

ESTUDO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DA OFICINA DE LOCOMOTIVAS DA ESTRADA DE FERRO CARAJAS EM FUNÇÃO DAS NECESSIDADES OPERACIONAIS UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

Mykeandeson Portela de Araujo

Laboratório para Ensino e Pesquisa de Engenharia Ferroviária
Instituto Militar de Engenharia – IME

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da capacidade de produção da oficina de Locomotivas da Estrada de ferro Carajás diante da demanda necessária para atendimento ao volume de transporte. O objetivo é entender o quanto a produção da oficina atualmente está aderente às necessidades operacionais. Um outro objetivo também muito importante é identificar possíveis gargalos ou recursos ociosos nos processos da oficina (manobras, linhas, etc.). Como resultado, busca-se, caso necessário, tomar medidas para que essa taxa de liberação seja a mais aderente possível e os problemas no processo sejam minimizados, proporcionando o atingimento das metas operacionais de transporte. É possível ainda analisar o modelo para planejamento de aumento ou redução de produção, bem como os recursos e ajustes necessários para essas projeções. Para o auxílio na simulação será utilizado o software *Arena*.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of production capacity from Carajás Railroad Locomotives shop before the required demand to supply the transport volume. The goal is understand how the current shop production is adherent to the operational needs. Another goal also very important is to identify potential bottlenecks or idle resources in the workshop proceedings (maneuvers, lines, and so on). As a result, we seek to, if necessary, take steps to ensure this adherence rate be the highest possible, providing the achievement of operational goals of transport. It's possible also analyze the model for planning production increase or reduction as well as the resources and necessary adjustments to these projections. For assistance in the simulation will use the software *Arena*.

1. INTRODUÇÃO

Para que seja possível saber a demanda de produção da oficina de Locomotivas, primeiro deve-se conhecer qual é a meta de volume a ser transportado, após isso, a quantidade de trens/dia e, por fim, a quantidade de Locomotivas para atendimento a esses trens. Existe uma equipe que faz especificamente esse estudo através de simulações, inclusive com o uso do Software *Arena* e também o planejamento de longo prazo.

Na primeira parte será verificado qual é a demanda de Locomotivas necessárias para o atendimento ao programa de Volume transportado, bem como algumas premissas para que isso seja possível. Após verificada essa necessidade, será então analisado qual é a produção atualmente da oficina de locomotivas, considerando todas as máquinas liberadas, sejam elas de inspeção, revisões leves ou pesadas, usinagens de rodas, etc. Esses resultados serão comparados com a demanda necessária de volume.

Por fim, serão analisadas as necessidades de ações para melhoria da aderência ao orçamento, bem como a análise de um possível aumento ou redução de produção. As ações devem contemplar também o planejamento para os próximos anos, considerando que essa produção deva aumentar sistematicamente. Para as simulações das produções e possíveis ajustes será utilizado o software *Arena*, o qual trará um resultado o mais próximo possível, da realidade.

2. DEMANDA DE VOLUME

Para este trabalho será considerado um número hipotético e próximo do volume orçado a ser transportado pela EFC em 2015. A tabela 1 abaixo apresenta o quantitativo de Trens por dia e liberações de locomotivas boas de viagem considerando o volume:

Tabela 1: Demanda de Locomotivas baseado no volume orçado

Descrição	Quantidade
Volume	130.000.000
Trens/dia	10,8
Lotes descarregados/dia	31
Minutos entre saídas de trens	133,3
Minutos para liberação de uma locomotiva	38

Cada trem de carga de Minério é formado por quatro (Frota C44 e SD70) ou três locomotivas (Frota ES58ACi (EVO), SD80), dependendo da potência das máquinas. Pela tabela acima, é preciso liberar uma locomotiva a cada 38 minutos para que a cada 133,3 minutos se tenha um trem pronto pra viagem. Esse número foi calculado considerando o número de 3,5 locomotivas por trem. Assim será possível fazer o programa de 10,8 trens/dia. Para que não haja ociosidade na formação dos trens, é necessário que sempre haja, pelo menos, sete locomotivas liberadas boas para viagem (número calculado pela engenharia de operações).

Existem ainda vários fatores que podem influenciar no alcance do valor orçado de volume. Dentre eles podem-se listar os impactos na via permanente, sinalização da via, falhas em vagões e locomotivas, falta de ativos (vagões e locomotivas), problemas no carregamento (Mina) ou descarregamento (virador de vagões), falhas operacionais, etc.

Para os objetivos deste trabalho, serão tratados apenas os impactos devido à falta de Locomotivas disponíveis para formação dos trens.

3. PRODUÇÃO DA OFICINA DE LOCOMOTIVAS

3.1 Layout da Oficina de Locomotivas da EFC

Para que seja possível entender o processo, o layout das linhas de abastecimento e oficina é mostrado abaixo:

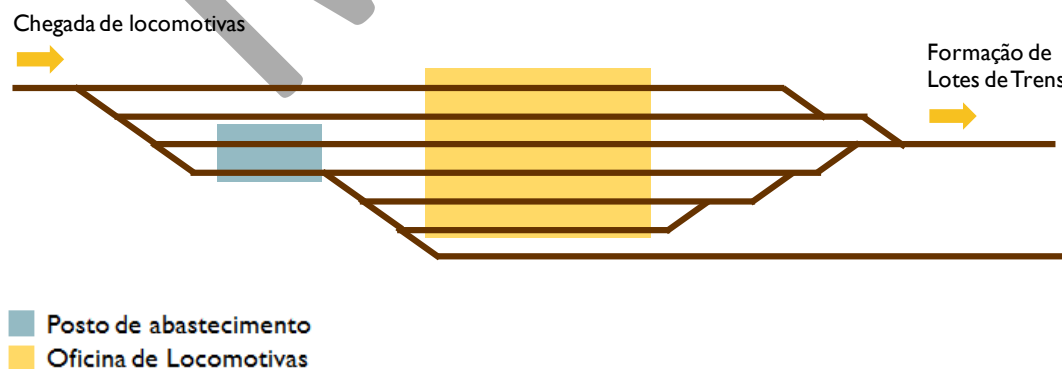


Figura 1: Layout do abastecimento e Oficina de locomotivas

A operação entrega os lotes de locomotivas ininterruptamente e possuem uma regularidade que segue uma distribuição Beta, conforme a equação:

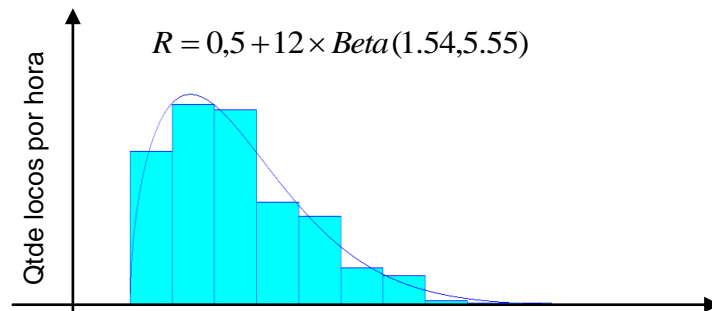


Figura 2: Modelo de regularidade de entrega de Locomotivas - Distribuição Beta

Estes valores foram coletados dos dados do UNILOG (Sistema de Controle da Operação Vale) no período de Janeiro a Julho de 2015. Os valores que estavam fora dos limites normais foram excluídos (dados pontuais) para garantir um grupo de dados mais confiáveis.

O ideal seria que essa regularidade de entrega fosse a mais estável possível, com uma média e desvio padrão bem definidos, preferencialmente com média 2 e desvio padrão de ± 1 e seguisse um modelo de Distribuição Normal. Porém, como já foi citado anteriormente, ela não segue esse modelo de distribuição, e isso impacta diretamente na liberação das máquinas, já que haverá alguns momentos de ociosidade nas linhas de manutenção ou máquinas água

3.2 Posto de Abastecimento

O posto de abastecimento tem capacidade para abastecer até 3 locomotivas simultaneamente, embora tenha seis vagas disponíveis. O abastecimento leva em média 30 minutos. Após as locomotivas chegarem, se houver vaga já disponível no abastecimento, as mesmas já são direcionadas para lá, caso contrário, elas ficam em uma fila de abastecimento aguardando a disponibilidade de uma vaga. Após o abastecimento o status das máquinas são alterados para Ret-fila (Retenção motivo: fila aguardando inspeção) e, caso tenha vaga disponível nas linhas de inspeção as mesmas já ocupam essas linhas. Caso não tenha vaga ainda, as locomotivas continuam como “Ret-fila” até que seja disponibilizada uma vaga na oficina.

A figura 3 apresenta o layout simplificado do posto de abastecimento:

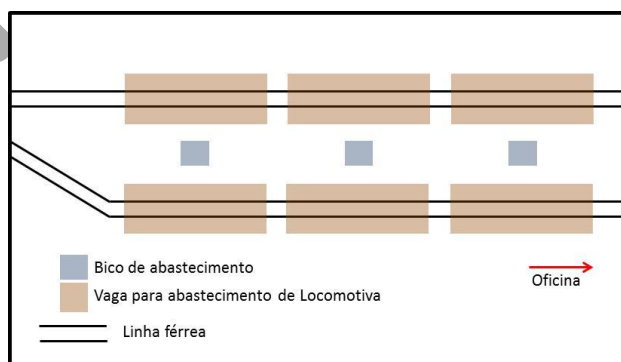


Figura 3: Layout das linhas de Abastecimento

3.3 Inspeção de Locomotivas

A inspeção de Locomotivas possui duas linhas disponíveis, sendo que cada linha tem a capacidade de dar manutenção em três máquinas simultaneamente. Uma terceira linha fica com a equipe de manutenção de equipamentos de bordo, porém é utilizada pela inspeção para pequenos serviços de corretiva quando a equipe de bordo não está trabalhando em alguma máquina.

Existem dois tipos de Inspeções: Inspeção de Observação e Inspeção de Conservação. Na inspeção de observação são feitas apenas algumas verificações quanto a níveis ou falhas registradas. Leva em média 20 minutos e é realizada junto com o abastecimento da máquina. Essa atividade é feita por um mecânico, um eletricista e um técnico de pneumática.

A inspeção de Conservação leva em média 180 minutos desde a entrada da locomotiva na oficina até a liberação da mesma. É necessário um mecânico, um eletricista e um pneumático para a realização da mesma. Caso haja alguma corretiva pequena (em torno de uma hora no máximo) a mesma é realizada pela inspeção no terceiro posto de manutenção, caso a corretiva exija um tempo maior que esse, a máquina é direcionada para a terceira linha ou para a revisão leve de locomotivas.

Na figura abaixo é apresentado o layout das linhas de inspeção, com a definição dos postos de trabalho e o posicionamento das locomotivas na linha:

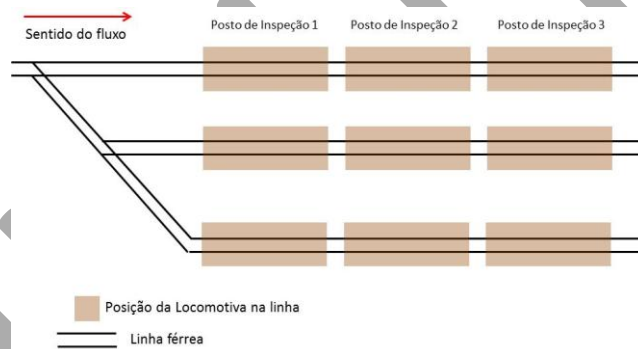


Figura 4: Layout das linhas de Inspeção de Locomotivas

O modelo matemático usado para representar o processo da inspeção de conservação é a Distribuição *Erlang*, conforme equação abaixo (Ver figura 5):

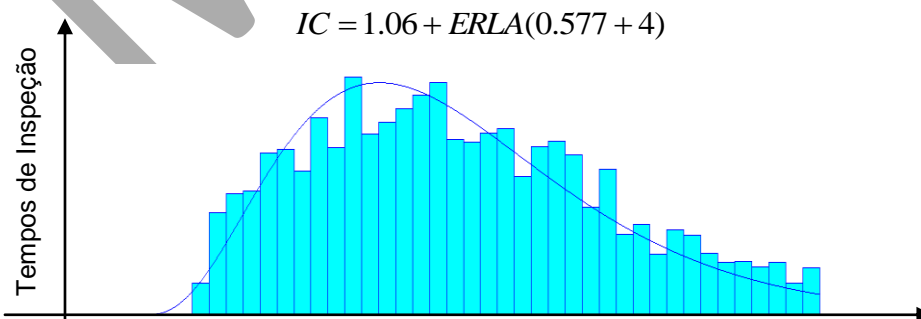


Figura 5: Distribuição *Erlang* para o processo de Inspeção

Com valor médio de 3,37 horas e desvio padrão de 1,07 horas. Dados coletados do período de Janeiro a Julho de 2015, considerando todas as frotas.

3.4 Revisão de Locomotivas

A Revisão de Locomotivas possui duas linhas disponíveis: uma para corretiva e outra para preventiva, sendo que cada linha tem a capacidade de dar manutenção em três máquinas simultaneamente.

Os processos da revisão são muito mais demorados, e seguem a equação abaixo:

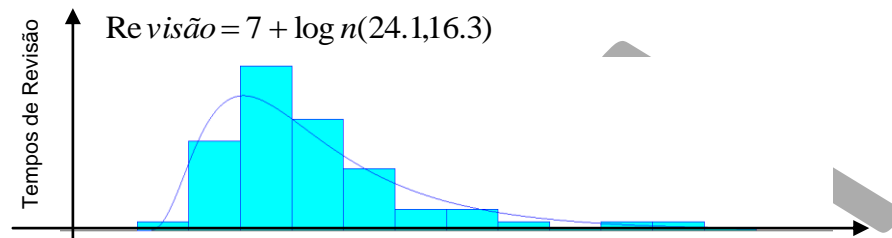


Figura 6: Distribuição *Lognormal* para o processo de Revisão de Locomotivas

Além do processo da revisão, ainda existem outros processos menores, como usinagem de rodas, troca de rodas, reaperto do motor diesel, Planos de Confiabilidade, entre outros, que serão levados em consideração na simulação, porém não serão descritos neste trabalho devido baixa ocorrência se comparado aos processos já descritos.

4. SIMULAÇÕES COM O SOFTWARE *Arena*®

Para que seja possível simular diferentes condições na oficina em relação à regularidade de entrega, uso de postos de trabalho, filas ou outros gargalos, foi utilizado o software *Arena*®, da *Rockwell Automation Technologies*. Utilizando essa simulação será possível verificar qual é a taxa de liberação de locos atualmente e qual distância essa taxa está em relação à demanda orçada. Além disso, também será verificado onde estão os possíveis gargalos/ociosidades do processo, para que sejam sugeridas ações de melhoria para mitigação desses problemas.

4.1 Apresentação do software *Arena*

O *Arena* é ao mesmo tempo uma linguagem de simulação e um ambiente de trabalho e experimentação, que pode ser usado para testar o modelo e fazer a apresentação de seus resultados, através de avançados recursos de animação.

Sua interface segue os padrões do MS Office, com comandos e botões semelhantes e menus que agregam funções semelhantes às encontradas em outros softwares Windows. Para as simulações deste trabalho foi utilizada a versão 14.70.00004, acadêmica. A tela de trabalho principal do *Arena* está apresentado na figura 7 abaixo:

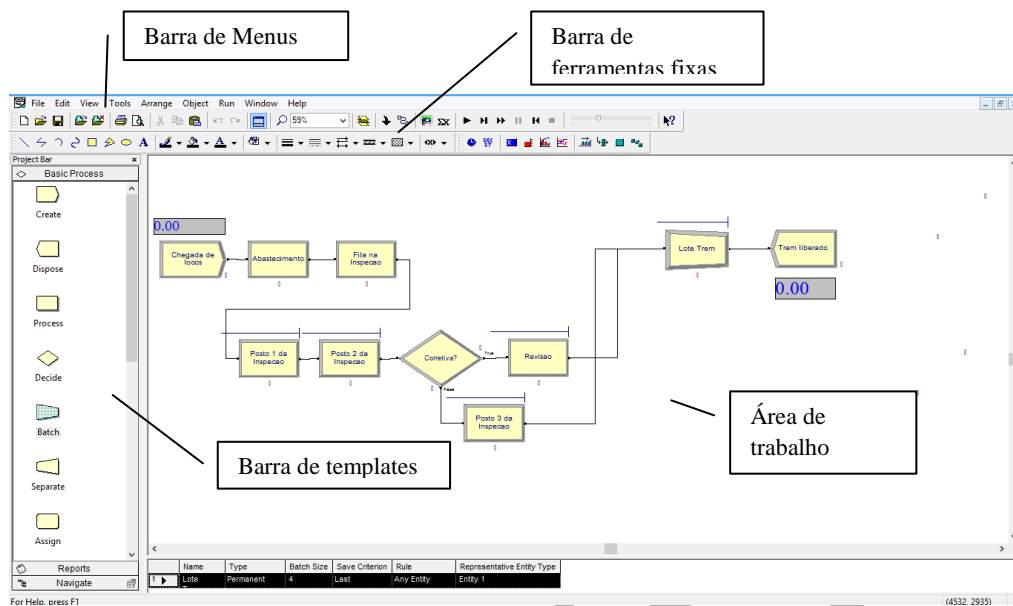


Figura 7: Tela de Trabalho do software *Arena*

Nesta tela é possível inserir os módulos característicos de cada etapa do processo, bem como detalhar as particularidades de cada uma delas. Também é possível visualizar as simulações sendo executadas e as animações, caso existam.

4.2 Criação dos Módulos

Em uma simulação é construído um modelo lógico-matemático que representa a dinâmica do sistema em estudo. Este modelo normalmente são tempos, recursos disponíveis, etc. No *Arena*, esta modelagem é feita visualmente com objetos orientados à simulação e com o auxílio do mouse, não necessitando serem digitados comandos na lógica (programação).

No modelo da simulação serão inseridos dados para que ele represente com precisão o sistema em estudo. Alguns dados têm valores bem determinados, como por exemplo, distâncias, número de máquinas disponíveis e outras. Porém existem aqueles que são indeterminados, normalmente os que envolvem tempo, pois os processos não são exatos, podendo ter variações em torno de um valor médio. Este valor médio, normalmente, é utilizado em simulações estáticas e folhas de processo. Porém, em uma situação dinâmica, que é o caso em estudo, tem-se a possibilidade de se inserir esta variação no modelo, através de distribuições estatísticas. Os principais módulos serão destacados em seguida para que seja possível entender qual foi a lógica de programação e os resultados da mesma.

4.2.1 Módulo *Create*

O primeiro módulo a ser criado é o de Chegada de Locomotivas na oficina. No *Arena* o módulo utilizado foi o *Create*, que é o bloco onde as entidades são introduzidas na simulação. Para este módulo foram usados os dados citados no item 3.1 deste trabalho, ou seja, o modelo matemático de regularidade de entrega de locomotivas. Na figura 7 tem-se como esse bloco foi cadastrado:

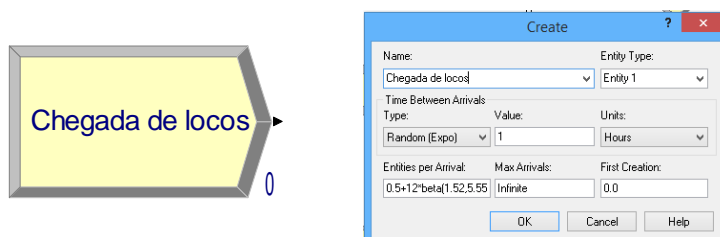


Figura 8: Configuração do Módulo *Create* - Chegada de Locomotivas na oficina

4.2.2 Módulo *Decision*

Este módulo é utilizado para tomar decisões diante de determinadas situações. Essas decisões podem ser baseadas num histórico, sendo atribuídos um determinado valor percentual fixo, através de expressões matemáticas ou condições diversas de algum outro módulo.

Nos casos utilizados nessa simulação, a maioria foi tomada baseado na condição de ocupação da linha, conforme o exemplo da figura 9:

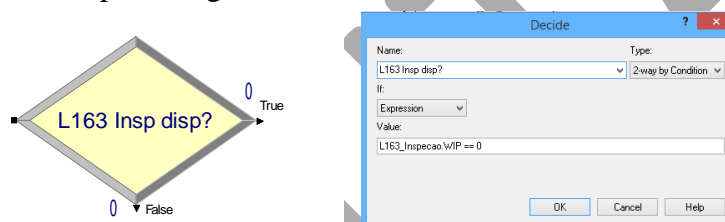


Figura 9: Configuração do Módulo *Decision*

4.2.3 Módulo *Process*

O módulo *Process* tem a função de representar qualquer ação dentro do sistema que leve um tempo para ser cumprida. Também é capaz de representar a ocupação de uma máquina ou operador (recurso). Para a finalidade deste trabalho foram usados vários desses módulos, representando diversos processos, como manobras, planos de manutenção preventivos ou corretivos, inspeções, etc. A figura 10 ilustra o exemplo do processo de inspeção:

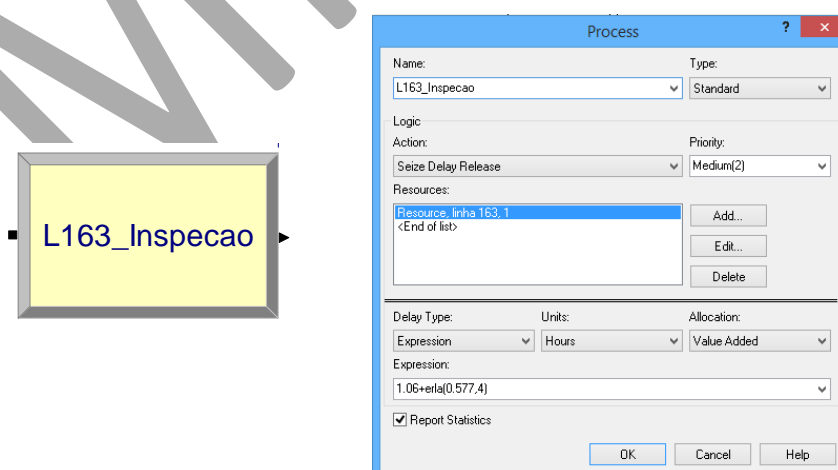


Figura 10: Configuração do Módulo *Process* - Inspeção de Locomotivas

As linhas férreas foram registradas nos módulos como recursos, para que se possa ter noção da utilização das mesmas.

4.2.4 Módulo *Dispose*

Este módulo tem a função de receber todas as saídas da simulação. Ele armazena a informação e disponibiliza a mesma para que possa ser analisada. Foram utilizados dois desses módulos: um para contabilizar a quantidade de trens de Minério e outro para contabilizar os três de carga geral, conforme figura 11:

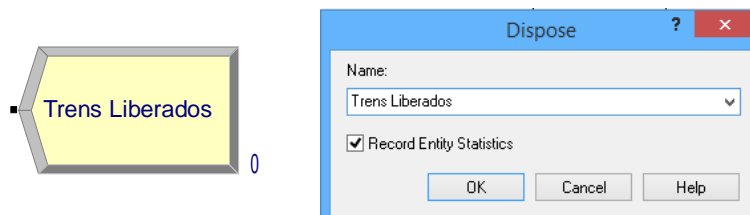


Figura 11: Configuração do Módulo *Dispose*

5. RESULTADOS

O Layout da simulação de todo o processo ficou relativamente compacta devido as limitações da versão estudantil do Arena utilizada. A figura 12 mostra como ficaram todos os blocos da simulação:

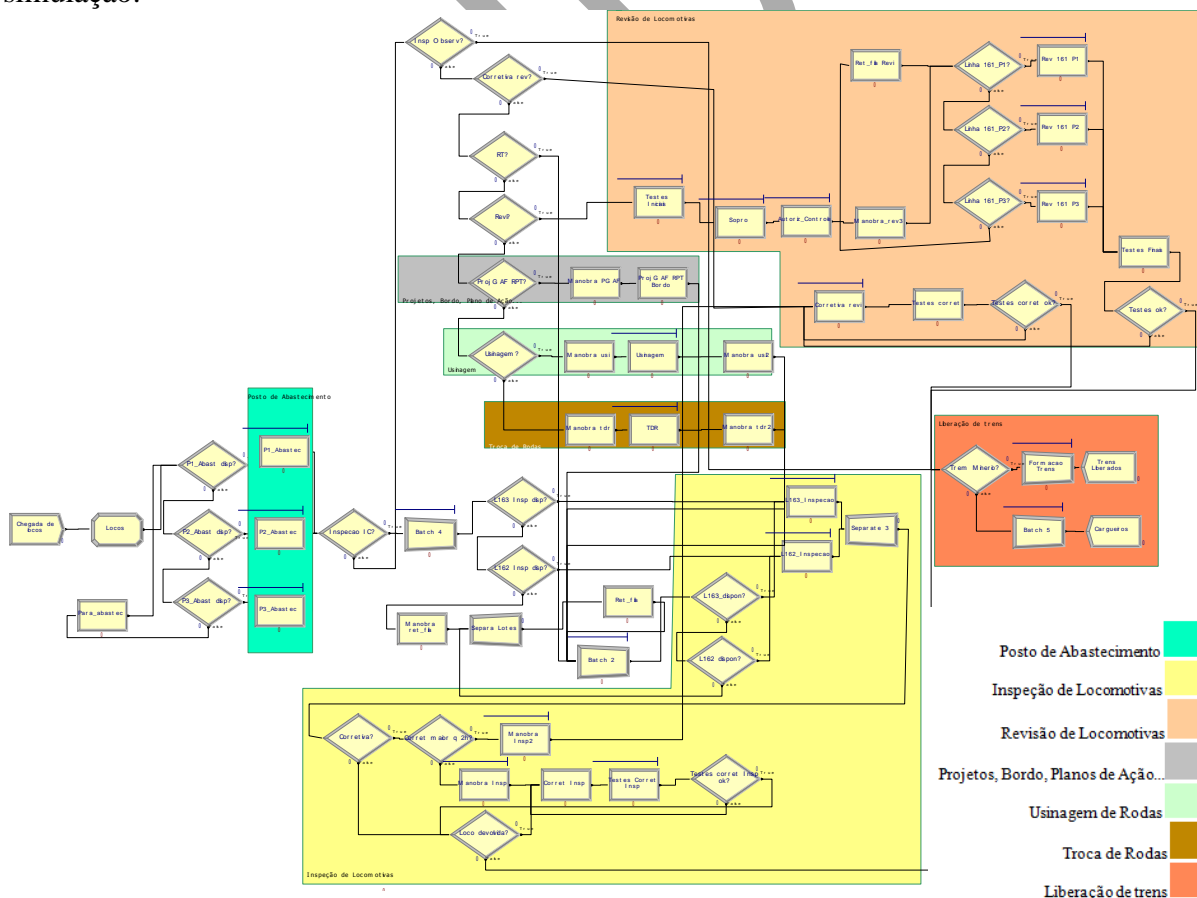


Figura 12: Layout Geral da simulação

Para a realização da simulação, a configuração foi realizada conforme figura 12:

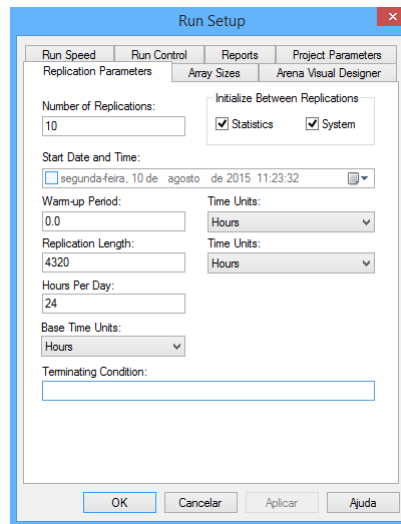


Figura 12: Configuração do Modo de Simulação

O comprimento da replicação ficou em 4320 horas (6 meses) e foram feitas 10 replicações.

5.1 Resultados da Simulação

Após executar a simulação foram obtidos os resultados abaixo (figura 13):

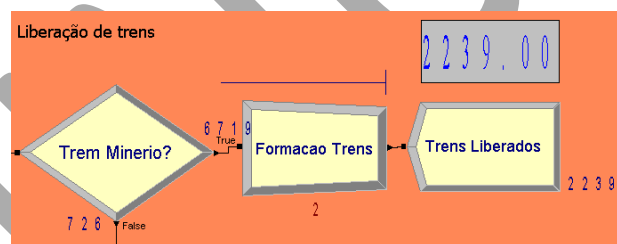


Figura 13: Quantidades de Trens de Minério liberados

Dividindo esse valor por 180 (quantidade de dias em 6 meses), tem-se 12,4 trens liberados por dia. Comparado com a demanda operacional de 10,8 trens/dia, a produção da oficina consegue atender à necessidade operacional, apesar de não ser um valor muito confortável. Esses dois trens/dia a mais produzidos (em torno de 7 locomotivas) serve de pulmão caso aconteça algum problema pontual que quebre a rotina normal da oficina e venha a impactar as liberações.

Além dessa simulação foi também analisado a possibilidade de aumento de produção nos próximos anos e o que poderia ser gargalo na oficina caso isso aconteça.

Tomando por base um aumento na frota de Locomotivas da ordem de 11%, por exemplo, isso alteraria todo o fluxo de planos preventivos e outras manutenções adicionais (inspeções, usinagens, abastecimento, etc.).

A partir dessa possibilidade, a média de chegadas de locomotivas por hora subiu também 11%, saltando de uma média de 3,08 para 3,38. Utilizando o mesmo *Run Mode* da primeira simulação, a segunda simulação foi realizada.

Na figura 14 é possível ver onde os gargalos foram detectados:

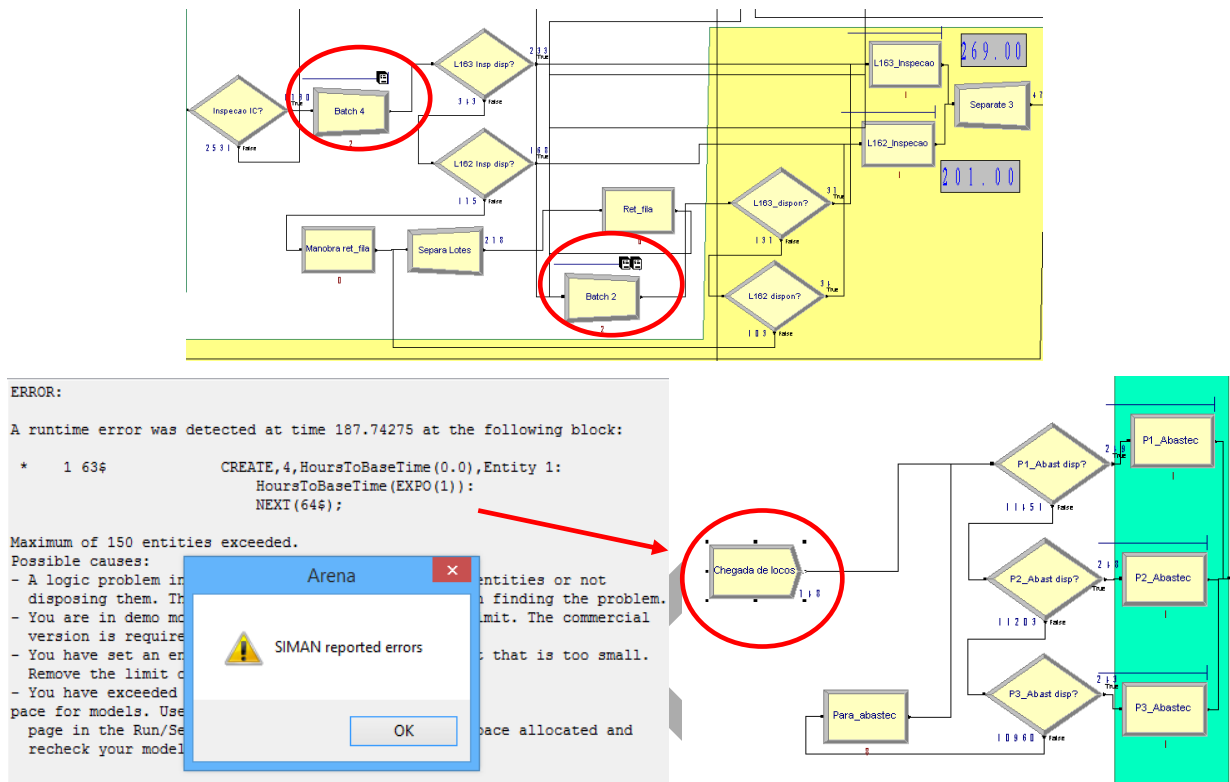


Figura 14: Identificação de gargalos na entrada das linhas de inspeção e no posto de abastecimento

A atual condição da oficina não conseguiria suportar essa nova condição de aumento de produção (e consequente aumento de demanda de trens liberados).

O primeiro gargalo foi no próprio abastecimento, onde criou-se fila e apenas os três bicos disponíveis seriam insuficientes. Haveria necessidade de pelo menos mais um ou dois bicos para resolução do problema.

Um outro ponto problemático foi a fila aguardando entrar na oficina. Como o número de vagas continua o mesmo e a quantidade de locomotivas aumentou, a oficina não consegue atender toda a necessidade. Para esse caso haveria uma possível solução com duas ações combinadas: a primeira é aumentar a quantidade de linhas de inspeção e somado a isso diminuir o máximo possível o tempo de inspeção sem afetar a confiabilidade da manutenção.

Em relação ao segundo objetivo, ou seja, verificar gargalos no processo da oficina observando o cenário real, os resultados da simulação mostraram algumas oportunidades de melhorias.

5.2 Identificação de Gargalos no processo e Propostas de ações

Um dos gargalos identificados foi na manobra do abastecimento para a Oficina de Usinagem. Embora o tempo seja em torno de vinte minutos em condições normais, como essa manobra tem que retornar pela linha onde as locomotivas chegam na oficina, há um atraso grande aguardando a autorização da manobra. Isso acontece porque as máquinas abastecem obrigatoriamente antes de qualquer intervenção pela manutenção.

Para este gargalo, uma sugestão de solução seria que a operação verificasse a ocupação dos postos de abastecimentos. Caso estejam ocupados, ao invés de deixar as máquinas aguardando abastecimento, manobrar logo para a usinagem (que fica antes do abastecimento). Assim, depois que a locomotiva usinasse, entraria no abastecimento e depois na inspeção, sem necessidade da manobra demorada.

Um outro gargalo foi verificado em relação às locos que saem do abastecimento para fazerem inspeção. Como ficam na mesma linha, caso a máquina tenha acabado de abastecer e não houver vaga nessa linha dentro da oficina, o Inspetor Orientador terá que avaliar se será melhor aguardar a linha ser liberada ou manobrar para a linha que está livre, o que demanda muito tempo e risco na manobra.

Como sugestão, seria uma opção mais estrutural, instalar um travessão de modo que as linhas possam se cruzar (da linha 163 para a 162 e vice-versa). O desenho para esta solução pode ser observado na figura 15:

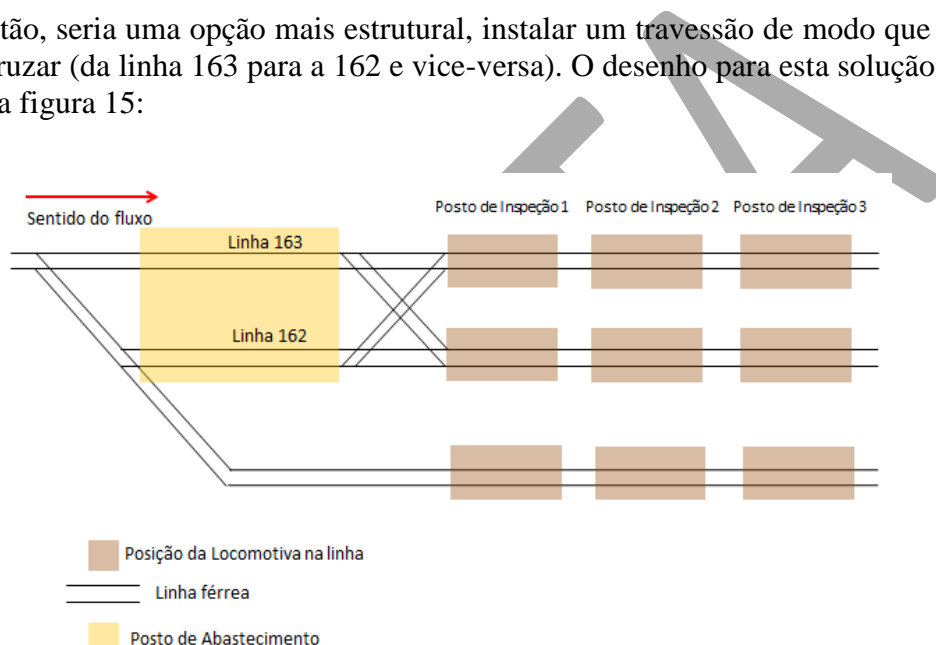


Figura 15: Sugestão de cruzamento de instalação de um travessão entre as linhas 162 e 163.

O recurso linha de manutenção também foi analisado. Nas linhas de corretiva (164 e 165) tiveram vários momentos que formaram fila (locomotivas aguardando manutenção). Essa formação de fila demonstra a prioridade de máquinas de plano preventivo em relação às corretivas. O ponto negativo é que as locomotivas que demorem a ser diagnosticadas acabam fazendo com que essa fila aumente e possa causar um impacto maior na liberação dos trens.

Há duas frentes principais para reduzir o número de corretivas: a primeira e melhor é trabalhando pra evitar que as mesmas aconteçam (foco na causa raiz). O segundo é trabalhar na otimização dos tempos de intervenção.

Para a primeira frente a opção é realizar uma análise sistêmica dos principais modos de falhas em conjunto com estudos preventivos como a implantação de FMEA, FTA, FMECA, ou outros similares.

E para a segunda, é entender todo o detalhe de como o processo de corretivas funciona hoje (fluxos, tarefas, responsáveis, etc) para tentar entender onde está o problema e usar uma metodologia de melhoria contínua para resolvê-lo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, nota-se ainda algumas oportunidades de melhoria no sistema como um todo. Os recursos de mão-de-obra e uso de algumas ferramentas e equipamentos não foram abordados detalhadamente por conta da limitação da versão do software utilizado.

Os processos não foram estudados de forma aprofundada por conta dessa limitação, mas essa análise básica já mostra que é possível ter ganhos significativos se estes forem simulados em uma versão profissional do software e todas as outras variáveis e requisitos forem levados em consideração.

É importante lembrar que a rotina de uma oficina não é um processo trivial, pois existem muitas variáveis que devem ser levadas em consideração (quadro de pessoal, capacidade técnica, frequência das pessoas, aspectos ambientais, entre outros..), e que limitam a simulação por falta de precisão na coleta desses dados. Porém isso não inviabiliza a simulação, pois os principais fatores estão como entradas principais.

7. CONCLUSÕES

A simulação, de uma forma geral, constitui-se uma importante ferramenta de análise e estudos de melhorias para processos novos ou já existentes, conforme foi verificado neste trabalho.

As limitações da versão acadêmica do *Arena* em relação às diversas variáveis presentes na oficina podem ser minimizadas se cada processo for estudado separadamente e os demais recursos forem explorados, garantindo maior precisão nas simulações. Uma boa alternativa também é utilizar a versão profissional, que tem capacidade de analisar todas essas possíveis variáveis.

Apesar disso, esse *software* se mostrou uma ferramenta essencial na simulação de processos e através dele foi possível atingir os objetivos propostos. A produção da oficina de Locomotivas na EFC, da maneira em que está hoje, consegue atender a necessidade operacional, porém ainda existem alguns gargalos que podem ser minimizados. Foram sugeridas algumas opções para resolver esses problemas, os quais se aplicados, darão um bom resultado para o alcance de um nível mais alto de excelência de manutenção.

Conclui-se ainda, que essa simulação realizada torna-se um modelo básico para estudos futuros e mais aprofundados de todos os processos da oficina, bem como suas particularidades. Poderá servir para modelagem de cenários, tanto para redução como para aumento de produção, garantindo assim um planejamento mais adequado diante dessas diferentes situações e, conseqüentemente, reduzindo riscos de investimentos desnecessários para a empresa.

8. AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pela minha vida e por ter me dado a oportunidade de chegar onde estou.

Agradeço à minha esposa Jéssica Araujo e meu filho Nicolas (que nasceu ao longo do curso) pelo apoio em todos os momentos da vida, me dando forças e motivo para continuar em frente.

Agradeço a meus Pais, irmãos e familiares como um todo pelo apoio e incentivo.

Agradeço também ao Deyvison Ribeiro e João Amorim, por terem me concedido a oportunidade de realizar este curso e desenvolver este trabalho.

Agradeço ao Vladimir Crisóstomo, que me instruiu a usar da melhor maneira o software *Arena*.

Agradeço, por fim, aos Professores Silveira Lopes e Manoel Mendes e toda a equipe do LABFER pela paciência e dedicação com os alunos do curso.

9. REFERÊNCIAS

Introdução à Simulação com Arena e Análise de Dados. 14 de Abril de 2015

REAL, Mário Antônio N. P. Corte. DOCTEC 18422 - Premissas Operacionais Minerio TFPM - PCL 2015. 02 de Abril de 2015. São Luís.

LATALIZA, Renato. Sistema de Transporte Ferroviário de Carga – Superestrutura e Geometria de Via. 2015.