

## Modelagem de Ciclo de Abastecimento e Consumo de Tanque de Gasolina no Software Arena

José Henrique da Costa Queiroz Gonzalez (Universidade Federal do Amazonas)

[jhenrique.gonzalez@gmail.com](mailto:jhenrique.gonzalez@gmail.com)

Igor Reis Barros (Universidade Federal do Amazonas) [igorrb@hotmail.com](mailto:igorrb@hotmail.com)

Diego Freitas de Almeida (Universidade Federal do Amazonas) [diegof789@gmail.com](mailto:diegof789@gmail.com)

Armando Araújo de Souza Júnior (Universidade Federal do Amazonas) [armando-jr07@bol.com.br](mailto:armando-jr07@bol.com.br)

Sandro Breval Santiago (Universidade Federal do Amazonas) [sbreval@gmail.com](mailto:sbreval@gmail.com)

**Resumo:** Um dos grandes problemas dos sistemas de produção de gás e combustível são a sua logística e infraestrutura, muito por conta da sua imensa cadeia de suprimentos e altíssimo fluxo de produtos e recursos, tornando-os extremamente complexos e de difícil análise. O objetivo desta pesquisa foi utilizar o software de simulação *Arena* e suas ferramentas com o objetivo de propor um modelo de simulação computacional aproximado, a partir de dados levantados ao longo de um período de tempo, que tornasse possível tomadas de decisões sem a necessidade de alterações no sistema real, proporcionando assim economia e melhor utilização de recursos. Após a modelagem dos dados levantados e a construção do modelo, foi possível constatar um elevado tempo ocioso no sistema, muito provavelmente por conta do descompasso entre a frequência do abastecimento e consumo.

**Palavras chave:** Simulação, Produção, Combustível.

## Modeling of Supply and Consumption Cycle in a Gasoline Preparation Tank using Arena Software

**Abstract:** One of the major problems of gas and fuel production systems is their logistics and infrastructure, largely because of their huge supply chain and extremely high flow of products and resources, making them extremely complex and difficult to analyze. The objective of this research was to work on this complex system using the Arena simulation software and its various tools in order to propose an approximate computational simulation model, based on data collected over a period of time, that would make possible to take decisions, without the need for changes to the real system, thus providing savings and better resource utilization. After modeling the data collected and building the model, it was possible to find a high idle time in the system, most likely due to the mismatch between the frequency of supply and consumption.

**Key-words:** Simulation, Production, Fuel.

## 1. Introdução

A infraestrutura logística dos sistemas de produção de gás e combustível necessitam de investimentos de capital e são implementações a longo prazo. Elas possuem uma cadeia de suprimentos com fluxo constante de produtos utilizando recursos compartilhados, tais como oleodutos e tanques de armazenamento, resultando, assim, em um sistema complexo. De acordo com Costa et al. (2014), tais características contribuem para uma grande dificuldade em se projetar um sistema que atenda às necessidades e demandas de um mercado em constante crescimento, o que pode ser melhorado utilizando técnicas de simulação e modelagem.

Atualmente, a simulação e modelagem são uma das mais importantes técnicas de auxílio ao gerenciamento da produção. A economia de mercado força as empresas a resolver problemas altamente complexos na menor quantidade de tempo possível. Segundo Jardzioch e Jaskowski (2013) e Costa et al. (2014), a modelagem de sistemas produtivos tem como objetivo entender a estrutura e operação das instalações construídas. Os modelos podem ser físicos e abstratos e se tornam necessários, pois os equipamentos industriais estão se tornando cada vez mais complexos. Ainda segundo o autor, devido a uma forte competição global de mercado, as empresas não podem se dar ao luxo de cometer o menor dos erros ou atrasar a produção.

A simulação pode ser definida como uma técnica, ou conjunto de técnicas, através das quais se criam modelos que ajudam a entender o comportamento de um sistema, real ou hipotético (Más et al., 2016). A simulação está ligada ao processo de melhorias de eficiência e organização de um sistema. Além disso afirmam que as simulações por eventos discretos se tornaram as mais comumente utilizadas para se analisar a dinâmica de eventos produtivos, sendo utilizada de forma satisfatória em numerosos estudos, facilitando as tomadas de decisão em um contexto da produção.

Neste contexto tem-se a aplicação de softwares que auxiliam no desenvolvimento da modelagem e das simulações, como o *Tecnomatix Plant Simulation* e o *Arena*. Para a abordagem utilizada nesta pesquisa será utilizado o *Arena* para modelagem e simulações e uma de suas ferramentas, chamada *Input Analyzer*, para as análises de dados.

Este artigo tem como objetivo propor um modelo aproximado para o sistema de armazenamento e produção de combustível, utilizando o software *Arena*, tendo como universo amostral as operações realizadas em um tanque de uma refinaria da cidade de Manaus por um período de 6 meses.

A estrutura do artigo será dividida em cinco seções, começando por esta introdução, em seguida será exposto o referencial teórico inerente à pesquisa, seguido da metodologia utilizada, dos resultados e discussões finais.

## 2. Referencial Teórico

O estudo de fenômenos e processos é o foco de muitas pesquisas atuais. Para isto são envolvidas várias aplicações de diversos métodos. De acordo com Kikolski (2017), tudo começa com atividades práticas na forma de observações, terminando com análises teóricas. Tais procedimentos necessitam de ferramentas matemáticas.

Atualmente, dispõe-se de diferentes opções de ferramentas computacionais para simulações e otimizações de processos, logo uma simulação computacional torna-se de extrema importância em um método efetivo de pesquisa. Ainda segundo o autor, isto reflete o

fenômeno ou processo estudado na forma de um programa de computador, também chamado de modelo computacional, criado através de um modelo matemático. A partir deste modelo tem-se a possibilidade de analisar os diferentes comportamentos de determinado sistema diante de condições aplicadas ao mesmo.

De acordo com Costa et al. (2014), o processo de retirar um modelo de uma parte do mundo real é conhecido como modelagem conceitual, escolhendo o que deve ou não ser incluso no mesmo. Ainda de acordo com o autor um modelo conceitual deve incluir objetivos, entradas, saídas, informações, simplificações e suposições do mesmo.

Atualmente os termos “simulação” e “modelagem” são amplamente utilizados, tornando-se assim necessário definirmos ambos. De acordo com Siderska (2016), simulação é uma representação de um sistema real incluindo seus processos dinâmicos em um modelo digital, permitindo assim a transferência das decisões tomadas na simulação para a realidade. Modelagem é uma cópia simplificada de um sistema planejado ou real, incluindo seus processos, em um outro sistema.

Uma simulação computacional, como um método, é um sistema de atividades de pesquisa focados em conseguir um objetivo. A figura 1 apresenta o fluxograma com as principais atividades envolvidas em uma simulação computacional.

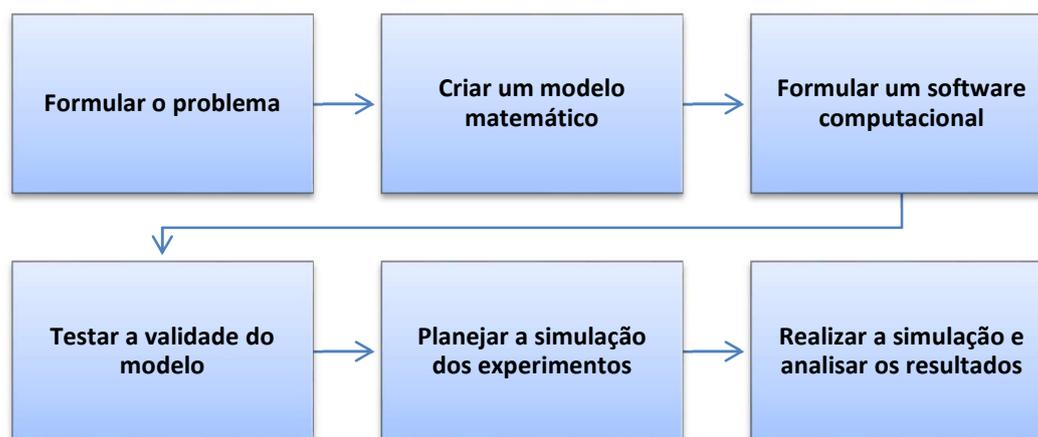


Figura 1 – Atividades de pesquisa de uma simulação computacional

Os sistemas produtivos atuais são caracterizados por uma vasta quantidade de produtos e redução dos seus ciclos de vida, custos de produção e tempo entre o projeto e lançamento. Obter dados em tempo real é essencial para se medir a compatibilidade dos resultados com o que foi planejado. Segundo Karkula (2012), a aplicação da simulação nos processos de produção é uma forma de experimentação em um modelo computacional. O seu objetivo é mostrar como o sistema irá reagir em diversas situações, de acordo com cenários criados.

De acordo com Kliment et al. (2014), a implementação de soluções computacionais na engenharia de produção permite uma redução de custos que uma empresa pode ter devido a decisões erradas no planejamento e modernização de suas linhas de produção. A aplicação de modelos de simulação permite uma seleção mais eficaz das estratégias de produção e os mesmos são utilizados quando é impossível ou extremamente difícil de se obter uma solução analítica de um problema estudado.

Segundo Kikolski (2017), a criação de um modelo de simulação requer aprofundado conhecimento do sistema apresentado e as ferramentas do software a ser utilizado, ainda segundo o autor, o objetivo deve ser sempre construir o modelo da forma mais simples possível, no entanto, descrevendo a atividade ou processo com a maior precisão que se possa alcançar.

Há, porém, uma ressalva do autor, onde a utilização de ferramentas de simulação não deve excluir os métodos tradicionais de análise de produção, ao invés disso, as ferramentas devem atuar como um meio de confirmar se o planejamento realizado de fato é o mais adequado. A escolha da ferramenta computacional a ser utilizada é essencial para a análise, é fundamental que os meios de análise da ferramenta estejam alinhados e adequados ao objetivo da pesquisa. Na realização desta pesquisa foi utilizada a ferramenta Arena.

Segundo Li et al. (2018), o software ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. Ele é desenvolvido pela empresa Rockwell Automation, atualmente está na versão 16.0. Segundo Li et al. (2018) e Yuniawan e Aang (2018), o software traz diversos benefícios, como:

- A possibilidade de observar e eliminar potenciais problemas que poderiam causar gastos desnecessários e modificações futuras no processo que desperdiçariam tempo;
- Minimizar os custos de investimentos;
- Otimizar as atividades já existentes de sistemas logísticos e produtivos através de testes prévios no modelo de simulação.

O programa possui avançadas ferramentas analíticas, como análise de gargalos, análises estatísticas e gráficos que podem gerar diferentes cenários produtivos. De acordo com Abrishami et al. (2018), os resultados obtidos no programa podem ser utilizados para tomada rápida de decisões em estágios iniciais do planejamento produtivo. Desta forma é possível otimizar o fluxo de material, o uso dos recursos e a logística de cada nível de planejamento, desde empresas pequenas a grandes fábricas de escala global.

Em um sistema produtivo, quando visa-se otimizá-lo, devemos sempre identificar o seu gargalo. Segundo Kikolski (2016), na produção, gargalo é o elemento do processo produtivo onde todos os recursos que precisam ser utilizados para maximizar a produção é utilizado 100%. Ele é uma limitação da eficiência produtiva. Na prática, é o posto de trabalho ou célula produtiva com o menor nível de um parâmetro específico de produção. Um posto de trabalho antes do gargalo completa o seu processo, mas é impedido de avançar o material pois o próximo posto, sendo o gargalo, está ocupado processando ordens anteriores. Os gargalos são responsáveis por conduzir o ritmo de todo o processo produtivo, na Figura 2 é possível observar um diagrama esquemático que representa a definição de gargalo.



Figura 2 – Representação do gargalo adaptado de Kikolski (2016)

Em um processo de otimização utiliza-se comumente o método dos erros quadráticos, a fim de combinar as variações padrão e média e obter a distribuição, conforme afirmam K ksoy e Yalcinoz (2006). Este método consiste em determinar a diferença média entre determinado parâmetro e seu respectivo estimador.

Drezner e Turel (2011) também mostram que o método de Kolmogorov–Smirnov   utilizado para normaliza o de variáveis, quando se tem variáveis não normais que requerem a normaliza o em suas análises. Este método utiliza uma transformada matemática para a normaliza o, porém o enfoque matemático não contempla a abordagem deste artigo.

Além do exposto, há o método de Pearson do Chi-Quadrado, o qual fornece informaçoes detalhadas a respeito da significância e de quais categorias da distribui o são responsáveis por quaisquer divergências encontradas, conforme explica McHugh (2013), que também apresenta este método como uma das ferramentas mais úteis no âmbito de análises estatísticas.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Ciclo de Prepar o de Tanques de Gasolina

O processo de prepara o de Tanques de Gasolina na Refinaria em foco   composto por 4 tanques de armazenamento de Gasolina, com 4100m<sup>3</sup> de capacidade cada. Dois destes tanques funcionam como pulmão da produ o de duas correntes diferentes de nafta: a nafta de destila o (TK NDD) e a nafta de craqueamento catalítico (TK NCC).

As opera oes de prepara o de um Tanque de Gasolina podem ser dispostas em um diagrama de blocos, conforme a figura 3.

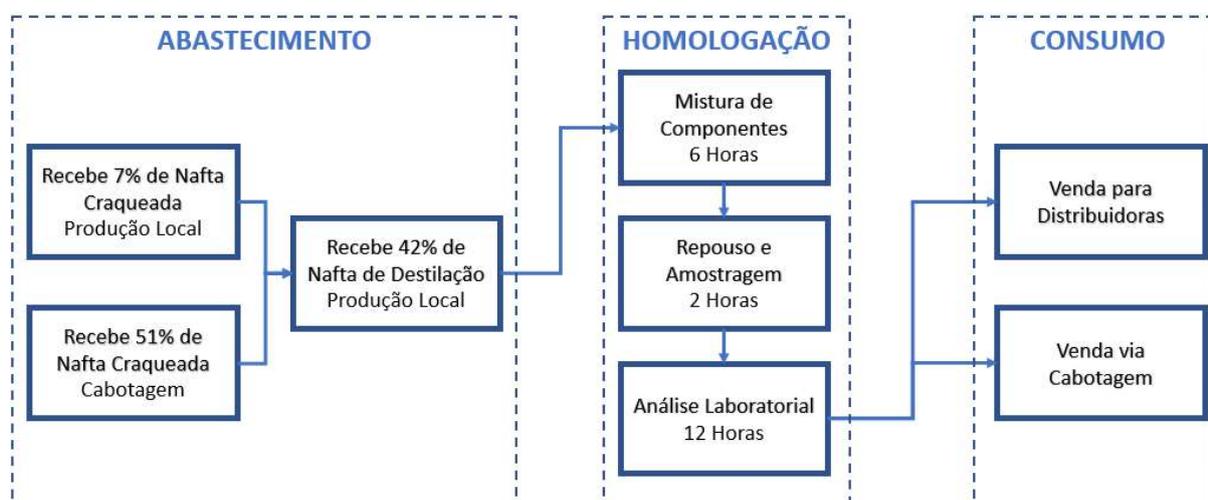


Figura 3 – Diagrama de blocos das etapas de prepara o de Gasolina

Cada etapa de preparação de Tanques de Gasolina ocorre utilizando diferentes recursos físicos, como tubulações de interligação à portos, tubulações de interligação às distribuidoras e bombas centrífugas utilizadas para realizar o deslocamento de produto. A disposição e a interligação destes recursos podem ser representadas pela Figura 4.

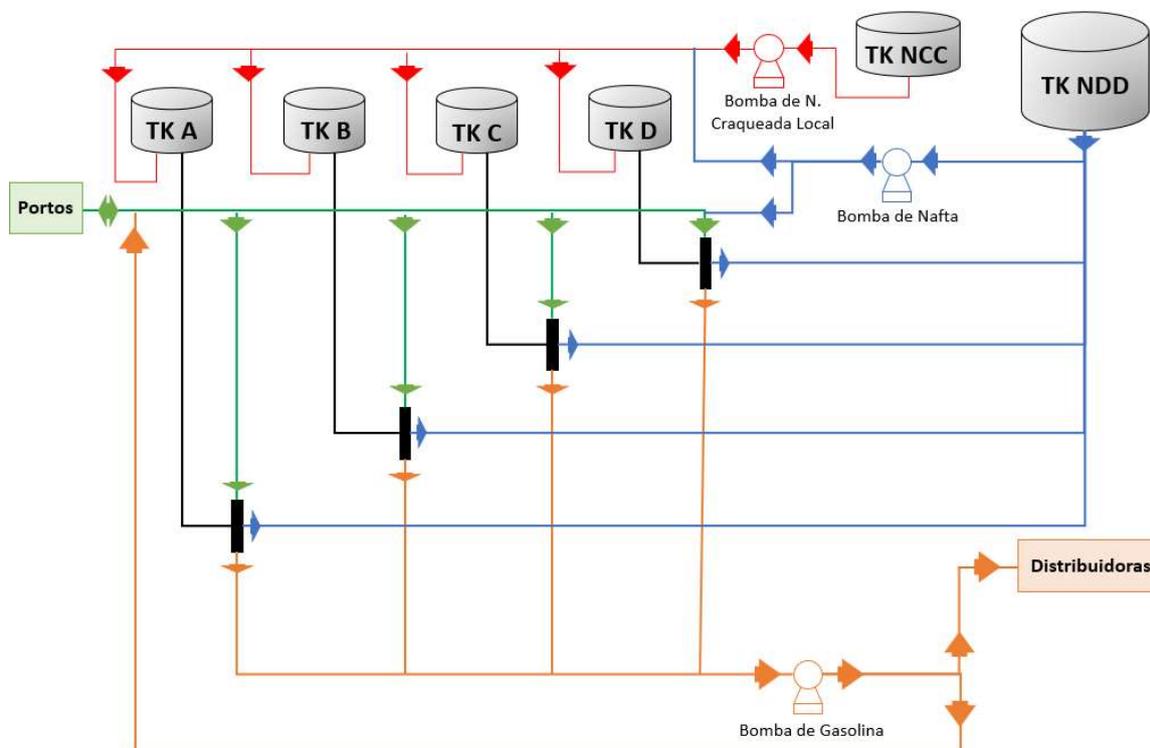


Figura 4 – Representação do Sistema de Gasolina da Refinaria

### 3.2. Coleta e Tratamentos de Dados

Os dados foram coletados referente aos seis primeiros meses do ano de 2019. Para fins de operacionalização deste estudo, utilizou-se como parâmetro para a modelagem apenas um tanque de preparação de gasolina da refinaria, porém o modelo pode ser ampliado para uma escala maior, em caso de necessidades.

Após a coleta dos dados realizou-se o tratamento e análise dos mesmos. O banco de dados obtido apresenta informações referentes à operação realizada no tanque, o produto utilizado, data/hora de início e término da operação, estoques inicial e final, duração e cota (diferença entre o estoque inicial e o final).

Primeiramente realizou-se a identificação do tipo de operação, que foram divididos em dois:

- Consumo: Operações onde o estoque final é menor que o estoque inicial;
- Abastecimento: Operações onde o estoque final é maior que o estoque inicial.

Para definição das frequências de utilização do tanque foram considerados os seguintes tempos:

- Tempo de Abastecimento: Duração de uma operação de abastecimento ou operações de abastecimento subsequentes.
- Tempo de Consumo: Duração de uma operação de consumo ou operações de consumo

subsequentes.

- Tempo Ocioso: Tempo entre o término de uma operação e o início da próxima operação.

No período analisado foram identificadas 298 operações, sendo 126 de consumo e 172 de abastecimento. Para tabulação e filtragem dos dados utilizou-se o software *Microsoft Office Excel*® e após obtidos os respectivos tempos para cada operação utilizou-se o *Input Analyzer*, que corresponde a uma ferramenta do software *Arena*, com o qual pôde-se determinar as curvas de comportamento das frequências para cada tipo de operação.

#### 4. Resultados

##### 4.1 Análise dos dados de frequências das operações

Após o tratamento dos dados no *Microsoft Office Excel*® as amostras foram inseridas no *Input Analyzer* para análise estatística descritiva das três operações individualmente e de um ciclo completo. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 1.

Operação	Média $\bar{x}$	Desvio Padrão amostral $s^2$
Abastecimento	19,87h	13,63h
Consumo	17,09h	16,79h
Tempo Ocioso	45,37h	22,57h
Frequência ciclo	82,12h	34,76h

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Resultados obtidos no Input Analyzer

As análises realizadas no *Input Analyzer* resultaram nos histogramas expressos na Figura 5. Cada histograma contempla também a curva que representa a respectiva distribuição.

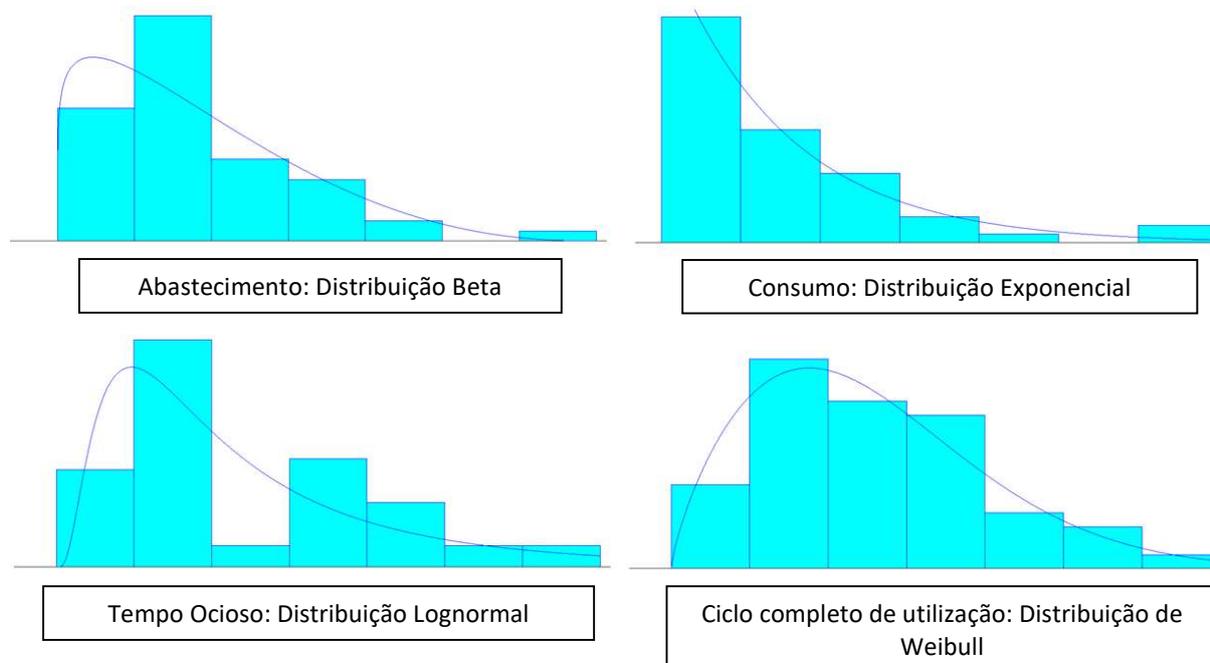


Figura 5 – Histograma dos tempos de cada operação do ciclo do tanque

A fim de determinar qual a distribuição da série analisada o *Input Analyzer* adota o método dos erros quadráticos, de modo a obter-se de qual modo os dados estão distribuídos. O software também analisa o Teste do Chi-Quadrado e o Teste de Kolmogorov-Smirnov. A Tabela 2 apresenta os dados obtidos nos referidos testes para as distribuições adotadas.

Operação	Erro Quadrático Médio	Chi Quadrado	Kolmogorov - Smirnov
Abastecimento	0,029047	0,0229	>0,15
Consumo	0,001985	0,605	>0,15
Tempo Ocioso	0,043352	0,005	>0,15
Frequência ciclo	0,003952	0,609	>0,15

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Testes de Erros Quadráticos, Chi Quadro e Kolmogorov-Smirnov no *Input Analyzer*

## 4.2 Modelagem e Simulação

A entidade atribuída na simulação corresponde à capacidade do tanque, ou seja, 4100 m<sup>3</sup>. Isto porque os valores obtidos de Abastecimento e Consumo encontram-se em função de encher ou esvaziar um tanque por completo.

A etapa de Abastecimento é representada no modelo como um bloco de criação de entidades, e representa a entrada de insumos (Naftas), com origem da produção local ou via cabotagem. Por seguinte, a etapa de Homologação é representada como um bloco de Espera que bloqueia o uso do tanque até que o tempo total de preparação esteja completo. Com isto, a etapa de Consumo só poderá receber a entidade quando a etapa de Homologação estiver terminada. A etapa de Consumo libera o tanque para novo Abastecimento, sempre que o tempo de Homologação e a demanda forem atendidas, sendo esta demanda das Distribuidoras Locais ou de Cabotagem e que é dada pela taxa de Consumo.

O esquema desenvolvido no Software Arena está apresentando na Figura 6.

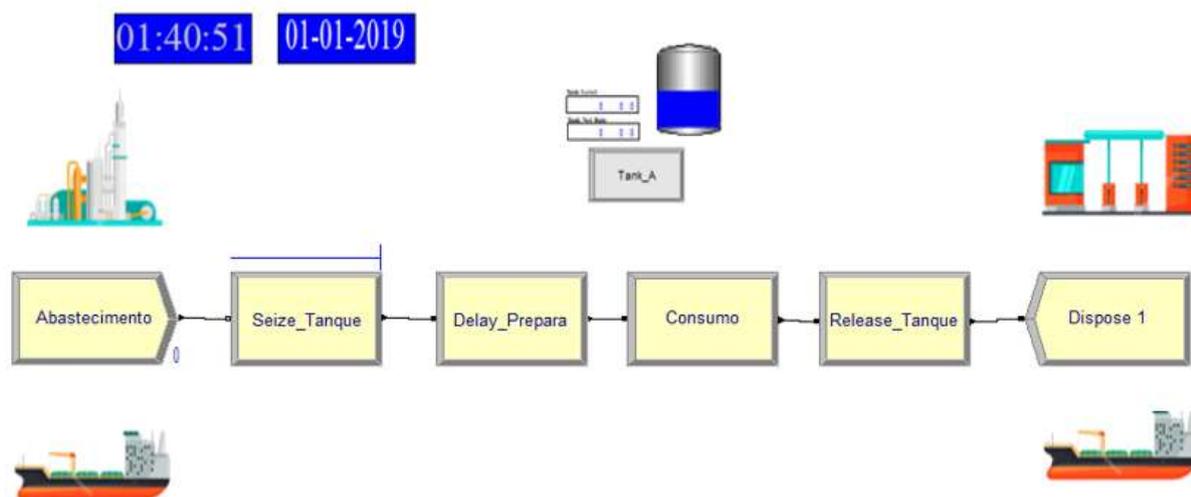


Figura 6 – Modelo computacional criado no Arena

É importante ressaltar neste ponto da análise que caso a fase de Abastecimento já possua uma entidade disponível, esta só será levada ao processo seguinte caso o tanque esteja completamente vazio. Desta forma gerando a formação de filas no modelo. No cenário real,

estas filas significam insumo produzido e parado em estoque, ou navios de cabotagem aguardando para operar, o que pode incorrer em custos de sobrestadia para a Refinaria.

Para uma probabilidade de abrangência desejada de 90%, segundo a Equação 1, seria necessário configurar cem mil repetições da simulação, o que demandaria muito tempo de processamento em um computador convencional. Na Equação 1, temos que  $n$  é o número de repetições e  $PA$  é o grau de confiança desejado, ou probabilidade de abrangência.

$$n = \frac{1}{(1 - PA)} 10^4$$

Equação 1 – Probabilidade de Abrangência adaptado de Catapattil et al (2008)

Conforme sugere Catapattil et al (2008), de forma a viabilizar a execução da simulação com um número razoável de repetições, foram feitos testes de diferentes cenários com diferentes números de repetições e verificado a partir de qual deles os resultados da simulação estabilizavam a uma taxa de variação de menos 0,05%. Conforme Tabela 3, fora encontrado que à partir de 5000 repetições os valores da simulação se estabilizavam a uma taxa satisfatória.

Nº de Replicações	Nº de Ciclos	Fila Média	%Uso Médio
100	218	-	0,08039
300	218	0,0%	0,07424
500	217	0,5%	0,07225
1000	217	0,0%	0,07232
1500	217	0,0%	0,07233
2000	217	0,0%	0,07264
2500	217	0,0%	0,07299
3000	217	0,0%	0,07328
4000	217	0,0%	0,07316
5000	217	0,0%	0,07315

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – Resultados obtidos no software *Arena* para cada número de replicações

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos por meio da simulação, demonstraram que em seis meses de operação ocorreriam 217 ciclos de preparação do tanque de gasolina, o que significa dizer a venda de aproximadamente 890 milhões de litros de gasolina preparados no dado tanque. Quando comparado os dados reais do mesmo tanque, temos que no período de seis meses o volume real consumido foi de 898 milhões de litros, ou o equivalente a 219 ciclos, o que indica certa representatividade do modelo computacional, uma vez que têm-se uma diferença de apenas 0,9% entre o modelo e caso real.

A formação média de fila representa o valor médio de insumos que devem ser armazenados em espera da liberação do tanque para abastecimento. O valor obtido através da simulação corresponde a 0,073 tanques, em torno de 299 m<sup>3</sup>. Se considerarmos que existem quatro tanques de gasolina na refinaria, têm-se que pelo menos 1200m<sup>3</sup> de Nafta produzida fica

armazenada aguardando o esvaziamento de um dos tanques.

Em horas, o valor obtido a 5000 replicações foi de uma espera média de 1,55 hora com pico de até 7,62 horas de espera. Este é um dado importante, pois a espera de um insumo pronto significa, no caso de recebimentos de cabotagem, o pagamento de sobrestadia a navios. Quanto a taxa de uso do tanque de gasolina, resultou na simulação a um valor de 56,58% em média, ou seja, em quase metade do tempo total o tanque não estava atendendo a nenhum ciclo.

O modelo proposto se mostrou representativo ao processo real, com uma variação pequena entre os valores de totais de ciclos de preparação. O tempo ocioso do sistema se demonstra elevado, em torno da metade do tempo disponível. E mesmo com muito tempo ocioso, ainda existe a formação de fila na chegada de insumos, o que significa custos adicionais de armazenamento ou de sobrestadia de navios de cabotagem, por exemplo. Entende-se desta forma, que a formação de fila dos insumos para abastecimento do tanque, se deve especialmente em um descompasso entre a frequência de Abastecimento e Consumo. É possível reduzir a formação de filas sem precisar de investimento em novos tanques, apenas melhorando o sincronismo entre a taxa de abastecimento e consumo.

Como trabalhos futuros sugere-se estender o modelo para todo o sistema de gasolina e sugerir hipóteses de mudança nas taxas de consumo utilizando uma sistemática de tomada de decisão que leve em conta os níveis de estoque e a taxa de abastecimento.

## Referências

**ABRISHAMI, Salman Jameh; ZERAATKAR, Mohammad; ESRAFILIAN, Rasoul; VAFAEI, Seyyed Amir.** *Application of Computer Simulation for Productivity Improvement of Welding Unit in a Heater Manufacturing Industry: A Case Study Based on Arena.* MATEC Web of Conferences, Vol. 225, 2018.

**CATAPATTIL, T. Rodrigues; GONÇALVES, M. Carlos; NETO, M. R. Silva; SOBROZA, Rubens.** *Sample size and number of replications for assessment of agronomic characters in popcorn.* Ciências Agortécnicas, Vol. 32, n. 3, p. 855-862, 2008.

**COSTA, F. Rafael; FAGUNDES, A. Raphael; FREITAS, A. M. Ângelo; ÁVILA, L. Eduardo.** *Economic Evaluation of Logistics Infrastructure In Oil Industry Using Simulation – Jet Fuel Supply Case Study.* Em 2014 Winter Simulation Conference, p. 1907-1918, 2014.

**DREZNER, Zvi; TUREL, Ofir.** Normalizing variables with too-frequent values using a Kolmogorov–Smirnov test: A practical approach. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 61, Issue 4, p. 1240-1244, 2011.

**JARDZIOCH, Andrzej; JASKOWSKI, Jędrzej.** *Modeling of high storage sheet depot with plant simulation.* *Advances in Science and Technology*, Vol. 7, N. 17, p. 14-22, 2013.

**KARKULA, M.** *Verification and validation of dynamic simulation models of logistics processes.* *Logistyka*, Vol. 2, p. 717-726, 2012.

**KIKOLSKI, Mateusz.** *Identification of Production Bottlenecks With the Use of Plant Simulation Software.* Economics and Management, Vol. 8, n. 4, p. 103-112, 2016.

**KIKOLSKI, Mateusz.** *Study of Production Scenarios with the Use of Simulation Models.* Procedia Engineering Vol. 182, p. 321 – 328, 2017.

**KLIMENT, M.; TREBUNA, P.; STRAKA, M.** *Tecnomatix plant simulation, its features and its integration into business processes in logistics systems.* American Journal of Mechanical Engineering, Vol. 7, p. 286-289, 2014.

**KÖKSOY, Onur; YALCINOZ, Tankut.** *Mean square error criteria to multiresponse process optimization by a new genetic algorithm.* Applied Mathematics and Computation, Vol. 175, Issue 2, p. 1657-1674, 2006.

**LI, Changjun; LIU, Jingye; LI, Bo.** *Performance Prediction and Evaluation Based on the Variability Theory in Production Lines Using ARENA simulation.* Wireless Pers Commun, Vol. 103, p. 897-920. 2018

**MÁS, Aida Sáez; SABATER, José P. García; LLORCA, Joan Morant; MAHEUT, Julien.** *Assembly plant simulation to support decision-making on layout design considering safety issues, a case study.* Working Papers on Operations Management, Vol. 7, N. 2, p. 64-88, 2016.

**MCHUGH, Mary L.** *The Chi square test of independence.* Biochem Med (Zagreb). Vol. 23(2), p.143–149, 2013.

**SIDERSKA, Julia.** *Application of Tecnomatrix Plant Simulation For Modeling Production and Logistics Processes.* Business, Management and Education, Vol. 14, p. 64-73, 2016.

**YUNIAWAN, Dani; FAJAR, Aang.** *Traffic queue modeling using arena simulation software (a case study of Mergan 4-Way intersection in Malang City).* MATEC Web of Conferences, Vol. 204. 2018.