos de Subprodutos	Qtd	0	7	18
	Veículos de Laminados	Qtd	5	26	46
	Tempo de Permanência de Abastecimento	T	4:54	5:14	5:19
	Tempo de Permanência de Subprodutos	T	1:05	1:06	1:08
	Tempo de Permanência Laminados	T	5:37	5:49	5:53
Usina	Qtd total de veículos	Qtd	253	509	604
	Qtd de veículos dentro da Usina	Qtd	27	82	132
	Tempo de Permanência de Abastecimento	T	6:05	6:18	6:24
	Tempo de Permanência de Subprodutos	T	1:55	1:57	2:03
	Tempo de Permanência Laminados	T	6:52	7:03	7:07
	Tempo de Permanência Geral (-PS)	T	4:30	4:47	4:50

Tabela 7 - Taxa de utilização de recursos obtida pelo modelo

Taxa de utilização de recursos				
Local	Dado coletado	Mínimo	Média	Máximo
Portaria 04	Portal 1	2,7%	2,7%	2,9%
	Portal 2	0,1%	0,1%	0,1%
	Vigilante Triagem	8,4%	8,4%	9,1%
	Vigilante Emissão Crachá	22,7%	22,7%	24,2%
	Vigilantes Inspeção	44,2%	44,2%	47,7%
	Vigilante Balança	1,8%	1,8%	2,0%
	Balança 1	1,0%	1,0%	1,1%
	Balança 2	0,8%	0,8%	0,8%
Portaria 03	Vigilante Balança	63,6%	63,6%	70,2%
	Balança 1	46,2%	46,2%	50,6%
	Balança 2	27,3%	27,3%	30,5%
	Inspeção Entrada 1	29,6%	29,6%	34,2%
	Inspeção Entrada 2	-	-	-
	Inspeção Entrada 3	-	-	-
	Vigilantes Entrada	29,6%	29,6%	34,2%
	Inspeção Saída 1	37,2%	37,2%	41,0%
	Inspeção Saída 2	-	-	-
	Inspeção Saída 3	-	-	-
	Inspeção Saída 4	-	-	-
	Vigilantes Saída	39%	39%	43%
	Cancela Saída	18%	18%	20%

APÊNDICE C

Tempos médios de cadenciamento de chegadas de veículos e tempos de atendimento dos processos

Pesagem de simples conferência: pesagens aleatórias para conferência de peso por solicitação das áreas internas da empresa. A média mensal de chegadas de veículos na Portaria 03 de 347,6861167 minutos foi inserida no modelo. As pesagens destes veículos ocorrem apenas nesta portaria.

Coque Verde de Petróleo: 9,6 minutos por liberação de carreta.

Veículos da transportadora Grecco, material específico de almoxarifado: configurado no modelo para 77,143 minutos por liberação de carreta.

Há outros dados de tempo configurados no modelo conforme:

Tempos de trajeto:

Tempos referentes aos trajetos de veículos ou pessoas;

Tempos de atendimento (minutos):

Ecopátio:

Triagem: 0.25;

Inspeção Inicial: 10;

Inspeção Final: 20;

Portaria 04:

Portal de Radiação: 0.0833333;

Triagem: 0.25;

Emissão de DTE de Subprodutos: 2;

Emissão de DTA da transportadora Grecco: 36;

Emissão de DTA de Coque Verde de Petróleo: 2;
Emissão de DTA diversos: 6;
Emissão de crachá: 1.32;
Caminhada (ida e volta): 10;
Tempo aguardando autorização para entrar na Usina:
Fundentes: 16;
Ligas: 17;
Material de Almoxarifado: 19;
Inspeção de EPI e documentos: 1.32;
Registro de pesagem na Balança: Veículo normal: 2,25; Veículo longo: 4,50;
Registro de pesagem na Balança automatizada: 30 segundos

Área de embarque/desembarque (minutos):

Local 01 DPA 01: 313;
Local 17 Placas: 422;
Local 2 DPA2: 411;
Local 26 Pátio PI6: 399;
Local 3 DPA3: 403;
Local 4 Mt Frio LI: 423;
Local 5 Mt Frio TF2: 360;
Local 7 MQ CFQ LA: 358;
Local 81 PI LTQ2: 288;
Local 82 PI LTQ2: 346;
Local 9 MQ Bobinadeira: 283;
Local 11 Aciaria 2 PL: 340;
Pátio Chapas Grossas 1: 141;
Pátio Chapas Grossas 2: 257;
Pátio Chapas Grossas 3: 279;
Pátio Chapas Grossas 4: 198;
Pátio Chapas Grossas 5: 227;
Pátio Chapas Grossas 6: 268;
Pátio Externo Placas: 312;
Pátio de Agregado Siderúrgico: 62;

