

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES

GUSTAVO BONELLA DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DA INICIALIZAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE UM COMPLEXO  
DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE  
EVENTOS DISCRETOS

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Marta Monteiro da Costa Cruz

VITÓRIA-ES

2019

GUSTAVO BONELLA DE OLIVEIRA

ANÁLISE DA INICIALIZAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE UM COMPLEXO  
DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE  
EVENTOS DISCRETOS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado  
em Transportes da Universidade Federal do  
Espírito Santo, para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Civil.

Área de atuação: Transportes

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Marta Monteiro da Costa  
Cruz.

VITÓRIA-ES

2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**ANÁLISE DA INICIALIZAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE UM COMPLEXO  
DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE  
EVENTOS DISCRETOS**

**Gustavo Bonella de Oliveira**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Transportes.

Aprovada no dia 27 de dezembro de 2019 por:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marta Monteiro da Costa Cruz  
Doutora em Engenharia de Transportes  
Orientadora - UFES

---

Prof<sup>a</sup> Patrícia Alcântara Cardoso  
Doutora em Engenharia de Produção  
Examinadora Interna

---

Prof. José Leandro Félix  
Doutor em Engenharia Elétrica  
Membro Externo – Engenharia Elétrica -  
UFES

VITÓRIA – ES, dezembro de 2019

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela capacidade e perseverança à cada desafio.

Aos meus pais e irmã, por todo incentivo, confiança, apoio e dedicação durante toda essa caminhada.

As pessoas próximas que foram um suporte nessa jornada e foram fundamentais para a realização desse trabalho.

Em especial agradeço aos conhecimentos e sabedoria:

Professora Marta Monteiro da Costa Cruz, pelo seu empenho e dedicação na transmissão de seus conhecimento e sabedoria, até mesmo no mais difícil dos momentos.

Ao Roberto de Oliveira Júnior e ao Rodrigo Meirelles Nascimento por terem disponibilizado seus trabalhos, modelos e tempo ao responderem todos as mensagens.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Jose Leandro Félix Salles e Profª Patrícia Alcântara Cardoso, por haverem aceitado a incumbência e pela dedicação na tarefa de avaliar o trabalho e oferecer suas valiosas contribuições, principalmente nessa data de apresentação.

Agradeço ao Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, e seus docentes pelo ensino transmitido da graduação ao mestrado.

## RESUMO

A construção de um sistema logístico autossuficiente em uma empresa pode determinar o seu sucesso, alavancando os lucros elevando-a um patamar de reconhecimento nacional e até mesmo internacional. Reativar, ou até mesmo ativar, uma planta industrial requer muito planejamento, estudo e análise de mercado. Diante disso, o presente trabalho visa estudar a reativação de uma planta industrial, com foco em sua cadeia logística, e quanto tempo será necessário para que a empresa retorne ao regime estacionário de abastecimento de seus insumos-chave. Foi utilizado como estudo de caso, a mineradora brasileira Samarco, que teve seu interrupção em 2015, provocado pelo rompimento da barragem de Fundão, Minas Gerais. Para analisar o retorno de suas atividades, foi utilizada a análise de cenários da cadeia de suprimento da mineradora através do desenvolvimento de um simulador de eventos discretos com o *software Arena*<sup>®</sup>. O objetivo do simulador é determinar o tempo necessário de retorno as atividades da cadeia de suprimentos da mineradora até atingir o seu nível de atividades estável. O estudo foi baseado no período de *warm-up* dos simuladores. Ao todo foram propostos 13 cenários alternativos e um cenário de validação baseado no estado real do sistema antes da interrupção produtiva. Os cenários de simulação propostos foram baseados nos níveis de estoque, em cadeia colaborativa e níveis operacionais de produção. O resultado da pesquisa constatou que a maior influência negativa no nível de estoque da empresa se dá pelo insumo de maior *lead time* de abastecimento, no caso o carvão. Esse insumo pode onerar a produção e acarretar um aumento no tempo de interrupção da usina. Com os modelos e intervenções propostos, foi possível prever soluções e estudar a melhor delas para se aplicar ao cenário real. Como conclusão da presente dissertação pode ser visto que um suprimento colaborativo entre cadeias de suprimentos distintas pode elevar a eficiência do retorno produtivo dessa indústria. O melhor cenário simulado foi de funcionamento parcial da mineradora com o abastecimento por meio de sua acionista.

**Palavras-chave:** simulação de eventos discretos; cadeia de distribuição de mineração; período de aquecimento; mineração.

## ABSTRACT

Building a self-sufficient logistics system in a company can determine its success by leveraging profits to a national and even international level of recognition. Reactivating, or even activating, an industrial plant requires a lot of planning, study and market analysis. In view of this, the use of various tools can be used from works, previous studies of gender industries, bechmarking and simulation tools, provided they are used in the right way. This paper aims to study the reactivation of an industrial plant, focusing on its logistics chain, and how long it will take for the company to return to the steady state supply of its key inputs. As a case study, the Brazilian mining company Samarco and the Fundão dam rupture, located in Minas Gerais, which took place in November 2015, were used. mining supply chain scenarios. A mining supply chain simulator was developed with actual company data prior to shutdown. The software was Arena®, with the objective of determining the time required to return the mining supply chain activities to its stable level of activity. In this sense, this study was based on the simulators warm-up period, normally disregarded in many studies and that can bring valuable information to the company. In all, 13 alternative scenarios and one real-time scenario of the system were proposed before the production interruption, and in all simulation scenarios the proposals were based on inventory levels, collaborative chain and operational production levels. As a result of the research, it was found that the greatest negative influence on the company's inventory level is the input of higher supply lead time, this input that could burden production and lead to plant disruption time. With the proposed models and interventions, it was possible to foresee solutions and study the best of them to apply to the real scenario. As a conclusion of this dissertation it can be seen that a collaborative supply between distinct supply chains can increase the efficiency of the productive return of this industry. The best scenario simulated was the mining company's partial operation with the supply through its shareholder.

Keywords: discrete event simulation; mining distribution chain; warming up period; mining.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.3	MOTIVAÇÃO	15
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
2.1	ACIDENTES PRODUTIVOS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2	SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	18
2.3	PERIODO DE AQUECIMENTO	23
2.4	ATIVAÇÃO E REATIVAÇÃO DE PLANTAS INDUSTRIAIS E AS SUAS RELAÇÕES	30
<b>3</b>	<b>AMBIENTE DE ESTUDO</b>	<b>34</b>
3.1	A SAMARCO	34
3.2	O SISTEMA PRODUTIVO DA SAMARCO	35
3.2.1	Insumo 1	39
3.2.2	Insumo 2	40
3.2.3	Insumo 3	40
3.3	O SIMULADOR	41
3.4	MODELO BASE	41
3.5	VARIÁVEIS DE ANÁLISE	42
3.6	ALTERAÇÕES NO MODELO BASE	45
3.6.1	Horizontes de Simulação	46
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS</b>	<b>49</b>
4.1	INTRODUÇÃO	49
4.1.1	Cenário 0, ou “As Is”	50
4.1.2	Cenário 1	53

4.1.3	Cenário 2 .....	55
4.1.4	Cenário 3 .....	56
4.1.5	Cenário 4 .....	58
4.1.6	Cenário 5 .....	59
4.1.7	Cenário 6 .....	63
4.1.8	Cenário 7 .....	67
4.2	COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS.....	72
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1:</b> FLUXO DE AVANÇO DE TEMPO NO ARENA.....	22
<b>FIGURA 2:</b> GRÁFICO TÍPICO UTILIZADO PARA IDENTIFICAR <i>WARM-UP PERIOD</i> .....	23
<b>FIGURA 3:</b> PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO MINÉRIO NA MINA.....	35
<b>FIGURA 4:</b> FLUXOGRAMA DAS UNIDADES DE GERMANO-MG E UBU-ES .....	36
<b>FIGURA 5:</b> PROCESSO PRODUTIVO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO.....	37
<b>FIGURA 6:</b> CADEIA DE SUPRIMENTOS DOS INSUMOS DA PELOTIZAÇÃO. ....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 0, OU “AS IS”, EIXO EM HORAS. ....	51
<b>GRÁFICO 2:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 0, OU “AS IS”, EIXO EM DIAS. ....	52
<b>GRÁFICO 3:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 0, CONSIDERANDO O <i>WARM-UP PERIOD</i> . ....	52
<b>GRÁFICO 4:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 1, EIXO EM DIAS. ....	54
<b>GRÁFICO 5:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 2, EIXO EM DIAS. ....	56
<b>GRÁFICO 6:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 3, EIXO EM HORAS. ....	57
<b>GRÁFICO 7:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 3. ....	57
<b>GRÁFICO 8:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 3, EIXO EM HORAS. ....	58
<b>GRÁFICO 9:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 4. ....	59
<b>GRÁFICO 10:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 5 COM 3 CAMINHÕES EM CURSO, EIXO EM HORAS. ....	60
<b>GRÁFICO 11:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 5 COM 3 CAMINHÕES EM CURSO. ....	61
<b>GRÁFICO 12:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 5 COM 6 CAMINHÕES EM CURSO. ....	62
<b>GRÁFICO 13:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 5 COM 6 CAMINHÕES EM CURSO. ....	62
<b>GRÁFICO 14:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 5 COM 10 CAMINHÕES EM CURSO, EIXO EM HORAS. ....	63
<b>GRÁFICO 15:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 5 COM 10 CAMINHÕES EM CURSO. ....	63
<b>GRÁFICO 16:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 6.1, EIXO EM HORAS. ....	64
<b>GRÁFICO 17:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 6.1. ....	65
<b>GRÁFICO 18:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 6.2. ....	66
<b>GRÁFICO 19:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 6.2. ....	66
<b>GRÁFICO 20:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 6.3. ....	67
<b>GRÁFICO 21:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 6.3. ....	67
<b>GRÁFICO 22:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 7.1 COM 6 CAMINHÕES EM CURSO. ....	69
<b>GRÁFICO 23:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 7.2 COM 10 CAMINHÕES EM CURSO. ....	69
<b>GRÁFICO 24:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 7.3 COM 3 CAMINHÕES EM CURSO. ....	70
<b>GRÁFICO 25:</b> TEMPO DE INTERRUÇÃO NO CENÁRIO 7.3 COM 3 CAMINHÕES EM CURSO. ....	70
<b>GRÁFICO 26:</b> ESTOQUES DOS INSUMOS 1, 2 E 3 NO CENÁRIO 7.4 COM 6 CAMINHÕES EM CURSO, EIXO EM HORAS. ....	71

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1: ANÁLISE DE DESASTRES AMBIENTAIS REPORTADOS PELA MÍDIA. ....</b>	<b>ERRO!</b>
<b>INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
<b>TABELA 2: VARIÁVEIS DE CONTROLE FORNECIDAS AO MODELO, DADOS GERAIS UTILIZADOS NO MODELO.....</b>	<b>43</b>
<b>TABELA 3: VARIÁVEIS DE CONTROLE FORNECIDAS AO MODELO, DADOS SOBRE O INSUMO 1 UTILIZADOS NO MODELO. ....</b>	<b>43</b>
<b>TABELA 4: VARIÁVEIS DE CONTROLE FORNECIDAS AO MODELO, DADOS SOBRE O INSUMO 2 UTILIZADOS NO MODELO. ....</b>	<b>43</b>
<b>TABELA 5: VARIÁVEIS DE CONTROLE FORNECIDAS AO MODELO, DADOS SOBRE O INSUMO 3 UTILIZADOS NO MODELO. ....</b>	<b>44</b>
<b>TABELA 6: VARIÁVEIS DE RESPOSTAS ANALISADAS DO MODELO SOBRE O INSUMO 1.....</b>	<b>45</b>
<b>TABELA 7: VARIÁVEIS DE RESPOSTAS ANALISADAS DO MODELO SOBRE O INSUMO 2.....</b>	<b>45</b>
<b>TABELA 8: VARIÁVEIS DE RESPOSTAS ANALISADAS DO MODELO SOBRE O INSUMO 3. ....</b>	<b>45</b>
<b>TABELA 9: VARIAÇÃO % DO <i>HALFWIDTH</i> POR NÚMERO DE REPLICAÇÕES. ....</b>	<b>47</b>
<b>TABELA 10: DADOS INICIAIS INSUMO 1 NO CENÁRIO 0. ....</b>	<b>50</b>
<b>TABELA 11: DADOS INICIAIS INSUMO 2 NO CENÁRIO 0. ....</b>	<b>50</b>
<b>TABELA 12: DADOS INICIAIS INSUMO 3 NO CENÁRIO 0. ....</b>	<b>50</b>
<b>TABELA 13: COMPARAÇÕES DE VARIÁVEIS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO. ....</b>	<b>53</b>
<b>TABELA 14: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA O CENÁRIO 1. ....</b>	<b>54</b>
<b>TABELA 15: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA O CENÁRIO 2. ....</b>	<b>55</b>
<b>TABELA 16: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA O CENÁRIO 3. ....</b>	<b>56</b>
<b>TABELA 17: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA O CENÁRIO 4. ....</b>	<b>58</b>
<b>TABELA 18: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA O CENÁRIO 5. ....</b>	<b>60</b>
<b>TABELA 19: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA OS CENÁRIOS 6.1, 6.2 E 6.3.....</b>	<b>64</b>
<b>TABELA 20: DADOS DE ENTRADA NO MODELO PARA OS CENÁRIOS 7.1, 7.2, 7.3 E 7.4.....</b>	<b>68</b>
<b>TABELA 21: COMPILAÇÃO DOS DADOS DOS EXPERIMENTOS. ....</b>	<b>72</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A cultura popular nos traz que todo investimento é acompanhado do seu respectivo risco, bem como quanto maior o risco que se corre, maior é o lucro proveniente daquele. E quando se trata da implementação de plantas industriais, as cifras decorrentes dos investimentos são enormes, bem como os riscos. Assim sendo, a mitigação desses riscos atrelado à diversas outras análises de mercado e/ou financeiras são feitas para as tomadas de decisão e com isso ferramentas têm sido criadas para serem suporte nessas ações.

Uma organização competitiva visa o resultado da equação que envolve sua produtividade e eficiência. No mercado, toda empresa que busca ser saudável precisa ter foco no lucro, assim as estratégias de negócios devem voltar-se para tais objetivos.

Segundo (Bordeaux-Rego 2015), as decisões de investimentos são estratégicas e exigem alocação de recursos por grandes períodos de tempo, sendo que em fase preliminar, algumas análises são muito importantes para mitigar possíveis riscos. A finalidade de toda empresa, de cunho financeiro, é maximizar os lucros de seus acionistas. Portanto, a análise de pontos ótimos de produção com o uso de simulação de seus processos pode auxiliar nas tomadas de decisões de investimentos financeiros em grandes empresas e/ou indústrias.

Nos processos de simulação encontram-se o período de aquecimento, que é um processo de ajuste para o modelo para atingir um estado ideal de simulação, que por muitas vezes é descartado nas análises estatísticas, mas que pode fornecer informações valiosas em especial quando se quer analisar a implementação de novas plantas industriais ou a sua reativação após algum processo de interrupção.

Os impactos negativos decorrentes do encerramento das atividades de uma empresa podem causar um dano irreparável à economia de uma região atrelada a ela. Alguns reveses na administração das empresas podem agregar um valor depreciativo a elas que a suspensão definitiva de suas atividades se torna inevitável. Por outro lado, algumas empresas suspendem suas atividades temporariamente até que sejam feitas correções e cumprimento de devidas sanções, deixando inoperante toda uma estrutura operacional de seu processo de produção por um longo período de tempo.

Em novembro de 2015, a Samarco Mineração S. A., companhia brasileira, sob gestão de duas multinacionais a BHP Billiton Brasil Ltda. e a Vale S.A., foi destaque mundial, quando a Barragem de Fundão, de rejeitos de mineração rompeu-se, no distrito de Bento Rodrigues-MG. Suas principais unidades extrassoras de minérios localizavam-se nas cidades de Germano, em Minas Gerais, compostas pelas barragens de Germano, Fundão e Santarém.

O rompimento da barragem de Fundão como levantado por (RIOS 2016), ganhou repercussão internacional. Apesar de todos os irreparáveis prejuízos ambientais, toda a economia que girava em torno da extração do minério e da operação da mineradora sofreu penosamente, em que a atividade de mineração é responsável por 95% de suas atividades econômicas (LACAZ 2017). Levando em consideração a importância de uma empresa multinacional em uma região, todo desastre, sejam eles naturais ou por omissão de gestores, o interrompendo das suas atividades penalizaram todas as atividades econômicas diretas e indiretas relacionadas à empresa. No caso da Samarco, a receita da mineradora em 2015 correspondia a 1,6% do PIB de Minas Gerais e 6,4% do PIB do Espírito Santo.

Guardada as devidas proporções, casos de desastres ambientais não foram exclusivos apenas da mineradora, conforme descreveu (POTT e ESTRELA 2017) vários desastres famosos ocorreram ao redor do mundo, tendo maior ou menor destaque midiático de acordo com sua magnitude, sendo que alguns culminaram com, mudanças rigorosas na legislação de alguns países.

Do ponto de vista logístico, segundo (Samarco 2016), o sistema operacional era composto de duas unidades industriais localizadas em Mariana (MG) e em Ponta Ubu (ES), interligadas por três minerodutos, com quase 400 quilômetros de extensão cada. Os minerodutos transportavam toda a produção de polpa de minério de ferro até o terminal marítimo próprio, em Ubu (ES) para exportação. Ainda segundo (Samarco 2016) a empresa produziu 25,01 milhões de toneladas de pelotas minério de ferro em 2014 e em 2015 chegou a produzir 25,4 milhões de toneladas até a ocorrência do acidente, 1,5% a mais que no ano anterior. Após o acidente na Barragem de Fundão todo o sistema logístico foi interrompido, estando inoperante desde 2015. Portanto, a reativação desta cadeia logística requer uma análise ampla e é fundamental conhecer o melhor sequenciamento para a reativação da cadeia logística até seu retorno aos padrões de equilíbrio.

Após interrupções de operações das empresas, as cadeias produtivas são fortemente afetadas em suas operações. As razões disso podem ser: penalizações governamentais, plantas de produção destruídas, dificuldades de receber insumos de seus fornecedores ou entregar produtos e serviços para seus clientes.

## 1.2 OBJETIVOS

A questão que se busca analisar é como será o comportamento do retorno da cadeia logística de suprimento para atender as operações de uma Empresa de Grande Porte (EGP), utilizando como estudo de caso a Mineradora Samarco, após uma interrupção de suas operações. Ou seja, qual o tempo necessário para a cadeia de suprimentos da empresa alvo venha a se estabilizar em termos de tempo e capacidade dos principais ativos envolvidos na cadeia de suprimento.

Para atingir o objetivo, foi necessário o aprofundamento dos conhecimentos nos seguintes itens:

- Revisão de literatura sobre as relações existentes sobre simulação de eventos discretos, em especial sobre o período de aquecimento (*warm-up*).
- Conhecer a literatura existente sobre a retomada das operações das EGP após interrupções;
- Analisar o processo de inicialização de uma cadeia de suprimentos da empresa objeto de estudo, utilizando diferentes cenários de inicialização em um simulador de eventos discretos.

## 1.3 MOTIVAÇÃO

O acidente na Samarco em 2015 gerou uma interrupção total no seu processo produtivo, estando interrompido até hoje. A Samarco tinha uma representatividade econômica e social de extrema relevância para a região em que atuava, mesmo com todo o impacto gerado a empresa não se omitiu das responsabilidades e vem atuando de forma a mitigar todo impacto por ela causado. Sua infraestrutura produtiva encontra-se em estado de interrupção, com alguns embargos e com potencial para retorno. O principal ativo da indústria que viabiliza seu retorno são os fornos de pelotização que se encontram ainda em funcionamento em condições mínimas para evitar seu esfriamento permitindo assim a retomada do seu processo produtivo. Este é o principal motivador desta pesquisa pois será possível, através do simulador

desenvolvido, entender quais as melhores estratégias para a cadeia de suprimento atingir seu estado estacionário e quanto tempo será necessário para se chegar a este estado.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A cadeia logística da Samarco S.A. tem importante influencia no componente logístico do Espírito Santo, visto que de toda infraestrutura de duto que compõem o estado uma malha pertence à Samarco, mineroduto, e outro à Petrobras S.A., gasoduto. O mineroduto capixaba, foi o primeiro a ser construído no Brasil e até 2010 era o maior do mundo e com tempo de transporte aproximado em 63 horas, é a única forma de abastecimento de minério da Samarco. De projeto, a vida útil de seu mineroduto era de 20 anos, mas devido a um melhor controle operacional e menores taxas de corrosão e abrasão, estima-se que ela possa ser estendida para o dobro, sendo que desde a sua construção até interrupção de produção passaram-se 25 anos, ou seja, nas condições atuais o mineroduto tem vida útil de mais 15 anos. Mesmo com a interrupção da produção, a mineradora realiza manutenções constantes em seu equipamento, permitindo a sua futura utilização (DER-ES 2009) (SAMARCO 2019) (Samarco 2015) (Samarco s.d.).

A complexidade logística da mineradora ainda se dá pelo abastecimento de insumos por modal marítimo, dutoviário e rodoviário, como explicado no item 3.2. Lidar e gerenciar diversos modais e insumos de forma concomitante é um desafio que necessita excelência, e a Samarco alcançando patamares históricos em 2015 e expansão de planta em andamento, comprova a eficiência de sua cadeia de suprimentos e respalda seu retorno produtivo.

Em base de dados científicos, tais como periódicos CAPES ou *Scopus*, buscou-se aprofundar o conhecimento referente ao período de aquecimento em simulação de eventos discretos que tratem de compreender, analisar e validar os dados que podem ser fornecidos no período de *warm-up*, fazendo com que tenha sua relevância perante a literatura científica.

#### 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação consta de 4 capítulos sendo o primeiro capítulo referente as justificativas, motivação e objetivos. O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica

sobre simulação de eventos discretos e especial sobre o período de aquecimento. Também neste capítulo são comentados os grandes desastres que ocorreram em plantas industriais, e como isso influenciou em suas operações logísticas, e como a simulação pode ser uma útil ferramenta na análise de reestruturação dessas empresas. No terceiro capítulo, é apresentado de forma mais detalhada do sistema produtivo da Samarco S.A., fechando o capítulo com as variáveis que serão trabalhadas e a descrição do simulador. No quarto capítulo são apresentados os cenários propostos para a simulação e os resultados encontrados em cada cenário com suas análises. Finalmente no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões finais desta pesquisa e recomendações futuras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Para (Šaderová, Marasová e Galliková 2018), a simulação é um experimento onde substitui-se os processos do mundo real por uma modelagem computacional, assim podem ser experimentados, avaliados e posteriormente otimizados para aplicação em processos reais. (Saayma e Bekker 2013) complementa com que a simulação computacional é uma das várias tecnologias disponíveis para melhorar a competitividade, e deve ser usada como ferramenta de projeto incluindo logística de cadeia de suprimentos.

Devido a complexidade dos sistemas produtivos do mundo real, a avaliação analítica deste se torna inviável, assim com a simulação um computador pode ser utilizado para avaliar numericamente o modelo, fornecendo informações realistas sobre os modelos em estudo. (LAW e KELTON 2000). Portanto a simulação computacional é uma excelente ferramenta de análises de cenários reais e um mundo irreal (computacional), com isso a análise cadeias de suprimentos e análises de risco das grandes empresas fica mais fidedigna. Também pode ser aplicado, como possibilidade de uso para os casos descritos nos itens 2.4 e 2.3 deste trabalho, ao conseguir utilizar essa ferramenta na análise dos acidentes e principalmente nas decisões de ativação ou reativação das plantas industriais.

(Banks, et al. 2002) já defendiam que a simulação de eventos discretos também permitirá a avaliação do comportamento dinâmico das cadeias de suprimentos em um estado não-estável, por exemplo, uma recuperação do sistema após perturbações, como interrupções de recursos críticos. O desafio é como ampliar o uso da simulação de maneira eficaz em toda a organização. (Bapat e Sturrock 2003)

Para (Vieira 2004) a simulação é definida como uma atividade de imitar o comportamento de um sistema (sendo projetado ou não), através da criação de um modelo matemático com auxílio de computador.

Segundo (W. K. Grassmann 2014), a simulação de eventos discretos é provavelmente a maneira mais eficaz para encontrar as expectativas de equilíbrio em sistemas estocásticos complexos. Com justifica a sua aplicação para análises de investimentos e produções.

O objetivo dos estudos de simulação de estado estacionário é estimar as características de longo prazo do sistema. A simulação de eventos discretos é provavelmente a maneira mais eficaz para encontrar as expectativas de equilíbrio em sistemas estocásticos complexos, além de que simulação pode prever o custo, a capacidade de manutenção e o impacto na receita das novas decisões em sistemas já equilibrados além disso muitas organizações instituíram políticas que exigem análise de simulação antes das despesas de capital acima de um limite prescrito (W. K. Grassmann 2014) (Bapat e Sturrock 2003). Geralmente, a simulação é usada para investigação aprofundada de um sistema e seu comportamento diante de diferentes circunstâncias, além de oferecer a possibilidade de escolher a melhor estratégia de execução de um projeto e com o poder de otimizar os componentes do sistema e identificar possíveis falhas (WU, LIU e LIU 2013).

A simulação de eventos discretos é uma das ferramentas mais populares e utilizadas em Pesquisa Operacional. Geralmente, estudos de simulação são usados para fornecer informações a serem usadas na tomada de decisões operacionais e comportamentais referentes ao sistema que está sendo simulado. A precisão e a confiabilidade da saída de um modelo de simulação são de primordial importância, as grandes organizações empregam esses modelos ainda mais, simulando os processos para explorar mudanças alternativas nos negócios antes da implementação (Crawford e Gallwey 2000) (Bapat e Sturrock 2003)

Dentre as aplicações da simulação, (Vieira 2004), (Banks, et al. 2002) (LAW e KELTON 2000) (Law 2015) apresentam as seguintes:

- Projeto e análise de sistemas de manufatura;
- Avaliação de requisitos de hardware e software para um sistema de computador;
- Avaliação de um novo sistema ou tática de armas militares;
- Determinando políticas de pedidos para um sistema de inventário;
- Projetando sistemas de comunicação e protocolos de mensagens para eles;
- Projetando e operando instalações de transporte, como rodovias, aeroportos, metrô ou portos;
- Avaliando projetos para organizações de serviços, como hospitais, correios, ou restaurantes de fast-food;

- Analisando sistemas financeiros ou econômicos
- Redução de estoque e planejamento da produção;
- melhoria de desempenho;
- testes de novos projetos antes de suas implementações reais;
- Atingir o uso otimizado de recursos;
- Obter melhores resultados logísticos dentro da cadeia de suprimentos;
- Estudar parâmetros de produção e as formas de controlá-los
- Análise de longos períodos em curtos tempos de execução;
- Otimizar fluxos de materiais;
- Reduzir os custos de processos;
- Aumentar a velocidade de transporte de materiais;
- agilizar e reorientar a organização de modo funcional para o processo e além das paredes da fábrica;
- investigar o impacto das mudanças nas principais mudanças de demanda nos componentes da cadeia de suprimentos.
- Investigar o impacto de maneiras novas e inovadoras de configurar e operar uma grande cadeia de suprimentos.
- Investigar o impacto de eliminar um existente ou adicionar um novo componente de infraestrutura a uma cadeia de suprimentos existente.
- Investigar o impacto da mudança de estratégias operacionais em uma cadeia de suprimentos, devido a grandes mudanças em produtos, processos, localização e uso de instalações, etc.

(Bapat e Sturrock 2003) evidenciam muito bem ao dizer que o poder da simulação atende as deficiências de compreensão do hoje e fornece as informações necessárias para planejar o amanhã.

De acordo com (ALTIOK e MELAMED 2010.), as etapas da simulação podem ser setenciadas como segue:

1. Análise do problema e coleta das informações;
2. Estimar parâmetros de entrada do modelo;
3. Construir um modelo e implementá-lo em um programa de computador;
4. Verificar o modelo construído;
5. Validação do modelo;

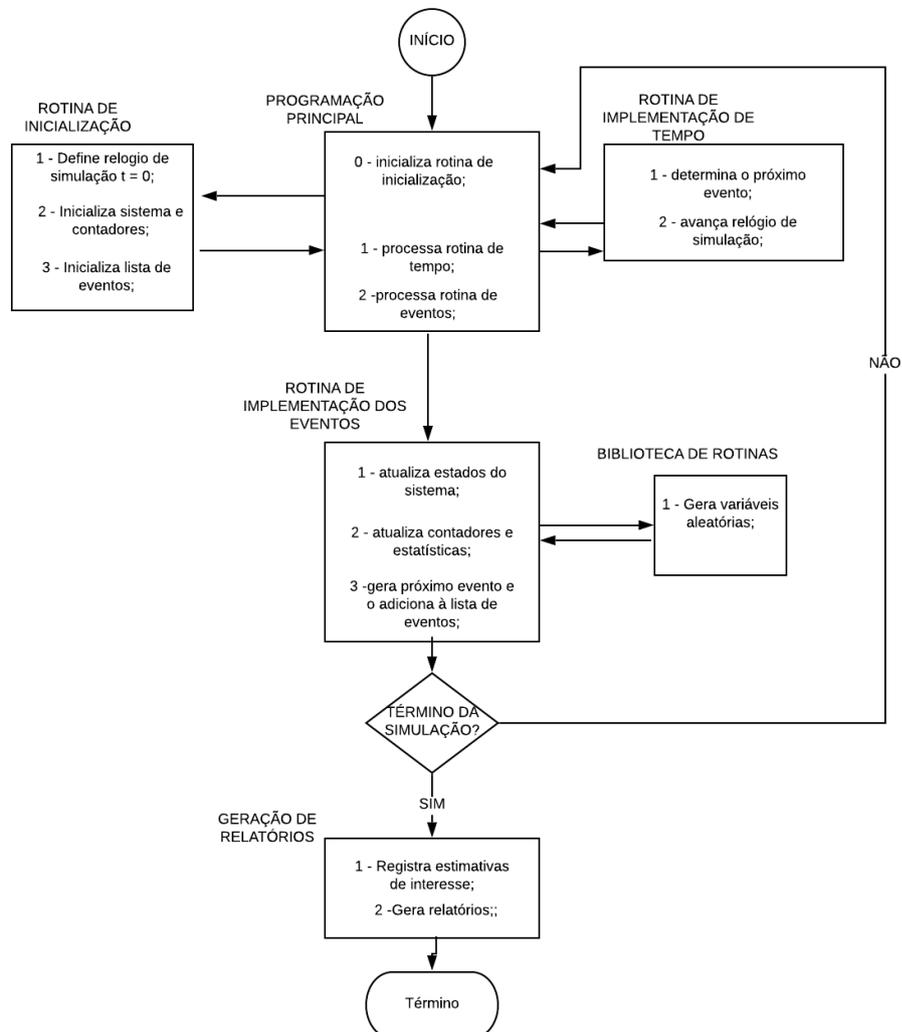
6. Realização de experimentos na simulação;
7. Analisar as saídas do modelo;
8. Gerar relatório com as recomendações finais do sistema.

A hierarquia da simulação consiste em coletar as informações do sistema em que se deseja estudar. O problema advém de uma situação real em que se deseja um resultado específico. Deve-se identificar os parâmetros do mundo real e que serão utilizadas como entrada no sistema, medidas de desempenho do que se deseja avaliar, relacionar os parâmetros avaliados com as variáveis existentes e organizar as regras que governam a operação do sistema. Ainda, quando alguns dados ou parâmetros não podem ser coletados, pode-se utilizar de inferência estatística no modelo. Após isso, deve-se construir o modelo baseado no modelo real e implementar em um computador através de software de simulação. Com a construção do modelo e inserção de todos os parâmetros coletados, procede-se com a verificação do modelo. Para validar um modelo deve-se colocar o modelo para funcionar e comparar os seus dados de saída com o que é produzido no sistema real. As diferenças devem ser analisadas no modelo e modificadas até que se encontre os resultado do sistema real, mesmo que consista em retornar ao primeiro passo até que se encontre os dados reais de saída do sistema no modelo virtual. Na prática, o ciclo de coleta de informações à validação do modelo pode ser realizado por diversas vezes. Com o modelo já validado, prossegue-se com a experimentação de cenários propostos. (ALTIOK e MELAMED 2010.) afirmam que para obter confiabilidade estatística suficiente das medidas de desempenho relacionadas ao cenário, cada cenário é replicado (executado várias vezes, sujeito a diferentes sequências de números aleatórios) e os resultados são calculados em média para reduzir a variabilidade estatística. Como um modelo virtual não gera consequências no modelo real, inúmeras alternativas podem ser consideradas para se descobrir o melhor curso da ação, desde layouts, redução de lead times e até melhoras em gargalos de produção. Depois de todas as simulações realizadas a produção de relatórios com as análises de saída deve ser produzidos para recomendações finais do novo sistema a ser implementado (ALTIOK e MELAMED 2010.) (Bapat e Sturrock 2003).

A sistemática de funcionamento de um modelo de simulação se dá à medida que evolui ao longo do tempo por uma representação na qual as variáveis de estado mudam instantaneamente em pontos separados no tempo. O relógio de simulação é

inicializado em zero e os tempos de ocorrência de eventos futuros são determinados pela modelagem. Então o tempo é avançado para o momento seguinte em que ocorre alguma alteração nos eventos do modelo, e então nesse tempo o modelo é atualizado e assim passa para o momento seguinte de atualização e assim sucessivamente até que uma condição pré-estabelecida seja satisfeita e então o modelo para. Ou seja, a cada mudança de tempo, os pontos modelados, mesmo que isolados, são calculados. Esses pontos no tempo são aqueles em que um evento ocorre, onde um evento é definido como uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema. (LAW e KELTON 2000). A **Figura 1** retrata essa rotina.

**Figura 1:** Fluxo de avanço de tempo no ARENA.



Fonte: Adaptado de (LAW e KELTON 2000)

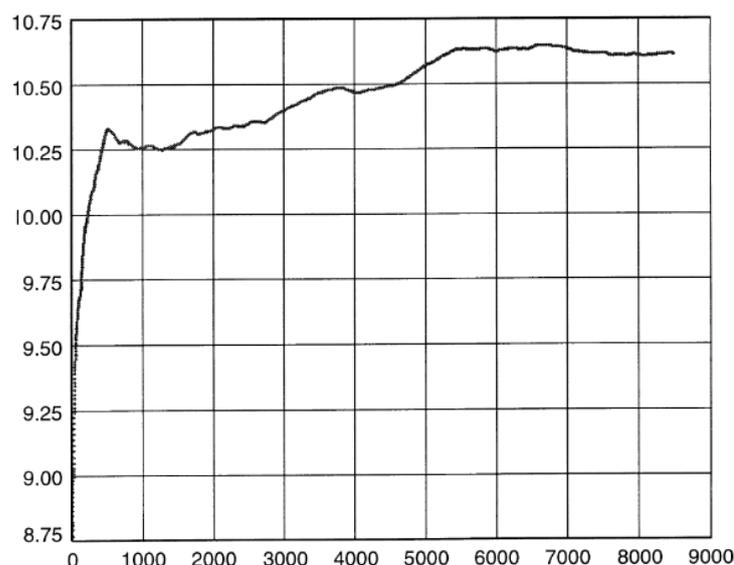
Para (Law 2015) uma grande quantidade de tempo e dinheiro é gasto em desenvolvimento do modelo e programação, nos estudos de simulação, mas pouco esforço é feito para analisar os dados de saída de simulação de forma adequada. Há

duas questões fundamentais para assegurar a precisão das estimativas de desempenho obtidos a partir de um modelo de simulação. A primeira é a remoção de qualquer polarização de inicialização, o segundo é assegurar que os dados de saída é produzido suficiente para se obter uma estimativa precisa do desempenho no mundo real (HOAD, ROBINSON e DAVIES 2010).

## 2.2 PERÍODO DE AQUECIMENTO

Ao serem executados, os modelos de simulação levam um tempo para atingir o estado estacionário. Durante este período de tempo, o modelo está em estado transitório. As observações coletadas durante este período, podem afetar a as estimativas da medida de desempenho do modelo, principalmente se o estado transitório durar um tempo relativamente longo. Uma das maneiras de superar este problema é executar o modelo de simulação com um período de descarte de informações chamado de *warm-up* (Mahajan e Ingalls 2004). (W. K. Grassmann 2014) ainda complementa que normalmente, seleciona-se o estado inicial através de método determinístico de randomização, e para isso o sistema simulado é inicialmente vazio, e, neste caso, o desvio pode ser substancial. Para reduzir a polarização, recolhem-se os dados depois de um certo período de aquecimento.

**Figura 2:** Gráfico típico utilizado para identificar warm-up period



Fonte: (Crawford e Gallwey 2000)

(Peng, Fei e Ming 2011) apresentam cinco métodos principais para se trabalhar com o período de aquecimento:

1. Modelar inicialmente por um período até atingir uma condição realista, excluindo os dados coletados do período de aquecimento após atingir esta condição.
2. Definir as condições iniciais no modelo para que a simulação inicie em uma condição já considerada realista, assim não produzindo dados de aquecimentos.
3. Definir as condições iniciais parciais, aquecer o modelo e excluir os dados de aquecimento.
4. Executar o modelo por muito tempo, tornando o efeito de período de aquecimento insignificante.
5. Estimar os parâmetros de estado estacionário a partir de uma curta simulação transitória.

(Hoad e Robinson 2011) ainda afirmam que a utilização dos dados fornecidos no período de *warm-up* poderão produzir um resultado tendencioso e, portanto, conclusões incorretas. Um método para lidar com esse problema é executar o modelo por um período de aquecimento até que o estado estacionário seja atingido e remover dados tendenciosos de inicialização produzidos nesse período de aquecimento. A essa remoção de dados são definidas por (W. K. Grassmann 2010) como exclusão transitória, e que essa exclusão deve ocorrer desde que o estado de funcionamento do processo simulado seja conhecido.

Nota-se que para os diversos autores citados, o período de aquecimento é um período que serve para que o modelo atinja o estado estacionário, desprezando os dados que esse estudo fornece, pois para os seus respectivos estudos o importante da análise é o estado estacionário, já que em seus estudos já partem de sistemas que estão em estado de funcionamento.

No entanto, (W. K. Grassmann 2010) afirma que se um bom estado inicial for conhecido, nenhuma exclusão inicial de transporte é necessária. O objetivo do período de aquecimento é alcançar, com alta robustez, um bom estado de tempo zero para o modelo (W. K. Grassmann 2010).

Também segundo (GRASSMANN 2008), o estudo de períodos de aquecimento só é possível se algum estado de equilíbrio do sistema já for reconhecido.

Nesse sentido, o estado de equilíbrio do sistema da SAMARCO já era conhecido (Oliveira Júnior 2011) e (NASCIMENTO 2016). O período de aquecimento, no entanto, era desconhecido e este é o alvo principal desta pesquisa. Sob nova perspectiva do modelo, a análise do *warm-up period* dará qual ponto a cadeia de suprimento encontrará o seu regime de trabalho em equilíbrio, validando o seu uso em habilitação logística de um sistema em interrupção.

### 2.3 ACIDENTES PRODUTIVOS

Segundo (BROWN 1999), o primeiro relato encontrado na literatura foi um acidente industrial ocorrido em 1654, em Delft, na Holanda. Foi uma explosão de pó dentro de uma fábrica de cerâmica. As consequências da explosão foram 100 fatalidades e 500 casas destruídas. Devido ao rápido desenvolvimento industrial e as novas tecnologias usando condições de processo de altas temperaturas e pressões, decorrentes da Primeira Guerra Mundial, que foi notado um aumento significativo dos acidentes (BROWN 1999). No entanto, cada planta mecânica da linha de produção pode ocorrer o fenômeno de fadiga e danos, que podem levar à interrupção da produção e até a grandes acidentes.

(Miguel 2014) define desastre como a quebra de um sistema, que afeta suas prioridades e objetivos, podendo ser repentinos ou serenes. Para (Altay e Ramirez 2010) os desastres interrompem as cadeias de suprimentos, fluxos de produtos, prejudicam a infraestrutura e por sua vez, afetando a lucratividade da empresa. Assim, analisar a resiliência, fazer gestão de riscos e atualizar o planejamento de produção com embasamento de desastres se mostra importante. Ainda Segundo (Miguel 2014) a avaliação de risco de um evento deve considerar tanto sua probabilidade de ocorrência como a gravidade de suas consequências. Toda atividade que uma cadeia de suprimentos conduz tem um risco inerente que uma a ruptura pode ocorrer. (Ponomarov e Holcomb 2009).

(Miguel 2014) apresenta ainda que existem 3 tipos de riscos, Os aleatórios, os que estão fora do controle da operação, os riscos acidentais, que são fatores internos mas não possuem caráter intencional, e os riscos intencionais. Quaisquer dos riscos apresentados podem gerar um desastre que interrompa as operações das empresas. Muitos desastres podem tirar uma empresa do mercado e impactar diversos outros setores relacionados à ela ou que ela impacta de forma indireta. Alguns desastres

podem trazer consequências irreversíveis, que trazem enormes prejuízos à empresa ou forte imposição, inviabilizando seu retorno produtivo ou reversíveis, que são tragédias pouco prejudicial a estrutura produtiva da empresa ou que suas imposições legais demandem tempo até a sua legalização de produção. (Ponomarov e Holcomb 2009) vão de encontro com essas ideias ao dizer que interrupções como a perda de um fornecedor crítico, um grande incêndio em uma fábrica ou um ato de terrorismo têm o potencial de afetar adversamente a receita e o custo. Eles podem levar a perda de vendas e até mesmo a participação de mercado, além de aumentar os custos devido aos serviços de logística acelerados.

(BROWN 1999) analisa vários acidentes industriais graves, ao redor do mundo e afirma que a melhoria do desempenho de segurança de todas as fases das instalações industriais tornou-se fundamental. A segurança das plantas se tornou um aspecto vital na proteção de vidas, meio ambiente e investimentos. Para o mesmo autor, estudos ou revisões de segurança do processo devem ser atualizados periodicamente com intervalos de 3 a 10 anos, de acordo com o potencial danoso da indústria.

O caso da SAMARCO em 2015, pode ser comparado a diversos outros mundo afora, como evidencia (Gomes 2004). Como exemplo podemos citar alguns casos como:

- A fábrica química Union Carbide libertou uma nuvem de gás tóxico sobre a cidade de Bhopal, na Índia, quando seus sistemas de segurança não eram adequados para situações calamitosas (Gomes 2004).
- O sistema flutuante de produção da plataforma FPSO São Mateus, que processa e armazena gás natural, houve explosão da casa de bombas após um vazamento de gás em 2015 (ADAMS 2015).
- Explosão na plataforma petrolífera da *DeepwaterHorizon*, em abril de 2010 no golfo do México, onde houve a perda do controle de poço e culminou em uma explosão em uma das torres de sustentação da plataforma (R. F. Pereira 2016).

Alguns acidentes ainda não foram totalmente esclarecidos como o caso de Chernobyl, (Depuy 2007). Ainda assim, esses, servem para avanços no campo científico e industrial, na utilização para tomada de lições aprendidas em situações em que a possibilidade de erro é zero e o risco é elevado.

Uma série de fatores podem levar aos acidentes como exemplificadas acima, dentre elas: alta complexidade da operação, margem de erros nula ou reduzida, operação levada ao limite de produção, decisões equivocadas, que aumentam os riscos ao invés de mitigá-los, excesso de vaidade de equipe responsável e a falta de planejamento.

**Tabela 1:** Análise de desastres ambientais reportados pela mídia.

EMPRESA	PORTE DA EMPRESA	SETOR DA EMPRESA	CIDADE	PAÍS	ANO	RETOMADA DE ATIVIDADES
PurityDistilling Company	Regional	Alimentícia	Boston	EUA	1919	não
Petrobras S.A	Multinacional	Petrolífero	Cubatão, SP	Brasil	1984	sim
Union Carbide	Multinacional	Fertilizantes	Bhopal	Índia	1984	não
Usina atômica de Chernobyl	Multinacional	Energia	Chernobyl	Ucrânia	1986	não
Exxon Mobil Corporation (Exxon Valdez)	Multinacional	Petrolífero	Alasca	EUA	1989	sim
Petrobras S.A	Multinacional	Petrolífero	Rio de Janeiro, RJ	Brasil	2000	sim
Petrobras S.A	Multinacional	Petrolífero	Araucária, PR	Brasil	2000	sim
Petrobras S.A	Multinacional	Petrolífero	Campos, RJ	Brasil	2001	sim
Transocean	Multinacional	Petrolífero	Golfo do México	EUA	2001	sim
Acumuladores Ajax Ltda.	Nacional	Baterias automotivas	Bauru, SP	Brasil	2002	não

EMPRESA	PORTE DA EMPRESA	SETOR DA EMPRESA	CIDADE	PAÍS	ANO	RETOMADA DE ATIVIDADES
Repsol (Navio Prestige)	Multinacional	Petrolífero	Galiza	Espanha	2002	sim
Industria Cataguases de Papel	Regional	Celulose	Cataguases, MG	Brasil	2003	sim
Mineração Rio Pomba Cataguases	Regional	Mineradora	Miraí, MG	Brasil	2007	não
British Petroleum	Multinacional	Petrolífero	Golfo do México	EUA	2010	sim
Chevron	Multinacional	Petrolífero	Rio de Janeiro, RJ	Brasil	2011	sim
Ultracargo	Multinacional	Armazenamento de Graneis	Santos, SP	Brasil	2015	sim
Samarco Mineração	Multinacional	Mineradora	Mariana, MG	Brasil	2015	*não até o momento
VALE	Multinacional	Mineradora	Brumadinho MG	Brasil	2019	sim

Fonte: O Autor

Ao se analisar a tabela 1, os grandes desastres ambientais reportados pela mídia, é possível notar que as multinacionais encontram menor resistência ao retomarem às suas atividades. Mesmo que em cada um dos desastres sofreram sanções jurídicas e financeiras, as EGPs mantêm sua estrutura operacional e/ou financeira favoráveis para a reestruturação. Para a mineradora Samarco (Samarco 2015), comparando os Demonstrativos do Resultado do Exercício (DRE) de 2014 e 2015, os resultados provenientes das receitas de operação (contabilizado até novembro de 2015)

mantiveram-se constantes, justificando então todo potencial de recuperação financeira da mineradora.

Levando em consideração a importância econômica de Empresas de Grande Porte (EGP) para a economia local, regional e nacional, é importante conhecer o impacto na rede logística, afetada pelo acidente, visando recompor a economia a ela agregada. Neste sentido, é necessário um estudo de viabilidade operacional e financeira para retomada de operação para que as EGPs voltem a produzir.

A necessidade de recuperação dessas indústrias é de vital importância para seus acionistas e colaboradores, (Ponomarov e Holcomb 2009) já afirmavam que uma empresa tem a necessidade de ser resiliente para absorver as mudanças e ser estável para voltar a um estado de equilíbrio após uma perturbação temporária. Quanto mais rápido um sistema retorna equilíbrio, maior é a sua estabilidade. (Ponomarov e Holcomb 2009) apontam que uma organização resiliente a desastres aprende com sua experiência. Eles identificam quatro estágios de gestão de emergências, sendo eles: a mitigação de riscos, preparação para desastres (prontidão), resposta a emergências e recuperação de desastres. Além disso, enfatizam a aprendizagem com desastres e erros ocorridos na gestão empresarial. Apontam ainda que ao se realizar reparos em pontos onde houve erros para continuidade de funcionamento, pode diminuir a vulnerabilidade da infraestrutura, como por exemplo, ao se perder uma usina por um terremoto, pode ser executada uma nova com diferente design capaz de suprir as falhas que a anterior apresentava. Além de quesitos operacionais e de infraestrutura, uma das questões a ser recuperada é a confiança dos envolvidos, acompanhamentos psicológicos e sociais também são importantes nas fases de recuperação. Em termos logísticos, uma estratégia competitiva pode ser conquistada através da capacidade de aprendizagem com experiências e gestões anteriores. (Esper, Fugate e Davis 2007).

As EGPs, ao evoluírem e se estruturarem devem possuir planos de gerenciamento de risco com medidas e soluções em casos emergenciais, como desastres e interrupções de sua cadeia logística. Após a interrupção, como consequência desses desastres, a necessidade de mobilização de pessoal e ferramentas para viabilização financeira para retorno do estado de equilíbrio faz-se necessário. Uma ferramenta bastante empregada em análises de cenários é a simulação de eventos discretos, onde é possível testar diversas configurações alternativas e ajustar o melhor a ser

implementado (Towill 1996). (Chwif e Medina 2010) defendem que a simulação pode ocorrer de duas formas: a computacional, utilizando de computadores e a não computacional, feita por meio de protótipo. Ainda segundo (Chwif e Medina 2010) a simulação é a representação simplificada da interação entre as partes, sendo o modelo uma representação mais simples que a realidade. Já (Garcia, Lustosa e Barros 2010) defendem que a simulação é feita a partir de probabilidades, que através da geração de números aleatórios e modelagem a partir da realidade, pode-se simular cenários e calcular valores esperados, permitindo assim a implantação de hipóteses adicionais. A necessidade da avaliação de riscos, análises de cenários e consequências de decisões é de extrema importância na tomada de decisões, visto isso, a aplicabilidade de simulações de eventos em tomadas de decisões estratégicas como a reativação de cadeias logísticas ou de plantas industriais é de grande valia.

## 2.4 ATIVAÇÃO E REATIVAÇÃO DE PLANTAS INDUSTRIAIS E AS SUAS RELAÇÕES

Diversos estudos, projetos, e análises devem ser elaborados no início de produções fabris, bem como a composição de uma rede logística estruturada demanda anos de trabalho árduo e diversas decisões e consequências advindas dessas decisões. Um grande desafio além da melhoria contínua da cadeia de abastecimento é o início das relações e *start-ups* de plantas industriais. Para (López-Alvarez, et al. 2018) uma política de *start-up* adequada é a chave para uma operação ideal e confiável, não só nos primeiros dias ou semanas de operação, mas também ao longo de todo o seu ciclo produtivo. Uma política estruturada de operação e pontos a serem trabalhados em uma cadeia de suprimentos podem melhorar a eficiência produtiva. (López-Alvarez, et al. 2018) ainda afirmam que quando as definições são tomadas em tempo real, sem planejamento necessário, as decisões devem ser tomadas simultaneamente à operação.

Durante a fase de inicialização produtiva e de instalação de uma planta industrial a equipe é formada e treinada, são atribuídas responsabilidades, procedimentos são estabelecidos, ferramentas e controles são instalados, configuração de comunicações e contato inicial entre a equipe e o cliente são iniciados. Os gestores e sua equipe são confrontados com uma infinidade de atividades, que vão da compreensão dos

aspectos organizacionais ao desenvolvimento de projetos de engenharia, da avaliação de riscos do contrato à solicitação de itens de equipamentos com prazo de execução longo. Em tudo isso, é preciso definir prioridades, elaborar estratégias, construir relacionamentos, resolver problemas críticos iniciais, buscar fornecedores e desenvolver a saúde da organização. Pode ser considerado um período crítico para toda a equipe (EGGINTON 1996).

(KAMIYA, KOBAYASHI e KAWAI 1997) mostram que ativação de plantas envolve custos de projeto e é difícil obter cronogramas de inicialização otimizados, além disso em suas pesquisas apresentam algumas propostas para melhorar a programação de inicialização, de suas análises, e evidenciam as limitações de cada uma. (EGGINTON 1996) afirma sobre a importância da fase de inicialização para o sucesso geral do projeto e enfatizada a necessidade de um processo eficaz de inicialização bem estabelecido. Projetos sempre terão dificuldades no início e principalmente para sua reestruturação (EGGINTON 1996)

Tão complexa quanto o começo de operação em uma planta fabril, é a reativação da planta, seja por quaisquer motivos que causaram sua interrupção. Toda a instalação e processo produtivo já estão elaborados, estruturados e as funções de colaboradores definidas, onde há o desafio da reativação da cadeia de suprimentos e o principal deles que é o fortalecimento da confiança com fornecedores. Se a empresa for integrante de uma rede horizontal, pode levar empresas à jusante ou à montante da cadeia a graves dificuldades ou até mesmo a falência. Justificado por (Altay e Ramirez 2010) que afirmam que os custos desses eventos disruptivos tendem a se ampliar à medida que a densidade e a complexidade das redes de suprimentos aumentam.

As empresas podem ter suas operações verticalizadas, onde os clientes são setores internos da empresa, ou horizontalizada onde os clientes são outras empresas que necessitem do produto principal de sua produção. Essa estruturação como defende (Consoli e Consoli 2006), o que define orienta uma empresa nesse sentido são suas decisões de “fazer” ou “comprar”, ou seja, se uma empresa define como estratégia a produção de seus subprodutos, deixa-a verticalizada, se opta por comprar, define-a como horizontalizada. (Castanheir, et al. 2010) assumem que cadeias de suprimentos, principalmente as mais evoluídas necessitam de constante aplicação sobre as decisões de fazer ou comprar.

O objetivo principal de uma empresa inserida em um cenário econômico é a produção com o menor custo possível e obtendo o máximo de lucro em sua operação para crescimento e retorno de capital para seus investidores. Com o intuito de se conquistar maiores fatias de mercado, as empresas traçam estratégias, o que torna uma empresa bem sucedida é a forma como ela planeja e colocam as suas estratégias em prática. Uma dessas estratégias recentes que tem ganho a atenção, e que segundo (Taylor 2005) é a “última mina de ouro inexplorada dos negócios”, é gestão e integração logística na cadeia de suprimentos.

Uma cadeia de suprimentos é reconhecida como uma rede formada por clientes e fornecedores (Choi e Wu 2008). (Martins, Filho e Pereira 2012) dizem que alinhamento entre fornecedores e clientes acontece de forma gradual e que o seu desenvolvimento se dará pelas interações.

Os gerentes, que alcançam sucesso em suas cadeias, reconhecem que a eficiência de uma cadeia está ligada, em parte, com as relações de seus parceiros da cadeia de abastecimento. E somente através de laços de colaboração estreitos através de toda a cadeia de abastecimento, pode-se atingir plenamente os benefícios da redução de custos e melhoria de receita (Spekman, Jr e Myhr 1998).

O segredo é construir mudanças e melhorias inovadoras na cadeia de suprimentos, como forma estratégica de mercado para que melhore a eficiência e se diferencie das demais. E que desta forma o planejamento torna-se um processo de aprendizado e análise de cenários e estratégias um importante instrumento deste processo (Erhart e Palmeira 2006). Para (Gajšek, Kovač e Hazen 2017) o segredo do sucesso de uma rede logística reside na sua capacidade de desenvolver um mecanismo para a gestão e coordenação de um sistema de logístico especial e operação.

Para a gestão da cadeia de suprimentos, é necessário que as organizações trabalhem em conjunto, para encontrar maneiras de aumentar o valor apresentado aos clientes finais, no qual a presença da confiança tem o poder de melhorar substancialmente as oportunidades de um bom desempenho (Bowersox, Closs e Cooper. 2007). (Tacconi 2012) ainda afirma que além da importância da gestão dos diversos problemas logísticos existentes na cadeia de suprimentos ainda se faz necessário a gestão das questões referentes à ética, à confiança e ao contrato psicológico entre compradores e fornecedores.

(Vieira 2004) cita diversos aspectos que um modelo de simulação da cadeia de suprimentos deve considerar, entre eles os relevantes para uma ativação de planta são:

- As 4 fases principais: clientes, varejistas (atacadistas ou distribuidores), fabricantes e fornecedores;
- comportamentos de demanda;
- tipos de produtos;
- materias primas de cada tipo de produto fabricado;
- Tamanhos mínimos de lote de produção;
- Níveis de estoque de segurança;
- Quantidades mínimas de pedidos e entregas.

Um modelo de simulação, bem planejado e modelado com um entendimento correto dos dados de saída, dá suporte à tomada de decisão, permitindo a redução de riscos e custos envolvidos em um processo (ou projeto). Assim, a ela é uma ferramenta de grande valia para verificar e propor soluções para os problemas comumente encontrados em diferentes setores industriais (Vieira 2004).

### 3 AMBIENTE DE ESTUDO

#### 3.1 A SAMARCO

A Samarco é uma empresa de capital fechado, com controle acionário pertencente à BHPBilliton e Vale, fundada em 1977, atuante no segmento de mineração. Seu principal produto são as pelotas de minério de ferro comercializadas para a indústria siderúrgica de países das Américas, do Oriente Médio, da Ásia e Europa, alcançando em 2010 a marca de segunda maior exportadora de pelotas de minério de ferro no mercado transoceânico, comercializando 100% de seus produtos para mais de 15 países na Europa, Ásia, África/Oriente Média e Américas, e a quinta maior exportadora brasileira, atrás apenas das empresas Vale, Petrobrás, Bunge e Embraer (SAMARCO 2019) (Oliveira Júnior 2011).

Com 42 anos de história no setor mineral brasileiro, a empresa possui duas plantas de extração de minério: Germano, em Mariana e Ouro Preto (MG); além da planta industrial de beneficiamento e exportação: em Ubu - Anchieta (ES), onde estão quatro usinas de pelotização. As unidades são interligadas por três minerodutos de 400 quilômetros de extensão, que atravessam 25 municípios dos dois estados (SAMARCO 2019).

Em 2015, ano em que a Samarco paralisou suas operações, foram alcançadas marcas históricas, sendo 24,9 milhões de toneladas de minério de ferro. Naquele ano, a companhia foi a 12ª maior exportadora do Brasil, faturou R\$ 6,5 bilhões e gerou cerca de 6 mil empregos diretos e indiretos, sendo grande responsável pela economia na região de Germano e Ubu (SAMARCO 2019). Ainda pela (SAMARCO 2019), em 2015, a Empresa ocupou a posição de 12ª maior exportadora do País.

A Samarco sempre desempenhou um papel importante nas economias mineira e capixaba. Em algumas localidades, os impostos gerados diretamente pelas atividades da Samarco são vitais para a economia local dos municípios. Em 2015, ocupou a 12ª posição entre as empresas que mais exportaram e a receita da Samarco equivalia a 1,5% do PIB de Minas Gerais e 6,4% do PIB do Espírito Santo. Além disso, os impostos que eram gerados diretamente pelas atividades da Samarco correspondiam a 54% da receita de Mariana (MG), 35% da receita de Ouro Preto (MG) e 50% da receita de Anchieta (ES). Assim, a retomada das operações da empresa irá contribuir para as economias de Minas Gerais, do Espírito Santo e do país (Samarco 2016).

### 3.2 O SISTEMA PRODUTIVO DA SAMARCO

Com o intuito de simular e otimizar o retorno produtivo da SAMARCO S.A., após o acidente ocorrido na Barragem de Fundão, em Mariana-MG, será necessário apresentar e entender os quais os principais insumos e processos da empresa.

Segundo (Samarco 2016), principal produto comercial de sua produção são as pelotas de minério de ferro, obtidas a partir do beneficiamento de partículas finas de ferro.

No caso específico da empresa, toda a sua infraestrutura de transporte de minério é feita por minerodutos. (Rejowski e Pinto 2003) e (Searcy, et al. 2007) já mostravam a eficiência dos minerodutos em termos de custos de transportes. Por isso, como o sistema de abastecimento já está implantado, não será viabilizado a troca deste sistema de alimentação de minério.

A **Figura 3**, apresenta de forma simplificada o processo de produção de pelotas da Samarco.

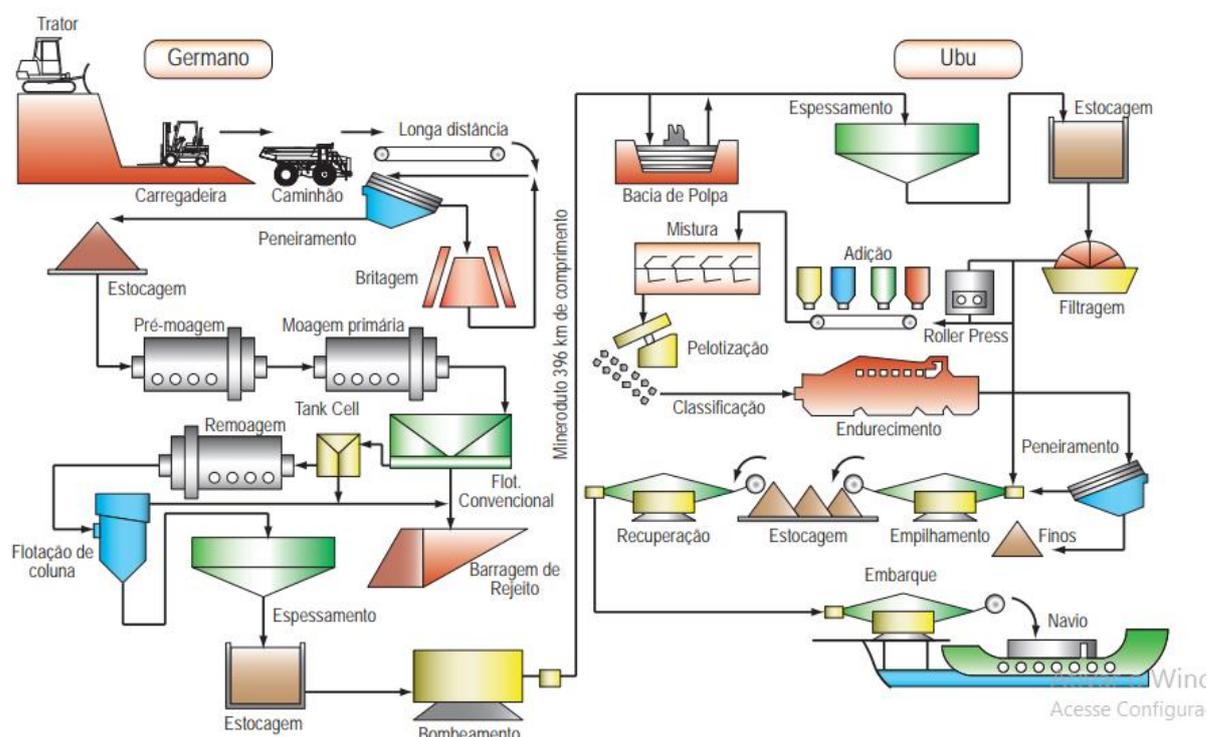
**Figura 3:** Processo de extração do minério na mina.



FONTE: Adaptado de (Samarco s.d.).

(Mourão 2017) define que o processo de pelletização, serve para aproveitamento de minérios concentrados, o que seria inviabilizado para siderurgia caso não fosse pelletizados devido as partículas serem ultra-finas. Ainda segundo (Mourão 2017), no processo de pelletização é necessária a dosagem de aglomerantes orgânicos e inorgânicos, fundentes e, eventualmente, combustíveis.

**Figura 4:** Fluxograma das Unidades de Germano-MG e Ubu-ES



FONTE: (Agência Nacional de Águas do Brasil 2006)

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, de forma mais detalhada, apresenta os processos desde a extração até o embarque do produto final no porto de Ubu-ES.

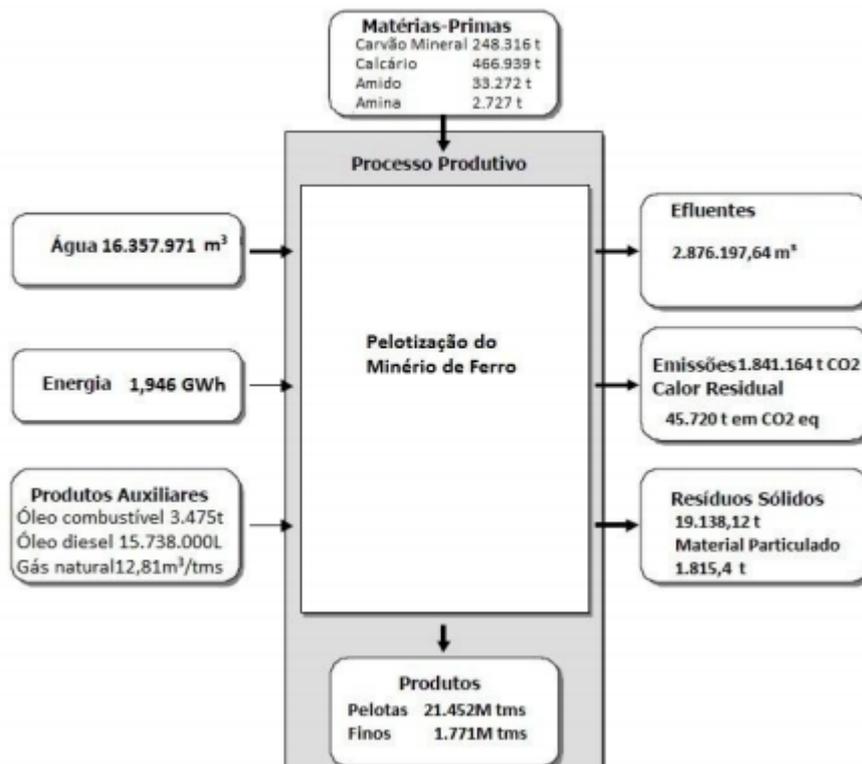
A partir da pesquisa apresentada por (Oliveira Júnior 2011), (Coelho 2013) e (NASCIMENTO 2016) o processo logístico e de beneficiamento do minério, feito pela empresa em questão, foi estudado. Os autores defendem, baseado em análises de matrizes de compras entre outras ferramentas que são cinco os principais insumos de adição, sendo eles:

1. Gás natural - combustível;

2. Carvão mineral - combustível, junto com o gás natural é fonte para a mistura endotérmica da pelotização;
3. Calcário - fundente, e
4. Bentonita; Aglomerante inorgânico do processo;
5. Amido e Aminas; aglomerantes orgânicos do processo.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresentada por (Coelho 2013), apresenta a quantidade necessária de insumos para a produção de pelotas, bem como todos os seus subprodutos.

**Figura 5:** Processo produtivo de pelotas de Minério de Ferro.



Fonte: (Coelho 2013).

Para desenvolvimento dos estudos, (Oliveira Júnior 2011) julga interessante agrupar os insumos devido a características que influenciam diretamente o desempenho logístico de toda uma cadeia de suprimentos. Sendo eles:

- características físicas;
- formas de acondicionamento;

- lead-time de entrega;
- modos de transporte;
- formas de manuseio, armazenagem e preparação para consumo.

As características descritas acima podem ser analisadas da seguinte forma:

1 - O calcário, embora não tão expressivo em termos de desembolsos anuais quando comparado aos demais insumos, representa um elevado risco operacional, dado a inexistência de um insumo alternativo que possa substituí-lo em caso de interrupção de fornecimento. Apresenta, ainda, um dos menores *lead-times* de entrega entre todos os insumos, podendo ser caracterizado como um sistema logístico com tendências ao Just In-Time (JIT). Utiliza o modo de transporte rodoviário com percursos de até 300Km no ciclo completo (ida e volta) e particularidades em relação aos processos de armazenagem, pesagem, descarga e manuseio para consumo que o colocam em evidência perante os demais insumos.

2 - A bentonita, um aglomerante inorgânico, adquirido no mercado doméstico, possui características semelhantes, em termos logísticos, a muitos insumos aplicados no sistema. Faz uso do modo de transporte rodoviário com percursos até 1.500-2.000Km, apresenta um *lead-time* médio de entrega em torno de 20 a 30 dias e particularidades em relação ao acondicionamento da carga, descarga e manuseio para consumo que muito se assemelha a outros insumos do grupo.

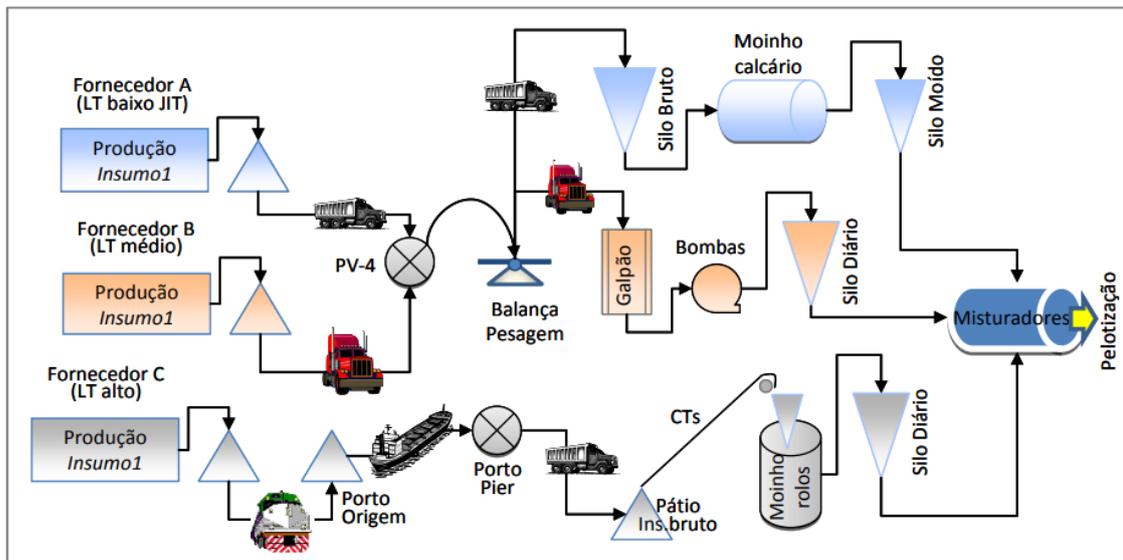
3 - O carvão mineral e os aglomerantes orgânicos serão considerados dentro do mesmo agrupamento, em função de aquisição no mercado internacional e *lead-time* de entrega considerado longo em relação aos demais insumos, por serem provenientes de importação. [...] será definido o carvão como insumo representante desse agrupamento.

( (Oliveira Júnior 2011)pag 68-69)

Assim, os insumos considerados nesta análise foram:

- INSUMO 1: Calcário;
- INSUMO 2: Bentonita;
- INSUMO 3: Carvão Mineral;

**Figura 6:** Cadeia de suprimentos dos insumos da Pelotização.



Fonte: (Oliveira Júnior 2011).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta de forma sucinta, uma representação dos *lead times* de cada insumo, evidenciando os modais de transporte empregado pela mineradora. O sistema utilizado pela SAMARCO é complexo, devido o emprego de 4 distintos modais:

- Ferroviário: empregado no transporte mina-porto do fornecedor de carvão mineral;
- Marítimo: empregado no transporte do carvão mineral do porto do fornecedor ao porto da Samarco;
- Rodoviário: empregado no transporte de calcário, Bentonita e transporte interno de carvão mineral e aglomerantes orgânicos;
- Correias transportadoras: utilizada no transporte interno de insumos;
- Transporte via dutos: Utiliza-se de gasoduto para abastecimento de gás natural e, o diferencial da mineradora, os mais de 400km de mineroduto no transporte mina-usina.

### 3.2.1 Insumo 1

O Insumo 1, representado pelo Calcário, é usado para que se consiga as propriedades metalúrgicas e físicas desejadas nas pelotas queimadas (CEPEMAR 2004).

O Calcário de maior granulometria será recebido através de caminhões que lançam diretamente nos silos de estocagem para, em seguida, serem processados a seco em moinho de martelos e moinho de bolas para a obtenção da granulometria adequada ao processo. O calcário moído será transportado pneumaticamente para um silo de armazenamento diário no prédio da mistura. (CEPEMAR 2004)

(Oliveira Júnior 2011) complementa dizendo que as jazidas de calcário são localizadas a cerca de 150km de distância das usinas de pelotização, sendo realizado por transporte rodoviário. Sendo dois os fornecedores, ambos de Cachoeiro de Itapemirim-ES, e para efeitos de estudo foi considerado um único fornecedor localizado a essa distância média.

### 3.2.2 Insumo 2

A Bentonita é utilizada como aglomerantes orgânicos na pelotização, com a finalidade de dar liga aos produtos inseridos nos discos de pelotização.

A bentonita é fornecida por dois fornecedores distintos localizados na região nordeste, também foram considerados um único fornecedor para efeitos de simplificação e considerado o mais distante por ser o mais representativo. (Oliveira Júnior 2011). A Os volumes chegam em grandes bolsas (big bags) e são estocados em área coberta. (CEPEMAR 2004).

### 3.2.3 Insumo 3

O terceiro insumo considerado para o trabalho é carbono, na forma de carvão, e utilizado como uma adição de combustível às pelotas verdes com a finalidade de melhorar a produtividade do forno e permitir economia de combustível como um todo.. (CEPEMAR 2004).

O carvão recebido tem 12% de umidade natural que ajuda a suprimir pó durante o manuseio. Para a recuperação do carvão do pátio de estocagem, a pá carregadeira alimenta uma tremonha sobre uma correia transportadora que o conduz para um novo galpão de armazenamento. A água aspergida ao redor da tremonha e sobre a transferência da correia transportadora é suficiente para suprimir o pó nesta área. O galpão de armazenamento de carvão é totalmente enclausurado. O carvão transportado pela correia forma uma pilha de estocagem dentro do galpão. O carvão é recuperado desta pilha por

uma espécie de draga que recolhe o carvão da pilha e lança num chute que alimenta um transportador instalado no nível do chão. Este sistema é totalmente automático. O carvão estocado no galpão é conduzido para a áreas dos moinhos de carvão existentes. (CEPEMAR 2004).

Maiores detalhes sobre os processos de extração, recebimento e tratamento dos Insumos 1, 2 e 3 podem ser encontrados no trabalho de (Oliveira Júnior 2011).

### 3.3 O SIMULADOR

O software de simulação escolhido para as análises propostas no item 2.4 foi o Arena®. O Arena é oferecido pela Rockwell Software Inc., que se baseia na linguagem de simulação SIMAN. Pode ser usado para simulações de sistemas discretos e contínuos, para simulação em manufatura, gerenciamento da cadeia de suprimentos, logística, armazenamento e outros processos. O Arena garante um alto grau de flexibilidade, várias instalações para modelos de qualquer nível de complexidade. (WU, LIU e LIU 2013)

A decisão do ARENA® se deu devido a ser um *software* projetado para uso em toda a empresa, desde decisões estratégicas de negócios, com estudo de capacidades em cadeis de suprimentos até melhorias no planejamento operacional. Arena fornece flexibilidade completa de modelagem, permitindo que os analistas capturem a dinâmica de um sistema em qualquer nível de precisão exigido, além de que é utilizado tipicamente em apoio a uma decisão que envolve mudança de processo significativa ou aquisição de capital. (Bapat e Sturrock 2003).

A implementação do modelo no *software* segue os passos apresentados no item 2.1, ou seja, um modelo é criado, validado e analisado para servir a um objetivo específico.

O SIMAN basicamente utiliza dos modelos de simulação de Monte Carlo, onde incorporam aleatoriedade por amostragem de valores aleatórios de distribuições especificadas, sendo em sua essencia composta por algoritmos subjacentes geradores de números aleatórios que produzem valores distribuídos uniformemente. (ALTIOK e MELAMED 2010.)

### 3.4 MODELO BASE

Os trabalhos desenvolvidos por e (Oliveira Júnior 2011) e (NASCIMENTO 2016) serviram de base para a modelagem proposta nessa dissertação. Visto que devido à interrupção de produção da Samarco, os dados necessários para modelagem só são possíveis em trabalhos já realizados.

Os modelos desenvolvidos (Oliveira Júnior 2011) e (NASCIMENTO 2016) já foram testados e validados, possibilitando assim uma análise realista do novo modelo proposto.

(Oliveira Júnior 2011) desenvolveu uma metodologia, validou e propôs cenários de melhorias no sistema de pelotização de suprimentos da Samarco, após identificar seus gargalos. A metodologia proposta por ele foi baseada na modelagem e simulação computacional e na definição de indicadores adequados para avaliar o seu desempenho logístico. (Oliveira Júnior 2011) modelou que representava a atual configuração, à época, da cadeia de suprimentos, procurando-se destacar os principais processos que a compõe. Assim, propôs variações e os experimentou para verificar a eficácia de configurações alternativas dentro de diferentes e possíveis cenários para o sistema. Por fim, o autor, obteve resultados condizentes com a realidade da empresa e comprovou o modelo como adequado para tomada de decisão da mesma.

(NASCIMENTO 2016) utilizando do trabalho de (Oliveira Júnior 2011), abordou a otimização em modelo de simulação de cadeia de suprimentos para obter as melhores respostas para suporte na tomada de decisões operacionais e estratégicas. (NASCIMENTO 2016) voltou sua pesquisa para o insumo de carvão mineral, investigando níveis de estoque ao longo de toda a cadeia, procurando maximizá-los. Aproveitando o modelo, o autor, gerou resultados a partir das situações ótimas que obteve. Por fim, ele faz análise da sensibilidade da mudança nas capacidades instaladas, mudanças nas práticas de estocagem e variações nas capacidades dos processos da cadeia

### 3.5 VARIÁVEIS DE ANÁLISE

Segundo Nascimento (2016), as variáveis independentes são dados fornecidos aos fluxos de simulação em que podem assumir qualquer valor dentro de suas condições, características e restrições. Se caracterizando de duas formas, variáveis de controle

(variáveis independentes) ou variáveis de resposta (variáveis dependentes). Ainda segundo Nascimento (2016), a partir da manipulação das variáveis independentes se pode obter, num processo de simulação, resultados do objetivo que se pretende.

Com base nos dados descritos, as variáveis de controle com seus respectivos valores, fornecidas ao modelo inicial, foram:

**Tabela 2:** Variáveis de controle fornecidas ao modelo, Dados Gerais utilizados no modelo.

DADOS GERAIS		
DESCRIÇÃO	VALOR DE ENTRADA	UNIDADE
Tempo Campanha DR MX	norm(144,8.41)	horas
Tempo Campanha BF STD	norm(120,8.41)	horas
Tempo Campanha BF HB	tria(48.5,71,95.5)	horas
Tempo De Descarregamento Caminhão	15	minutos
Tempo De Pesagem Caminhão	10	minutos
Slots Descarga Caminhão	2	unid
Balança Rodoviária	1	unid

Fonte: O autor.

**Tabela 3:** Variáveis de controle fornecidas ao modelo, Dados Sobre o Insumo 1 utilizados no modelo.

INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	VALORES DE ENTRADA	UNIDADE
Capacidade Caminhão Calcário	30	toneladas
Estoque Máximo no Fornecedor de Calcário	9000	toneladas
Produção Por Hora De Calcário no Fornecedor	norm(99.9,7.26)	ton/h
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
Estoque Segurança no Fornecedor de Calcário	3000	toneladas
Estoque Alvo no Fornecedor de Calcário	4500	toneladas
Estoque Atual Calcário	2100	toneladas
Estoque Máximo Calcário	3700	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	1500	toneladas
Estoque Máximo Bruto Calcário	2000	toneladas
Estoque Alvo Bruto Calcário	1800	toneladas
Estoque Segurança Bruto Calcário	1000	toneladas
Consumo Campanha DR MX	40.3	ton/h
Consumo Campanha BF STD	85.5	ton/h
Consumo Campanha BF HB	100.5	ton/h
Capacidade Caminhão Calcário	30	ton
Tempo Transporte Cliente/Fornecedor	norm(2.5,.5)	hora
Capacidade Moagem Por Hora	120	ton/h

Fonte: O autor.

**Tabela 4:** Variáveis de controle fornecidas ao modelo, Dados Sobre o Insumo 2 utilizados no modelo.

INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	VALOR ENTRADA	UNIDADE
Capacidade Caminhão Bentonita	tria(30,35,40)	toneladas
Estoque Máximo no Fornecedor de Bentonita	5000	toneladas
Produção Por Hora no Fornecedor de De Bentonita	norm(169,30.7)	ton/h
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Segurança no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Alvo no Fornecedor de Bentonita	4000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	1000	toneladas
Estoque Máximo Bentonita	1280	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	2500	toneladas
Estoque Máximo Bruto Bentonita	3500	toneladas
Estoque Alvo Bruto Bentonita	3000	toneladas
Estoque Segurança Bruto Bentonita	2000	toneladas
Consumo Campanha DR MX	0	ton/h
Consumo Campanha BF STD	18.1	ton/h
Consumo Campanha BF HB	18.1	ton/h
Capacidade Caminhão Bentonita	30	ton
Tempo Transporte Cliente/Fornecedor	tria(48,60,72)	hora
Capacidade Moagem Por Hora	500	ton/h

Fonte: O autor.

**Tabela 5:** Variáveis de controle fornecidas ao modelo, Dados Sobre o Insumo 3 utilizados no modelo.

INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	VALOR ENTRADA	UNIDADE
Estoque Máximo Fornecedor de Carvão	40000	toneladas
Estoque Alvo Fornecedor de Carvão	30000	toneladas
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	8000	toneladas
Capacidade Vagão transporte Carvão	60	toneladas
Estoque Segurança Fornecedor de Carvão	10000	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Alvo Porto de Carvão	60000	toneladas
Estoque Máximo Porto de Carvão	90000	toneladas
Capacidade de Navio Carvão	NORM(50000,5000)	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	30000	toneladas
Estoque Máximo Bruto Cliente Carvão	90000	toneladas
Estoque Alvo Bruto Cliente Carvão	60000	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	600	toneladas
Estoque Máximo Cliente Carvão	900	toneladas
Consumo Carvão no Cliente		toneladas

Fonte: O autor.

As variáveis de resposta abordadas nesse estudo e posteriormente analisadas para propostas de cenários e conclusões foram:

**Tabela 6:** Variáveis de respostas analisadas do modelo sobre o Insumo 1.

DADOS GERAIS	
Tempo de interrupção de produção	horas
INSUMO CÁLCARIO	
DESCRIÇÃO	UNIDADE
Estoque Atual Calcário	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	toneladas
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	toneladas

Fonte: O autor.

**Tabela 7:** Variáveis de respostas analisadas do modelo sobre o Insumo 2.

INSUMO BENTONITA	
DESCRIÇÃO	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	toneladas
Estoque Atual Bentonita	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	toneladas

Fonte: O autor.

**Tabela 8:** Variáveis de respostas analisadas do modelo sobre o Insumo 3.

INSUMO CARVÃO MINERAL	
DESCRIÇÃO	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	toneladas

Fonte: O autor.

Além das variáveis de respostas dos insumos, foram levantadas também duas variáveis do sistema, são elas: tempo até o regime estacionário do sistema ( horas) e tempo acumulado de interrupção do sistema (horas).

### 3.6 ALTERAÇÕES NO MODELO BASE

De posse dos modelos utilizados por (Oliveira Júnior 2011) e (NASCIMENTO 2016), ainda assim algumas alterações nos modelos foram necessárias, visto que algumas considerações para o modelo proposto por esse estudo precisavam ser levadas em conta.

Dentre elas, destacam-se:

- (Oliveira Júnior 2011) considerou isoladamente o fornecimento de cada item de suprimento, ou seja, cada item era simulado de forma isolada. Com a modificação proposta, foi feita uma modelagem global, onde todos os insumos são simulados em um único modelo e as produções só iniciam quando houvesse a existência de quantidade suficiente dos três insumos considerados e não apenas de um como foi proposto no modelo de (Oliveira Júnior 2011). Portanto, o atual modelo conta-se interrupção quando existe a falta de qualquer um dos insumos, pois com a ausência de um único a produção não pode ser continuada.
- No modelo proposto por (NASCIMENTO 2016) também foi considerado o carvão como forma isolada de fornecimento, o que poderia trazer um falso positivo por considerar a produção com somente um único insumo.
- No trabalho de (Oliveira Júnior 2011) foi mostrado a existência de uma única balança de pesagem e dois *slots* de descargas. Por ser considerado o fornecimento de forma isolada, as chegadas dos caminhões de insumos diferentes não sofriam interferência uns dos outros. A modificação proposta resolveu a situação pois com a oferta de balanças e *slots*, as chegadas de insumos diferentes poderiam interferir uns nos outros, assim aproximando o modelo proposto ainda mais da realidade. Para evitar conflitos diretos, foi dado prioridade de descarga aos caminhões que tinham maior *lead time* de entrega.

### 3.6.1 Horizontes de Simulação

Prevendo uma grande quantidade de testes de simulação que foram realizados e o tempo que demandaria para a obtenção e tratamento de todos os dados pretendidos, antes de qualquer experimento foram avaliadas as quantidades suficientes de replicações para o simulador.

No modelo de simulação proposto por (Oliveira Júnior 2011) , o horizonte de tempo (duração de cada replicação) definido foi de 1 ano, contabilizado em 365 dias, com um período de pré-aquecimento (*warm up*) de 60 dias para início do registro dos resultados e 80 replicações.

Dessa forma, tentou-se minimizar os esforços, primando-se pela qualidade adequada dos resultados. Para isso, utilizou a abordagem feita por (Oliveira Júnior 2011) que foi baseada com determinação do número ideal de replicações, a partir do próprio modelo testado, este que foi rodado algumas vezes sendo alterado apenas o número de replicações a cada corrida e foram coletados os valores da meia largura do intervalo de confiança (*Half Width*), que é fornecido automaticamente pelo software, e adotando um intervalo de confiança em 95%. Foi utilizado para esse teste 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 30, 32 replicações, e como variável de controle foi adotado os números de pedidos originais realizado no ano para os Insumos 1, 2 e 3, pelo fato de ter sido uma das variáveis de validação do modelo de (Oliveira Júnior 2011)

O intervalo de confiança de 95% foi alcançado com 30 replicações para os três insumos como pode ser observado na **Tabela 9**. (Oliveira Júnior 2011) utilizou 80 repetições em seu modelo, com os dados apresentado na **Tabela 9**, pode ser visto que memória computacional pode ser economizada adotando uma corrida de 30 replicações apenas.

**Tabela 9:** Variação % do *HalfWidth* por número de replicações.

Nº de replicações	2	4	8	12	16	20	24	28	30	32
Half Width Nº Pedido de Carvão	7,95	1,1	0,52	0,39	0,33	0,28	0,25	0,23	0,22	0,22
≠ %		-86%	-53%	-25%	-15%	-15%	-11%	-8%	-4%	0%
Half Width Nº Pedido de Calcário	13,88	4,38	3,72	2,91	2,11	2,01	2,04	2,06	2,04	2
≠ %		-68%	-15%	-22%	-27%	-5%	1%	1%	-1%	-2%
Half Width Nº Pedido de Bentonita	16,53	3,14	1,61	1,41	1,21	1	0,94	0,91	0,86	0,83
≠ %		-81%	-49%	-12%	-14%	-17%	-6%	-3%	-5%	-3%

Fonte: O autor.

O mesmo pode ser comprovado utilizando a fórmula proposta por (Chwif e Medina 2010), onde é efetuado o cálculo do número de replicações definido na fórmula 1:

$$n^* = \left[ n \left( \frac{t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}}{\alpha \cdot \bar{x}} \right) \right] \quad (1)$$

Onde uma primeira rodada deve ser efetuada com um número  $n$  de replicações, com esses valores deve-se obter a média amostral desses dados ( $\bar{x}$ ) bem como seu Desvio-Padrão ( $S$ ). Com isso, deve-se adotar qual o valor do intervalo de confiança aceitável ( $\alpha$ ) e por fim, verifica-se na tabela de *distribuição T-student* onde é possível encontrar o valor para  $t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$  para o  $\alpha$  adotado, e por fim é possível determinar o valor de  $n^*$ , que é o valor de replicações à ser adotado. Para o número de pedidos dos Insumos 1, 2 e 3 a partir da fórmula chegou-se ao valor para  $n^*$  de 29,8 replicações, coincidente ao número adotado conforme **Tabela 9**.

Após a definição do número de replicações, dos parâmetros de entrada e saída do simulador, partiu-se para a fase de experimentação. Com o auxílio do *software Excel* foi possível exportar os dados de simulação e as estatísticas horária das variáveis de saída desejadas, conforme item 3.5, com isso foi gerada uma média de todas as replicações para aquela hora e plotados gráficos para posterior análise.

De posse das informações apresentadas no capítulo 2 dessa dissertação, grande parte do *modus operandi* da empresa pôde ser compreendido, e com os dados de simulação expostos no presente capítulo, os experimentos puderam ser propostos, elaborados, simulados e analisados.

## 4 EXPERIMENTOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

Toda fabricação que envolve transformação de produtos necessita ao menos algum tipo de estoque, sejam matérias-primas que serão processadas, material em processo ainda não finalizado e produtos prontos para venda. A gestão de estoques é necessária para a saúde financeira da organização. (Nemtajela e Mbohwa 2016) já afirmavam que ter estoque significa uma boa parte do capital da empresa mobilizado. (Santos e Rodrigues 2006) vão ao encontro dessa ideia ao afirmar que a otimização do fluxo de materiais é de vital importância, pois os estoques representam grande parte dos seus custos de uma empresa, seja pelo capital mobilizado ao se ter o estoque ou do capital perdido pela falta dele no processo produtivo.

Para evitar prejuízos, estratégias sobre os estoques precisam ser pensadas juntamente com estratégias de aquisição ou de vendas, com isso, otimizando o estoque, menor capital mobilizado a empresa terá.

No caso da Samarco S.A., grandes recursos financeiros foram dispendidos para cumprimento de todas as sanções imposta à empresa, com isso, um bom planejamento de retorno às atividades é de extrema importância para a empresa.

Assim sendo, foram propostos alguns cenários para análise de menor tempo de abastecimento dos principais insumos, citados ao longo do texto para início de produção das pelotas de minério, e também foi pensado formas de diminuir o tempo de interrupção do sistema até o ponto de equilíbrio. Contudo, algumas premissas precisaram ser adotadas. Sendo elas:

- Os fornecedores permaneceram os mesmos, bem como seus *leads times*.
- As alterações de estoque nas análises de cenário somente foram realizadas no estoque do cliente, no caso a mineradora em estudo;
- Estoques máximos, alvos e de segurança permaneceram os mesmos ao longo de todas as corridas;
- As capacidades de moinhos e de transporte marítimo e rodoviário permaneceram as mesmas;
- Os processos produtivos e de beneficiamento dos insumos permaneceram idênticos.

- Em todas as corridas, como não foi simulado o abastecimento de minério de ferro, foi considerado um tempo de 50 horas até o início da produção para que haja o tempo de chegada e tratamento desse minério.

A partir disso, os cenários foram propostos e discutidos e serão melhores apresentados e explicados nos itens que seguem.

#### 4.1.1 Cenário 0, ou “As Is”

Neste primeiro cenário, foram adotadas as configurações de estoque conforme (Oliveira Júnior 2011) e (NASCIMENTO 2016), sendo os dados iniciais os apresentados os apresentados na **Tabela 10**, **Tabela 11** e **Tabela 12**.

**Tabela 10:** Dados iniciais Insumo 1 no Cenário 0.

Insumo	Elo	Local	Níveis de Estoque	Variável	Volumes em ton
Insumo 1 Calcário	Fornecedor	Galpão de Armazenagem	estoque máximo	est_max_fornecedor	9.000
			estoque alvo	est_alvo_fornecedor	4.500
			estoque atual	est_atual_fornecedor	4.000
			estoque segurança	est_segur_fornecedor	3.000
	Cliente	Silo de Calcário Bruto	estoque bruto máximo	est_max_bruto_cliente	2.000
			estoque bruto alvo	est_alvo_bruto_cliente	1.800
			estoque atual	est_atual_cliente	1.500
			estoque bruto de segurança	est_segur_bruto_cliente	1.000
		Silos de Calcário Moído ou Diários	estoque máximo	est_max_cliente	3.700
			estoque atual	est_atual_cliente	2.100

Fonte: (Oliveira Júnior 2011)

**Tabela 11:** Dados iniciais Insumo 2 no Cenário 0.

Insumo	Elo	Local	Níveis de Estoque	Variável	Volumes em ton
Insumo 2 Bentonita	Fornecedor	Galpão de Armazenagem	estoque máximo no galpão	est_max_fornecedor	5.000
			estoque alvo no galpão	est_alvo_fornecedor	4.000
			estoque atual no galpão	est_atual_fornecedor	3.000
			estoque segurança no galpão	est_segur_fornecedor	3.000
	Cliente	Galpão de Armazenagem	estoque bruto máximo	est_max_bruto_cliente	3.500
			estoque bruto alvo	est_alvo_bruto_cliente	3.000
			estoque atual	est_atual_cliente	2.500
			estoque bruto de segurança	est_segur_bruto_cliente	2.000
		Silos Diários	estoque máximo	est_max_cliente	1.280
			estoque atual	est_atual_cliente	1.000

Fonte: (Oliveira Júnior 2011)

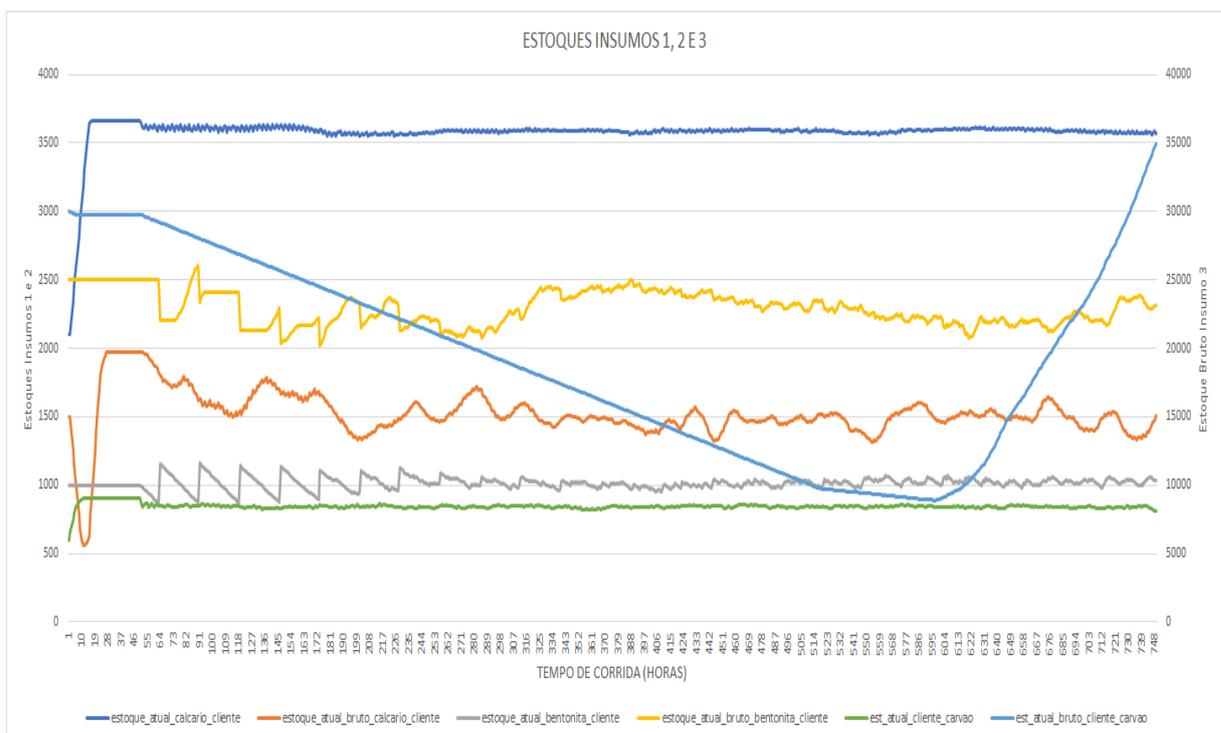
**Tabela 12:** Dados iniciais Insumo 3 no Cenário 0.

Insumo	Elo	Local	Níveis de Estoque	Variável	Volumes em ton
Insumo 3 Carvão	Fornecedor	Galpão de Armazenagem	estoque máximo no galpão	est_max_fornecedor	40.000
			estoque alvo no galpão	est_alvo_fornecedor	30.000
			estoque atual no galpão	est_atual_fornecedor	8.000
			estoque segurança no galpão	est_segur_fornecedor	10.000
	Slot de armazenagem no porto de embarque	estoque máximo no porto	est_max_porto	90.000	
		estoque alvo no porto	est_alvo_porto	60.000	
		estoque atual no porto	est_atual_porto	20.000	
	Cliente	Pátio de Estocagem de carvão bruto	estoque máximo no pátio	est_max_bruto_cliente	90.000
			estoque alvo no pátio	est_alvo_bruto_cliente	60.000
			estoque atual no pátio	est_atual_bruto_cliente	20.000
Silos de Carvão Moído ou Diários		estoque máximo	est_max_cliente	900	
estoque atual	est_atual_cliente	600			

Fonte: (Oliveira Júnior 2011).

Os **Gráfico 1** e **Gráfico 2** foram gerados como resultado dessa análise de cenário, e ambos tratam dos estoques dos insumos 1, 2 e 3 ao longo da simulação “As Is”. O **Gráfico 1** apresenta o eixo da ordenadas em horas, para que se possa analisar o comportamento inicial dos estoques em uma escala de melhor visualização.

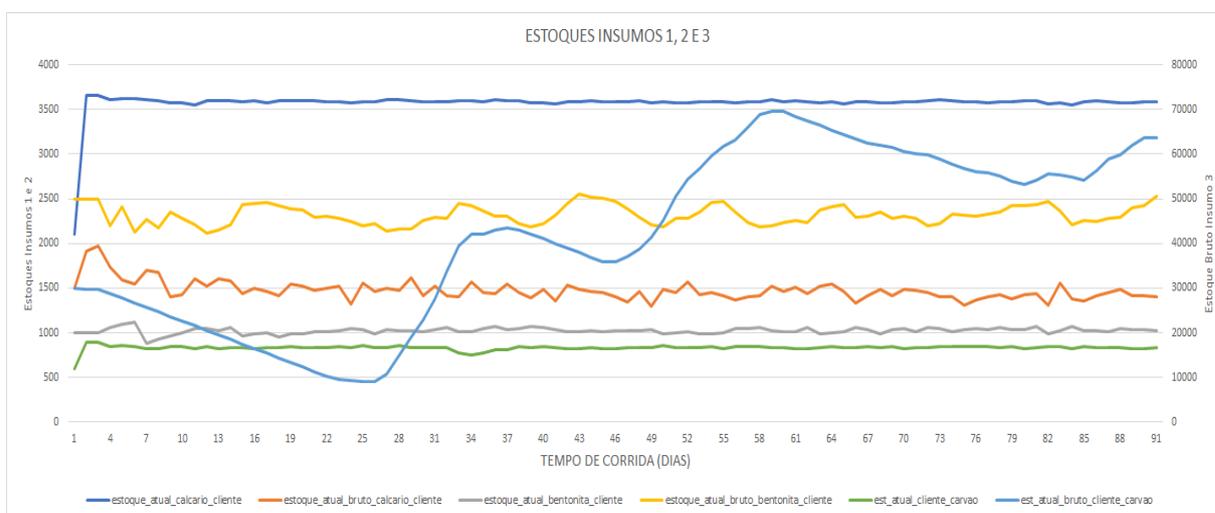
**Gráfico 1:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 0, ou “As is”, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

O **Gráfico 1** **Gráfico 2** apresenta escala no eixo das abcissas com um horizonte de 91 dias para compreensão do comportamento dos insumos ao longo do ano. Os gráficos de todo o presente capítulo apresentam sempre os estoques brutos e moídos de todos os insumos. Devido aos estoques do Insumo 3 bruto (carvão) possuírem altos valores, a sua marcação ficou no eixo secundário e com escala maior, dividida em 10000t. Já a marcação do eixo primário, a esquerda, ficou em intervalos de 500t.

**Gráfico 2:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 0, ou “As is”, eixo em dias.

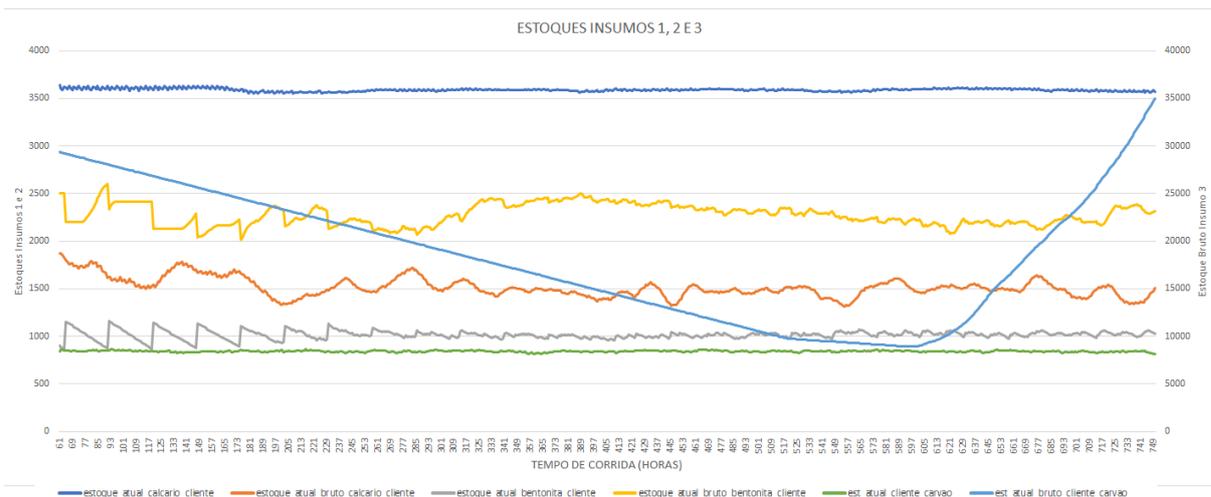


Fonte: O Autor.

Como pode-se observar no Gráfico 1 e Gráfico 2, o sistema com os dados fornecidos por (Oliveira Júnior 2011) atinge regime estacionário de produção ocorre após 28 horas de produção e sempre possuindo estoques para a pelletização, assim não houve tempo algum de interrupção em todo o processo simulado. Nesse cenário, a perturbação inicial se dá pelo processo do sistema de registro de dados e não acontecer desprezo do *warm up period*, com isso o processo sofre essa perturbação inicial. No modelo de (Oliveira Júnior 2011) houve a adoção de 60h para posterior coleta dos dados estatísticos, com isso não houve registro dessa perturbação.

Considerando este período de *warm up*, o simulador obteve um estado de equilíbrio desde o momento inicial, assim como discorreu (Oliveira Júnior 2011), e pode ser visto no **Gráfico 3**, validando o modelo proposto neste estudo.

**Gráfico 3:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 0, considerando o *warm-up period*.



Fonte: O Autor.

O cenário 0 é o cenário de validação do modelo com o modelo proposto por (Oliveira Júnior 2011). Na **Tabela 13** é possível analisar essa comparação. Ambas as corridas tem comprimento de um ano.

**Tabela 13:** Comparações de Variáveis para validação do modelo.

	Nº de Pedidos por insumo			Tempo de interrupção
	Insumo 1	Insumo 2	Insumo 3	
Cenário Real Samarco 2010	345	128	8	0
(Oliveira Júnior 2011)	319	137	9	0
Cenário 0	312	128	8	0

Fonte: O autor.

Estes resultados se aproximam dos resultados encontrados em (Oliveira Júnior 2011), no entanto, é importante destacar que os simuladores possuem um certo grau de diferença e não permitem uma análise comparativa de resultados mais precisa, mas com os dados obtidos nesse primeiro cenário foi possível validar o simulador.

#### 4.1.2 Cenário 1

Este cenário foi pensado com a usina de pelotização com estoque zerado, não possuindo nenhum inventário para os Insumos1, 2 e 3. O objetivo deste cenário é identificar o tempo necessário para o alcance do regime estacionário partindo do *start up* produtivo de todo o sistema.

Com isso os parâmetros de inicialização para os estoques foram os da **Tabela 14**.

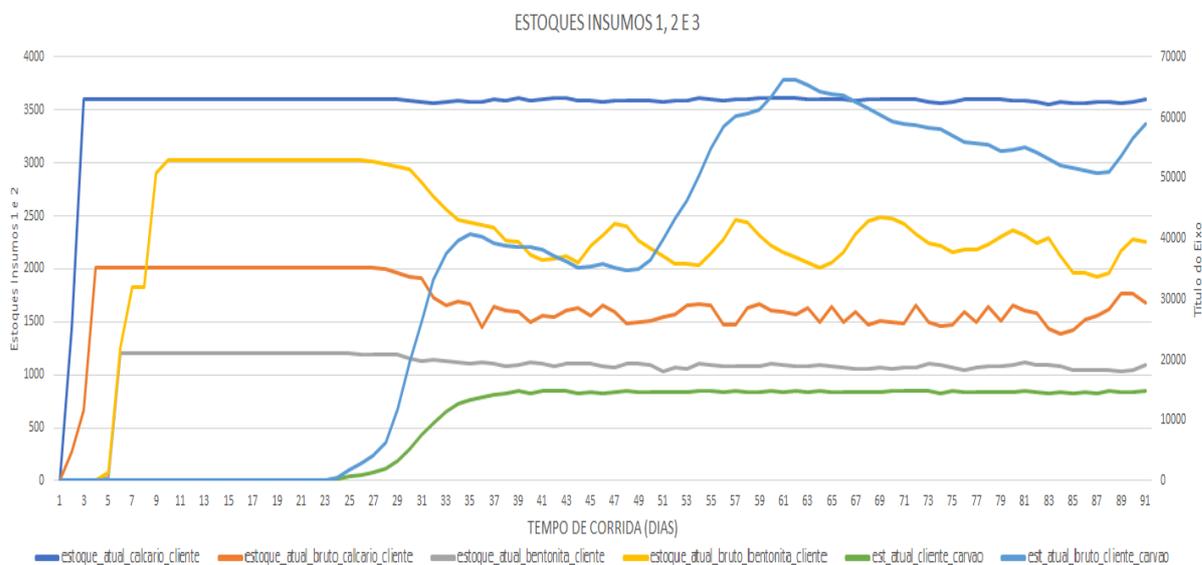
**Tabela 14:** Dados de entrada no modelo para o Cenário 1.

INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	8000	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	Toneladas

Fonte: o autor.

O resultado encontrado gerou o **Gráfico 4**.

**Gráfico 4:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 1, eixo em dias.



Fonte: O Autor.

Ao observar o gráfico, nota-se que para atingir um regime estacionário a partir dos dados do cenário 1, o tempo requerido será de aproximadamente 36 dias, ou em torno de 851 horas.

Esse cenário é o pior entre os propostos, pois não foi considerado nenhuma intervenção na cadeia de suprimentos da mineradora, mas é importante frisar que após atingir o regime estacionário não haverá interrupção da produção.

#### 4.1.3 Cenário 2

O cenário 2 considerou que o gargalo do sistema seria o insumo de maior *lead time*, no caso o insumo 3. Com isso, para tentativa de redução do tempo foi inserido no modelo para a usina começar a contabilizar as estatísticas apenas após haver quantidade suficiente de Insumo 3 em porto para despacho, uma possibilidade plausível, ou seja, que o estoque em porto do fornecedor do Insumo 3 fosse o suficiente para carregar um primeiro navio. Com isso os parâmetros de inicialização do cenário 2 foram os apresentados na **Tabela 15**:

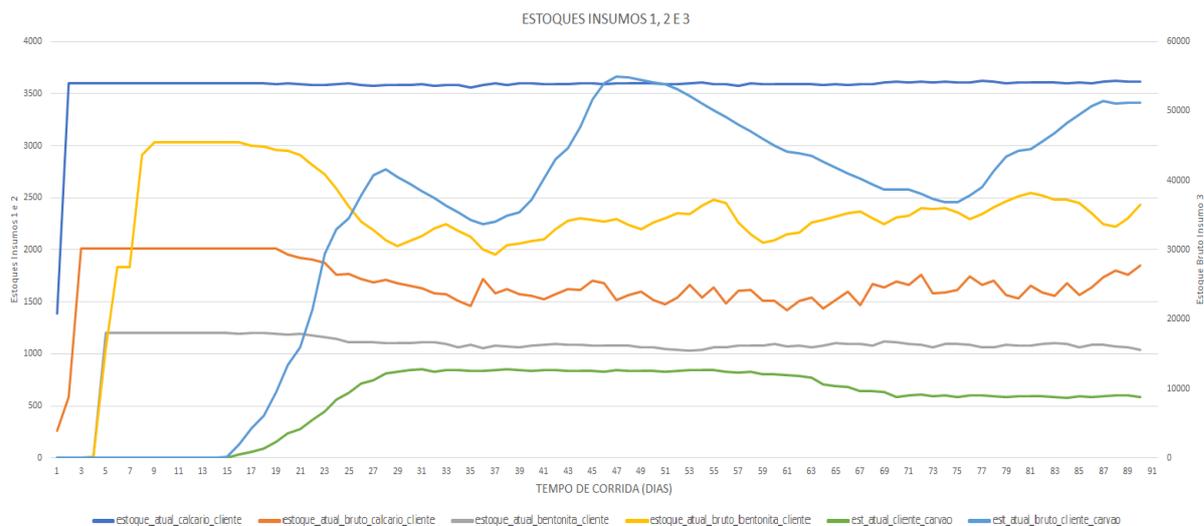
**Tabela 15:** Dados de entrada no modelo para o Cenário 2.

INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	50000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	toneladas

Fonte: o autor.

Os resultados encontrados foram parametrizados no Gráfico 5. A partir da análise, nota-se uma economia de 7 dias em relação ao cenário 1 para o alcance do regime estacionário no cenário 2. Ainda assim demanda aproximadamente 28 dias para alcance de ponto de equilíbrio, com interrupção zero de produção a partir do dia 19.

**Gráfico 5:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 2, eixo em dias.



Fonte: O Autor.

#### 4.1.4 Cenário 3

Para o cenário 3 foi pensado na situação de ainda haver parte do estoque inicial de carvão bruto em pátio, sendo considerado a hipótese de haver 50% do volume do Insumo 3 apresentado no cenário 0. Como observado na **Tabela 16**.

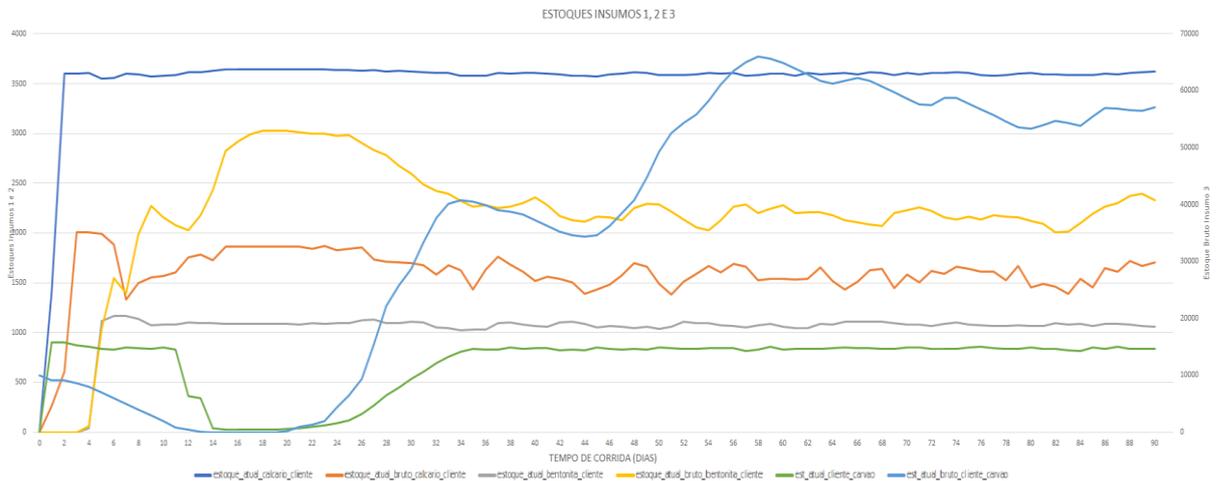
**Tabela 16:** Dados de entrada no modelo para o Cenário 3.

INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	10000	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	toneladas

Fonte: o autor.

Para o cenário 3, a partir das análises do **Gráfico 6**, foi possível notar um comportamento bastante semelhante aos gráficos gerados no cenário 1.

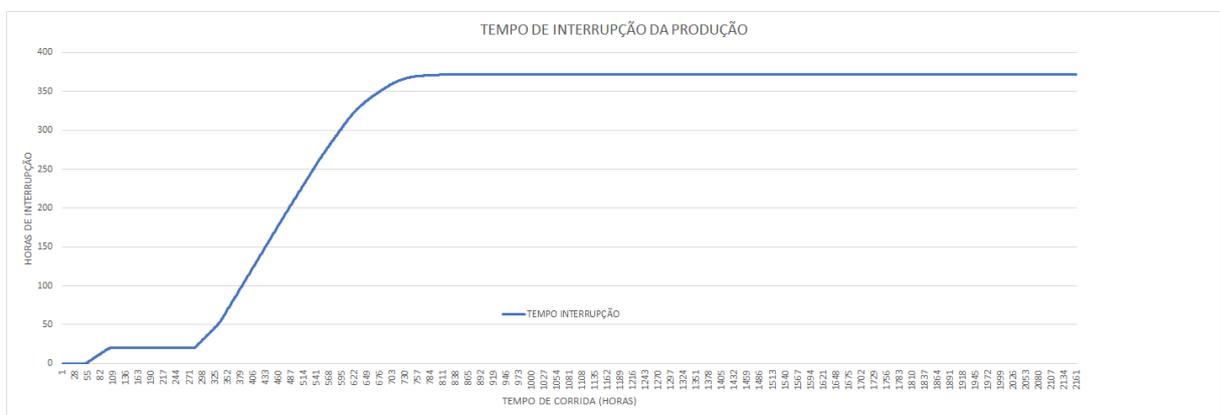
**Gráfico 6:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 3, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

A diferença ocorreu no fato de já haver um estoque inicial e que esse supre algumas horas de produção, mas não o suficiente para assegurar a produção até o momento da estabilização do abastecimento de insumo. Assim, ocorreu uma interrupção de produção de aproximadamente 371 horas totais, e sua interrupção ao longo da simulação pode ser encontrado no **Gráfico 7**, mesmo com um estoque inicial de 50% do proposto no cenário 0.

**Gráfico 7:** Tempo de interrupção no cenário 3.



Fonte: O Autor.

#### 4.1.5 Cenário 4

No quarto cenário analisado, foi pensado na situação de haver 25% do estoque máximo bruto em estoque no pátio da mineradora. Conforme a **Tabela 17**:

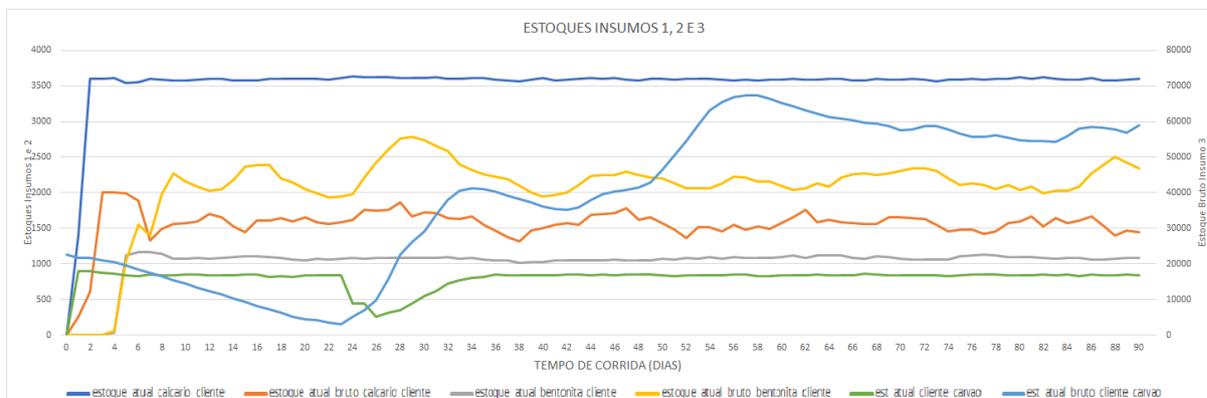
**Tabela 17:** Dados de entrada no modelo para o Cenário 4.

INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	22500	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	toneladas

Fonte: o autor.

Este cenário buscou uma margem em que pudesse haver produção com zero de interrupção até o momento de estabilização do período transitório. Como pode ser observado no gráfico **Gráfico 8**, o regime estacionário por completo só acontece na chegada do primeiro navio carregado de carvão.

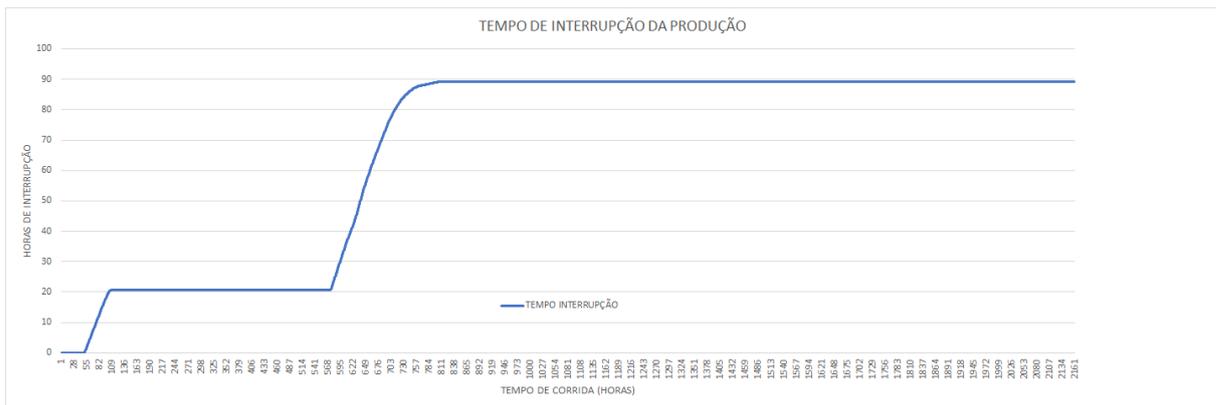
**Gráfico 8:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 3, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

Contudo, mesmo com o estoque inicial de Insumo 3 em estado bruto, 25% do volume total de carvão não foi suficiente para o ponto de regime estacionário fosse conseguido antes ou que não houvesse interrupção da produção. No **Gráfico 9** nota-se um perturbação na produção, principalmente no ponto em que o insumo bruto se esgota e começa a cair o nível do insumo moído até o ponto de interrupção aguardando a chegada do navio carregado.

**Gráfico 9:** Tempo de interrupção no cenário 4.



Fonte: O Autor.

#### 4.1.6 Cenário 5

Para um quinto cenário de simulação, a proposta foi de simular contando com um abastecimento colaborativo entre Samarco e Vale, pois sendo a Vale uma das acionistas da Samarco e também beneficiadora de minério de ferro, esta possui como suprimento de sua produção o próprio carvão mineral e demais insumos que o grupo Insumo 3 engloba. Esta proposta se baseou que a Vale, possui interesse no retorno da Samarco, e que pode suprir as necessidades iniciais de produção da Samarco até o momento da chegada do primeiro carregamento de carvão mineral. A distância de percurso entre Samarco e Vale é de aproximadamente 82 km, sendo ainda menor que a distância do Insumo 1, o de menor *lead time*. Para o Cenário 5, considerou ainda 3 propostas, sendo elas:

1. Disponibilizados como recurso de transporte, 3 caminhões basculantes com capacidade de 30t, com intervalo de chegada de distribuição exponencial de 2 horas;

2. Disponibilizados como recurso de transporte, 6 caminhões basculantes com capacidade de 30t, com intervalo de chegada de distribuição exponencial de 1 horas;
3. Disponibilizados como recurso de transporte, 10 caminhões basculantes com capacidade de 30t, com intervalo de chegada de distribuição exponencial de 0,5 horas.

Os dados de entrada iniciais para os testes destes cenários são:

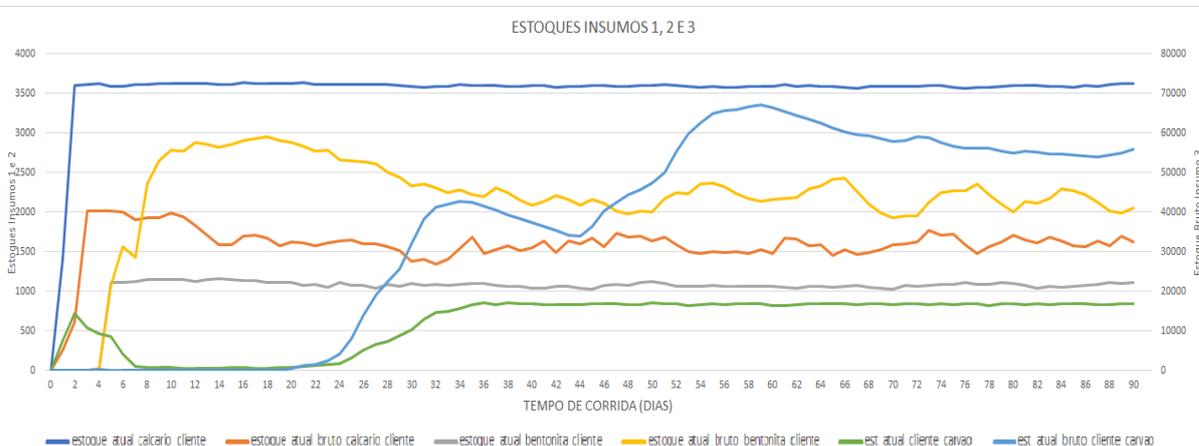
**Tabela 18:** Dados de entrada no modelo para o Cenário 5.

INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	8000	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	toneladas

Fonte: o autor.

#### 4.1.6.1 Cenário 5.1

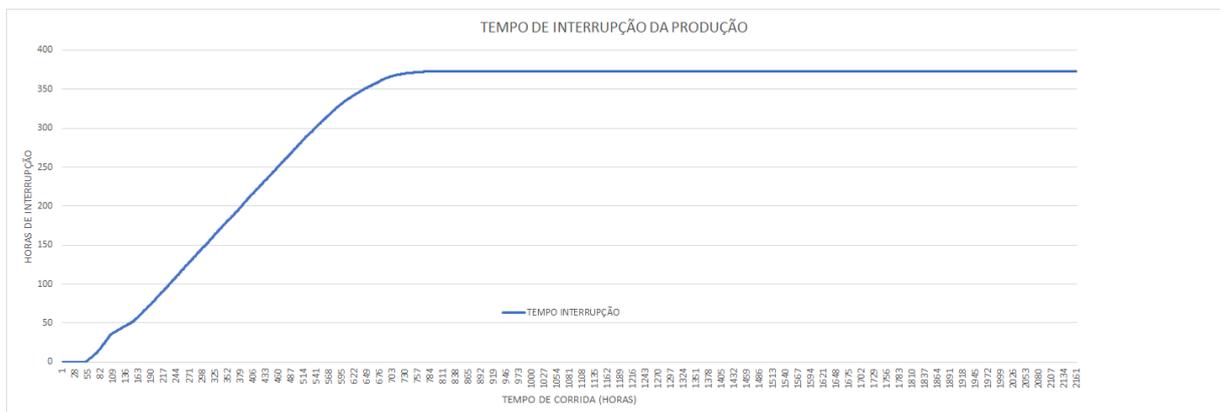
**Gráfico 10:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 5 com 3 caminhões em curso, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

Os dados de saída com o recurso de 3 caminhões são os encontrados no Gráfico 10. No **Gráfico 11** foi possível avaliar o tempo de interrupção para essa primeira proposta. Comparando os dados de saída com o a análise do cenário 1, nota-se que pouca foi a variação em se comparado ao cenário 1, o equilíbrio se daria apenas em torno, também do 32º dia contudo com um tempo de interrupção menor, em torno de 200 horas a menos. Para essa avaliação foram necessárias 322 viagens de caminhões no percurso VALE-SAMARCO. Pode ser considerada uma proposta viável, mas com um tempo de interrupção muito grande. O emprego de mais recursos caminhões poderá minimizar o tempo de interrupção.

**Gráfico 11:** Tempo de interrupção no cenário 5 com 3 caminhões em curso.

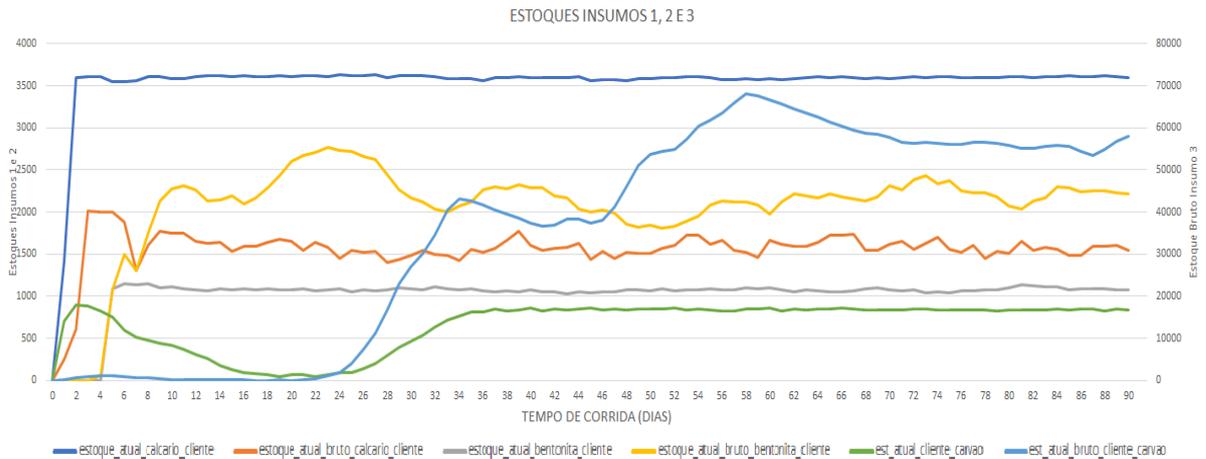


Fonte: O Autor.

#### 4.1.6.2 Cenário 5.2

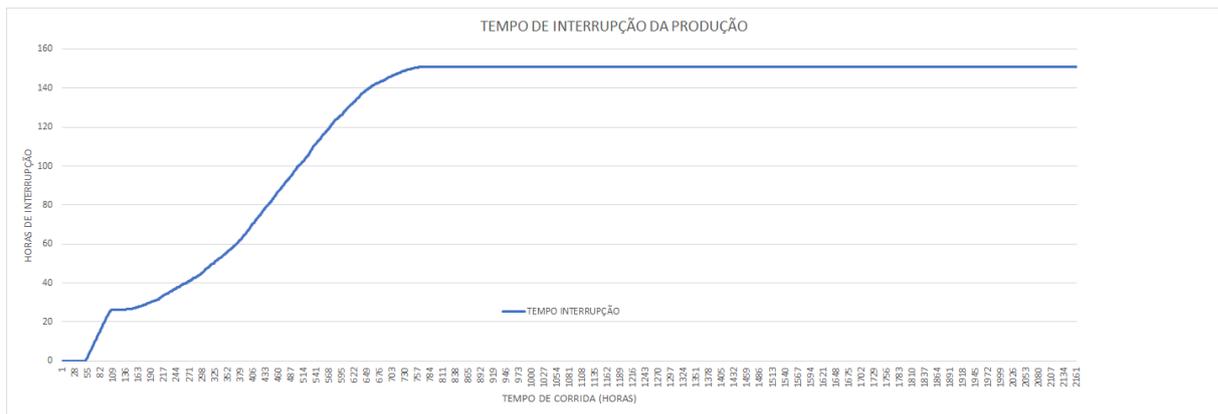
Nesta configuração, como pode ser observado no **Gráfico 12** e **Gráfico 13**, o equilíbrio se deu também em torno da hora 851, contudo, o tempo de interrupção foi quase 60% menor que o primeiro, e além de tudo, é importante frisar que parte desse tempo de interrupção se daria pelo Insumo 2, que seguraria a produção até em torno da hora 100. Foram necessárias 676 viagens nessa simulação.

**Gráfico 12:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 5 com 6 caminhões em curso.



Fonte: O Autor.

**Gráfico 13:** Tempo de interrupção no cenário 5 com 6 caminhões em curso.



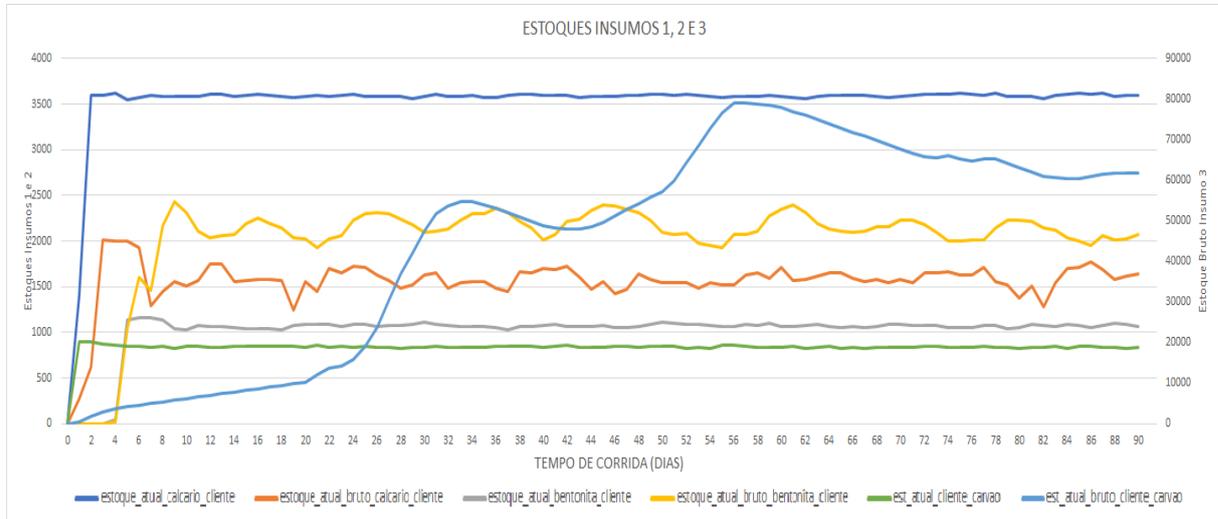
Fonte: O Autor.

#### 4.1.6.3 Cenário 5.3

Com um aumento do número de recursos de caminhões para o transporte de Insumo 3 entre VALE-SAMARCO, o recurso Insumo 3 se mostraria constante a partir da hora 26 em seu estado acabado para consumo. O regime estacionário de todos os insumos em sua forma pronta para uso se daria em torno da hora 130, e de todos os estoques brutos a partir do 32º dia, que é quando se dará a chegada do primeiro navio com carga que deixaria toda a mineradora com bons estoques e que não haveria risco de escassez. Essas análises foram baseadas no **Gráfico 14** e **Gráfico 15**. Neste cenário simulado foram necessárias 1267 viagens de caminhão.

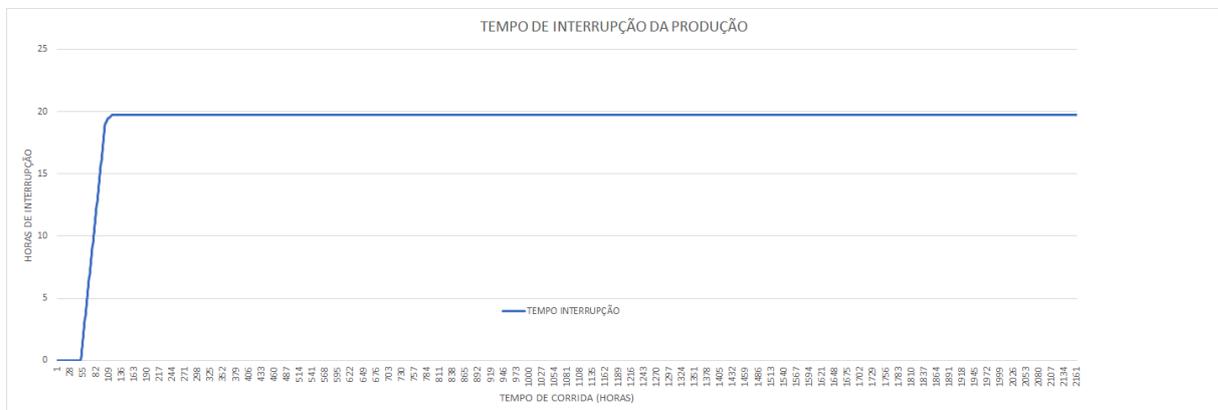
Nota-se que com a colaboração, o gargalo de produção da cadeia não seria mais o Insumo 3, mas o Insumo 2, porém o que mais influenciou no regime estacionário foi o Insumo 3.

**Gráfico 14:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 5 com 10 caminhões em curso, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

**Gráfico 15:** Tempo de interrupção no cenário 5 com 10 caminhões em curso.



Fonte: O Autor.

#### 4.1.7 Cenário 6

A proposta para esse cenário foi considerar a produção da mineradora não aos níveis das quais ela vinha produzindo em 2010, mas com uma capacidade produtiva menor, até a total retomada do sistema. Com isso, 3 sub-cenários derivados deste foram propostos.

1. 25% da capacidade produtiva;
2. 50% da capacidade produtiva;

3. 75% da capacidade produtiva.

Os dados de entrada para os 3 sub-cenários foram os mesmos, conforme na **Tabela 19**. Nessa hipótese, foi levado em consideração os estoques iniciais da Samarco zerados, conforme o cenário 1.

**Tabela 19:** Dados de entrada no modelo para os Cenários 6.1, 6.2 e 6.3.

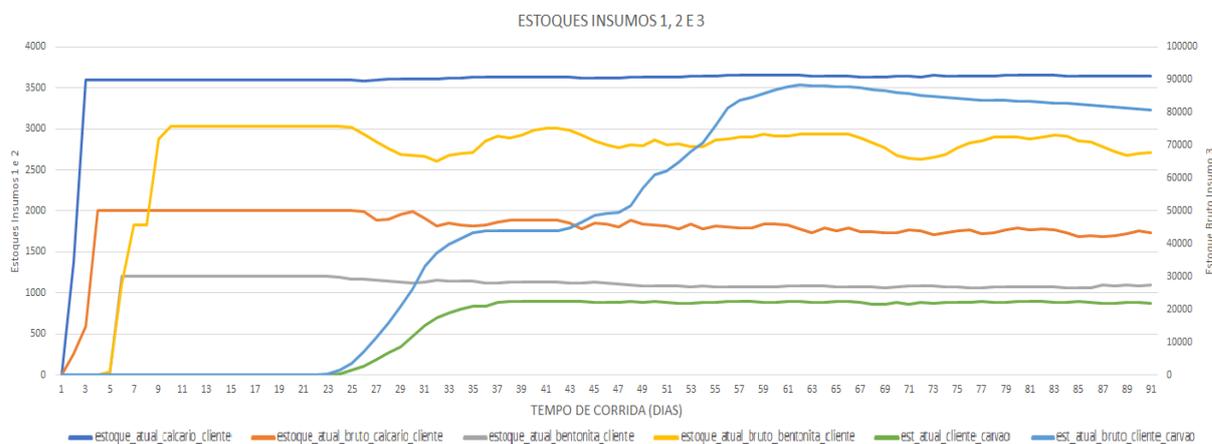
INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	8000	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	toneladas

Fonte: o autor.

4.1.7.1 Cenário 6.1

Conforme os dados do relatório de saída, o **Gráfico 16** e **Gráfico 17** foram gerados.

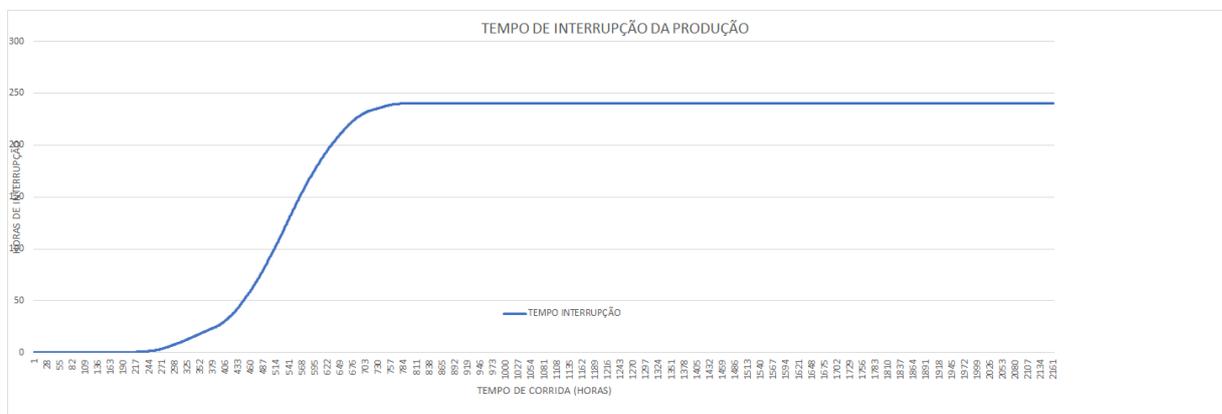
**Gráfico 16:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 6.1, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

Nessa situação é interessante notar que como os pedidos são referenciados pelo estoque alvo e a capacidade do navio é menor que o estoque alvo proposto para esse cenário, dois pedidos foram realizados quase que simultaneamente e então, em determinado momento, o nível do estoque de insumo bruto vai ser maior que o máximo. Isso se deve a produção não está em nível máximo e a utilização do insumo não ser suficiente para redução do nível de estoque para que se acomode o volume do segundo navio.

**Gráfico 17:** Tempo de interrupção no cenário 6.1



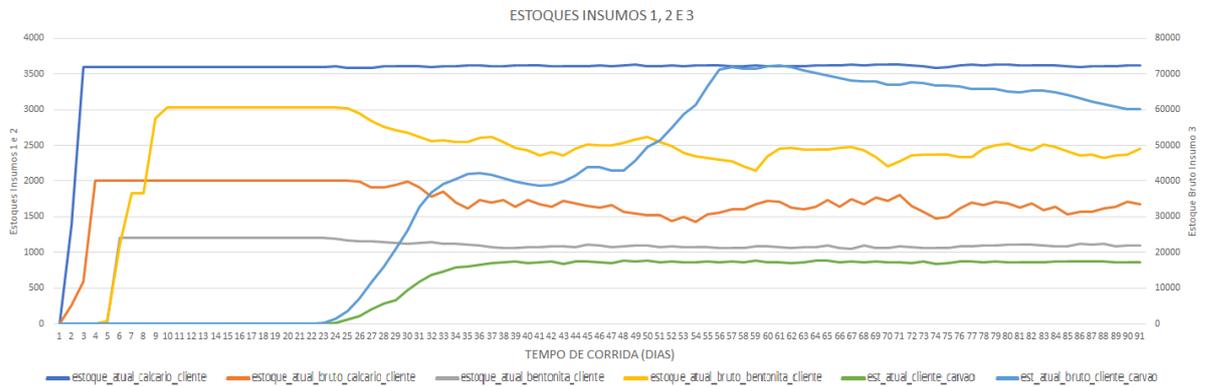
Fonte: O Autor.

Mesmo assim, foi registrado que o tempo total de interrupções foi de 241 horas e a estabilização do estoque se deu na hora 851.

#### 4.1.7.2 Cenário 6.2

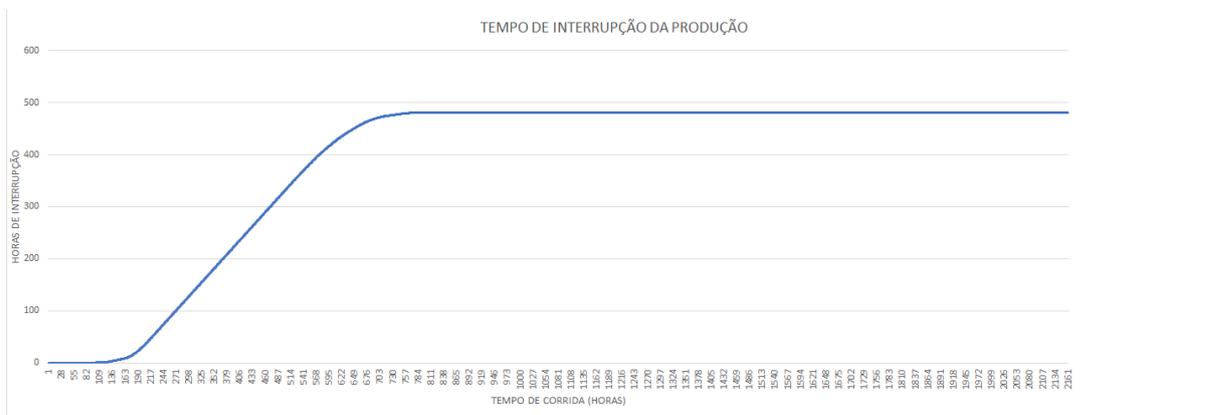
Analisando os gráfico **Gráfico 18**, para a proposta de funcionamento de apenas 50% da capacidade produtiva da fábrica, o comportamento de estabilização de estoques é praticamente idêntica ao do cenário anterior, o volume do estoque bruto do Insumo 3 não extrapola o volume do estoque máximo, confirmando a explicação apresentada no item 4.1.7.1. Por haver maior consumo de insumo sem estoque suficiente, comparado a 25% nível de produção, o tempo de interrupção será maior, conforme **Gráfico 19**.

**Gráfico 18:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 6.2.



Fonte: O Autor.

**Gráfico 19:** Tempo de interrupção no cenário 6.2.



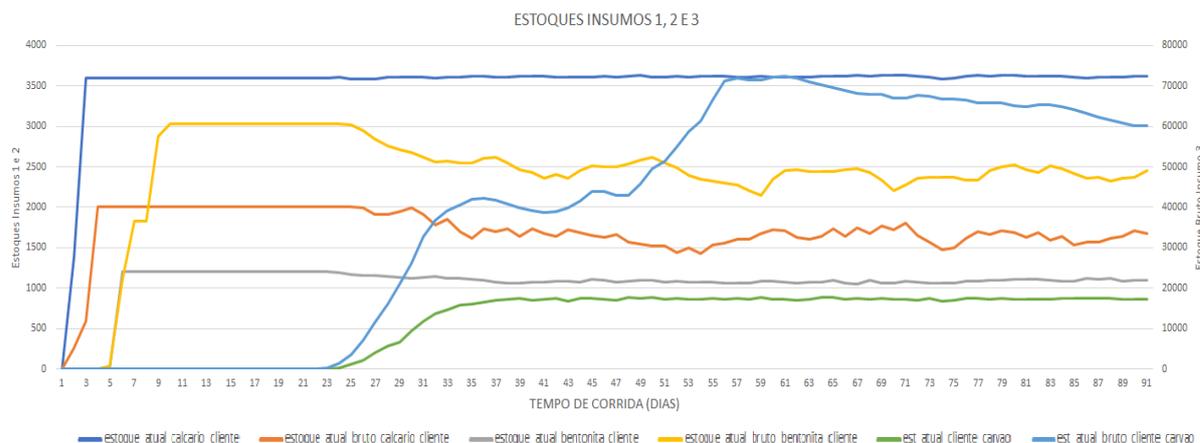
Fonte: O Autor.

Neste cenário, a estabilização por completo também ocorre em torno da hora 851 e seu tempo de interrupção chega a 482 horas.

#### 4.1.7.3 Cenário 6.3

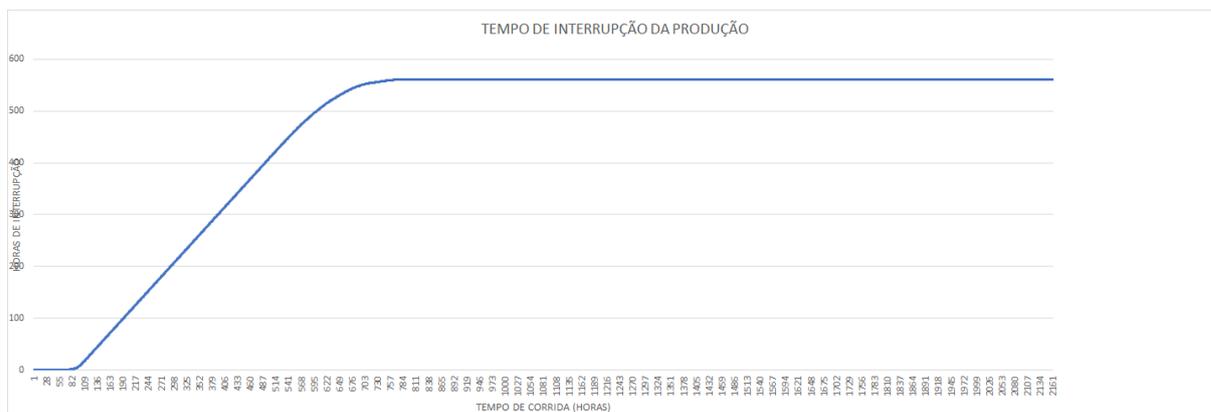
As exportações de dados gerados pelo software geraram o **Gráfico 20** e **Gráfico 21**. O comportamento dos gráficos e consumo é praticamente idêntico ao cenário 1, onde a fábrica volta a 100%. A diferença se dá na diminuição do tempo de interrupção que chega a 562 horas, redução de aproximadamente 15,4% do tempo interrompido do cenário 1.

**Gráfico 20: Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 6.3.**



Fonte: O Autor.

**Gráfico 21: Tempo de interrupção no cenário 6.3.**



Fonte: O Autor.

#### 4.1.8 Cenário 7

Para esse cenário, após a análise de todos os resultados dos experimentos anteriores, foi proposta uma nova condição da forma colaborativa de suprimentos entre SAMARCO e VALE, essa suprindo com os Insumos 3 e aquela com redução de sua produção. Nessa proposta, por precaução, para não ocorrer os problemas de elevação do estoque do Insumo 3 acima do nível do estoque máximo, como apresentado no item 4.1.7.1, foi proposto também a redução do valor do estoque alvo, alterando de 60000t para 45000t. O novo valor proposto se baseou na capacidade do navio de transporte do Insumo 3. Essa proposta foi fundamentada na redução de produção, com isso o estoque alvo foi reduzido.

Para esse cenário foram propostos 4 subcenários:

1. 25% de produção com abastecimento colaborativo de 6 recursos caminhões;
2. 25% de produção com abastecimento colaborativo de 10 recursos caminhões;
3. 50% de produção com abastecimento colaborativo de 6 recursos caminhões;
4. 50% de produção com abastecimento colaborativo de 3 recursos caminhões;

Com isso, os parâmetros de entrada para esses 4 Sub-cenários são apresentados na **Tabela 20**.

**Tabela 20:** Dados de entrada no modelo para os Cenários 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4

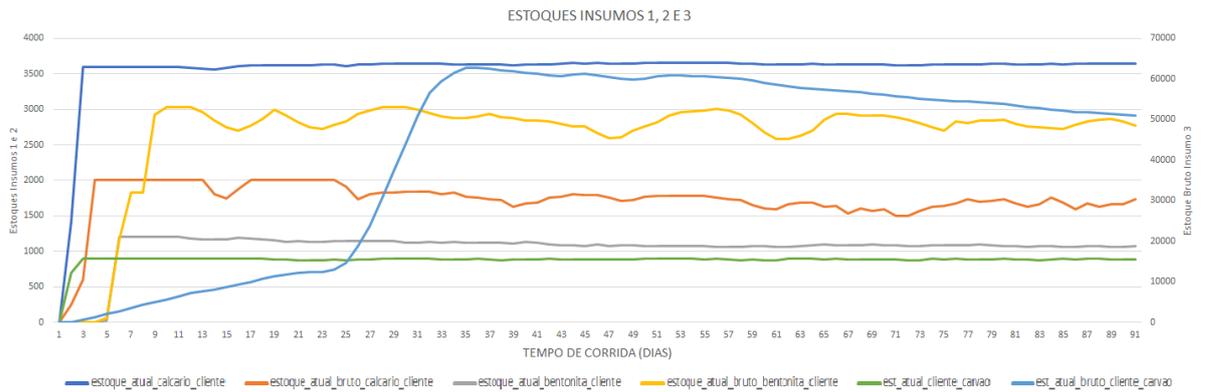
INSUMO CÁLCARIO		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Calcário	4000	toneladas
Estoque Atual Calcário	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Calcário	0	toneladas
INSUMO BENTONITA		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual no Fornecedor de Bentonita	3000	toneladas
Estoque Atual Bentonita	0	toneladas
Estoque Atual Bruto Bentonita	0	toneladas
INSUMO CARVÃO MINERAL		
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE INICIAL	UNIDADE
Estoque Atual Fornecedor de Carvão	8000	toneladas
Estoque Atual Porto de Carvão	20000	toneladas
Estoque Atual Bruto Cliente Carvão	0	toneladas
Estoque Atual Cliente Carvão	0	toneladas
Estoque Alvo Bruto Cliente Carvão	45000	toneladas

Fonte: o autor.

#### 4.1.8.1 Cenário 7.1

Esse cenário apresenta uma configuração bastante peculiar para o Insumo 3. Conforme pode ser observado no **Gráfico 22**, a evolução do estoque do insumo bruto se apresenta de forma razoavelmente constante até o momento da chegada do 1º navio, mas desde o momento inicial, há suprimentos suficientes para se tenha Insumo 3 de forma constante.

**Gráfico 22:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 7.1 com 6 caminhões em curso.



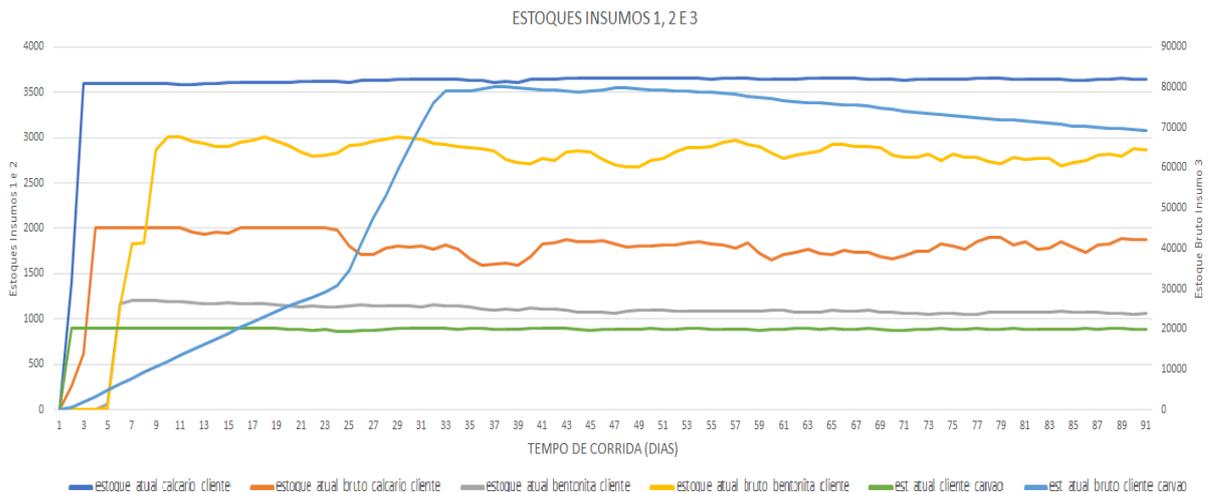
Fonte: O Autor.

Nota-se que para os produtos acabados para uso, o regime estocástico é atingido de forma consistente desde a hora 120, agora por consequência do abastecimento do Insumo 2. E isso é reforçado pelo tempo de interrupção que é zerado durante toda a corrida. Como condição desses regimes, são necessárias 658 viagens de abastecimento à Samarco.

#### 4.1.8.2 Cenário 7.2

Os **Gráfico 23** representa o cenário 7.2.

**Gráfico 23:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 7.2 com 10 caminhões em curso.



Fonte: O Autor.

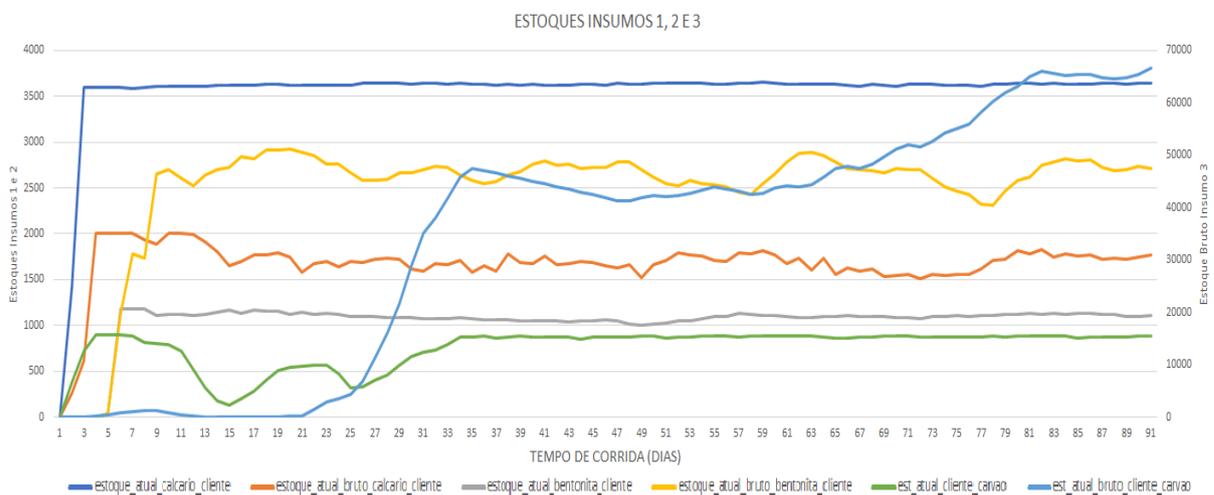
Sendo esse cenário uma proposta de melhoria do cenário 7.1, os dados apresentados pela simulação trás o mesmo comportamento do **Gráfico 22**, porém o coeficiente da

reta do gráfico de Insumo 3 tem maior valor, devido ao fato que ao invés de 6 caminhões abastecendo a usina, agora são 10. Por esse cenário ser uma melhoria do cenário anterior, por consequência, o tempo de interrupção também é zero durante todas as corridas de simulação. O número de viagens de abastecimento realizadas foi de 1270.

#### 4.1.8.3 Cenário 7.3

O **Gráfico 24** apresenta o comportamento da situação de funcionamento de 50% da capacidade da usina e com 3 caminhões abastecendo o estoque de Insumo 3.

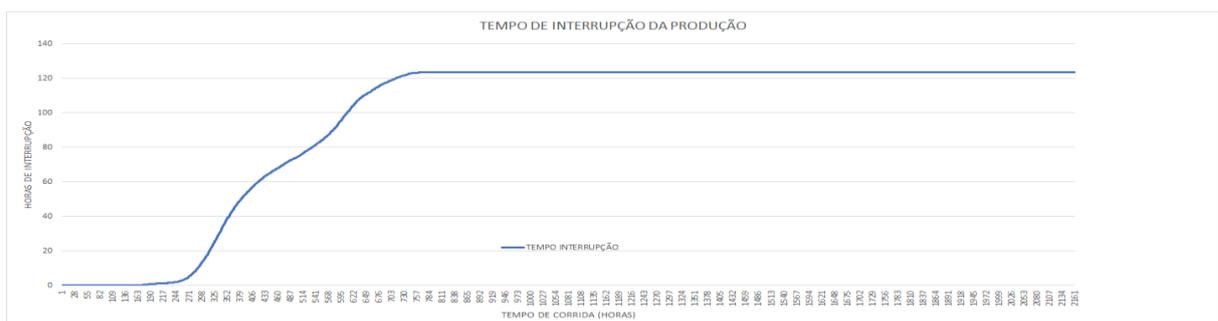
**Gráfico 24:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 7.3 com 3 caminhões em curso.



Fonte: O Autor.

Nota-se que devido a insuficiência e não constância de estoque bruto devido ao funcionamento mais contundente das unidades de pelletização, o abastecimento com apenas 3 recursos é insuficiente, acarretando um tempo de interrupção de 124 horas, conforme **Gráfico 25**.

**Gráfico 25:** Tempo de interrupção no cenário 7.3 com 3 caminhões em curso.



Fonte: O Autor.

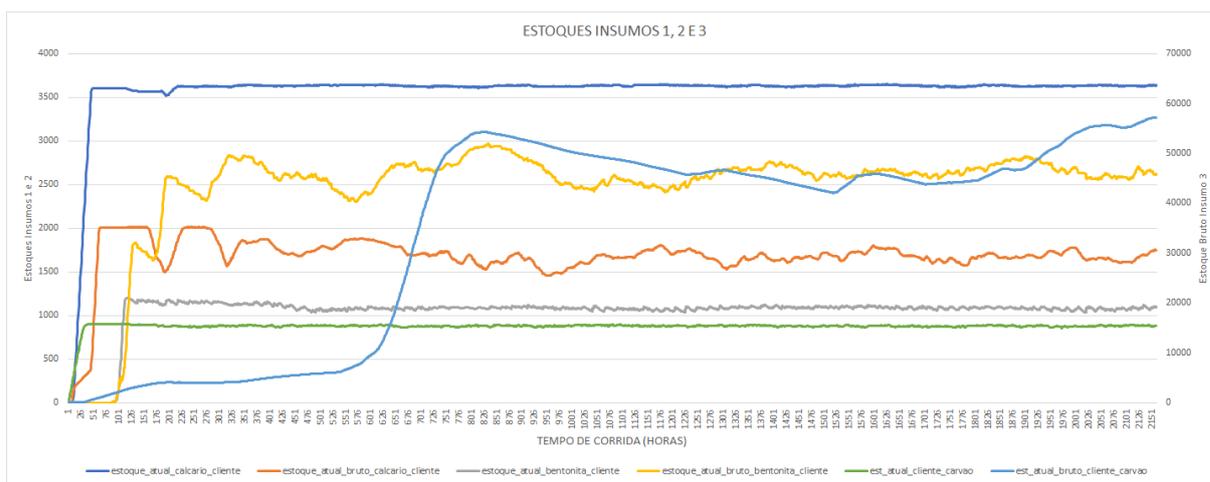
Foram necessárias 323 viagens para esse abastecimento simulado.

Frisa-se que nessa hipótese de cenário, o regime estacionário de todos os insumos ocorre na hora 801, diferentemente da hora 851 da maioria dos cenários simulados.

#### 4.1.8.4 Cenário 7.4

Observa-se no **Gráfico 26** que a partir do momento de início da produção, o volume de Insumo 3 que abastece o estoque da Samarco é praticamente o consumido, com isso o estoque residual é praticamente o volume que foi abastecido até o momento de início da produção, e permanece assim até o momento da chegada do 1º navio.

**Gráfico 26:** Estoques dos Insumos 1, 2 e 3 no cenário 7.4 com 6 caminhões em curso, eixo em horas.



Fonte: O Autor.

O cenário 7.4 apresenta um comportamento bastante peculiar. O regime estacionário dos insumos acabados ocorre na hora 120, com um também semi estado de equilíbrio dos insumos acabados, a condição se deve ao estoque de Insumo 3 estar bem abaixo do estoque de segurança requerido. O regime estacionário completo e respeitando todas as condições se dará na hora 851. Este cenário gerou 0 horas de interrupções com o fornecimento de 665 viagens do recurso caminhão.

## 4.2 COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS

**Tabela 21:** Compilação dos dados dos experimentos.

RESULTADOS COMPILADOS			
EXPERIMENTO	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	TEMPO ATÉ REGIME ESTACIONÁRIO (horas)	TEMPO DE INTERRUPTÃO (horas)
Cenário 1	Todos os estoques zerados	851	676
Cenário 2	Estoque completo para carregamento de navio do Insumo 3 no porto do fornecedor	676	502
Cenário 3	50% do estoque do Insumo 3 do cenário "As Is"	851	372
Cenário 4	Suposição de haver 25% do estoque máximo do Insumo 3 na mineradora	826	89
Cenário 5.1	Fornecimento de Insumo 3 pela VALE com 3 recursos caminhões	851	372
Cenário 5.2	Fornecimento de Insumo 3 pela VALE com 6 recursos caminhões	851	153
Cenário 5.3	Fornecimento de Insumo 3 pela VALE com 10 recursos caminhões	851	19
Cenário 6.1	Funcionamento de 25% da capacidade total da produção	851	241
Cenário 6.2	Funcionamento de 50% da capacidade total da produção	851	482
Cenário 6.3	Funcionamento de 75% da capacidade total da produção	851	562
Cenário 7.1	Funcionamento de 25% da capacidade total da produção, com fornecimento do Insumo 3 pela Vale com 6 caminhões de recurso	851	0
Cenário 7.2	Funcionamento de 25% da capacidade total da produção, com fornecimento do Insumo 3 pela Vale com 10 caminhões de recurso	851	0
Cenário 7.3	Funcionamento de 50% da capacidade total da produção, com fornecimento do Insumo 3 pela Vale com 3 caminhões de recurso	801	124
Cenário 7.4	Funcionamento de 50% da capacidade total da produção, com fornecimento do Insumo 3 pela Vale com 6 caminhões de recurso	851	0

Fonte: o Autor.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Sobre toda a revisão literária sobre acidentes produtivos o que mais se mostrou relevante foi a importância da economia que a empresa representa para a região em que ela se encontrava, além disso o esforço necessário para reativação das indústrias em alguns casos são totalmente válidos. No caso da empresa estudada, essa possuía uma grande influência em toda economia da região em que atuava, além de processos bem definidos.

Além disso a gestão estruturada da cadeia de suprimentos é um diferencial, pois atribui melhoria na qualidade, na redução de custos e no tempo de processamento tornando essas organizações mais lucrativas. O gerenciamento dessa cadeia no retorno pós acidentes é fundamental para as futuras atividades da empresa, devendo ser pensado de forma estratégica, gerencial e operacional para levar a empresa aos patamares em que se encontrava antes dos ocorridos. E o que torna uma empresa bem-sucedida é a forma como ela planeja e colocam as suas estratégias em prática.

A Simulação de Eventos Discretos é, sem sombra de dúvidas, uma poderosa ferramenta na obtenção de dados para tomada de decisões. A utilização dessa ferramenta só foi possível a partir de uma análise fundamentada do cenário físico real, unida ao bom raciocínio de modelagem e levando-o ao cenário virtual. Um analista de simulação deve ter na sua essência, grande capacidade de senso analítico, raciocínio lógico e matemático, persistência e boa capacidade de compreensão de resultados.

A partir dos objetivos esperados com essa pesquisa foi possível compreender sobre o *warm-up period*. Nesta presente dissertação foi possível observar como o este período, que praticamente não é apresentado nos trabalhos, se comporta e como pode ser utilizado em uma análise estratégica.

Para esta pesquisa, foram realizados 14 cenários de simulação, sendo o cenário As Is para validação do modelo e os demais como ideias para avaliar uma possível forma de retorno produtivo empregando o mínimo de recursos e tempo de interrupção produtiva. O foco principal foi analisar os níveis de estoque no *warm-up period* e buscar o regime estacionário da empresa zerando o tempo ocioso de seus recursos operacionais, ou seja, como ela se encontrava antes da parada

A partir disso, com os cenários simulados e interpretados, mostraram que em sua maioria o tempo necessário para atingir o equilíbrio levaria mais de 30 dias e com isso,

a primeira produção no retorno da empresa levaria um tempo considerável, o que pode ser inviável. Os cenários propostos se mostraram eficientes, desde que haja fornecimento colaborativo. A cooperação através da cadeia de abastecimento também foi vista como uma eficiente forma de reduzir custos e ganhar competitividade.

O atual mercado de suprimentos, uma cadeia colaborativa é de extrema importância. Quando um colaborador além de tudo é um interessado no perfeito funcionamento da cadeia a sua atuação se ajusta de forma perfeita para a situação. Assim melhorias efetivas e mudanças estratégicas estão condicionados à ampliação e reestruturação dos arranjos colaborativos dos fornecedores. Se as partes não têm experiência anterior em trabalhar juntas, não conhecem suas capacidades e performances e, sob condições de incerteza, existe o risco da incompatibilidade e do dano moral, como uma interessada é acionista da outra, assim esses riscos são minimizados.

O melhor cenário proposto para essa dissertação seria com o funcionamento de 50% da capacidade produtiva da planta industrial, aliado a um fornecimento colaborativo pela VALE S.A. para abastecimento do Insumo 3, com 6 caminhões basculantes transportando o volume desses insumos. A proposta de redução do volume inicial de produção também se dá pela necessidade de adaptação inicial da indústria. O modelo se mostrou bastante promissor e pode ser utilizado como forma de planejamento operacional futuro podendo ser utilizado para tomadas de decisões futuras.

Para trabalhos futuros, ou até mesmo para o emprego real da empresa estudada, um modelo de otimização aliada a essa simulação poderia fornecer uma quantidade ótima de recursos de abastecimento (caminhão) e até mesmo qual seria a percentagem ideal de funcionamento da empresa. Um segundo cenário de avaliação plausível a ser estudado seria o transporte de Insumo 3 em abastecimento colaborativo por meio de barcaças, essa que possuem maior volume de transporte.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, R. "Saúde e segurança do trabalho em plataformas do setor offshore: o caso do acidente do FPSO Cidade de São Mateus." *Escola de Engenharia. Universidade Federal Fluminense*. Niterói, 2015.
- Agência Nacional de Águas do Brasil. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Brasília: ANA - Agência Nacional de Águas, 2006.
- Altay, Nezh, e Andres Ramirez. "Impact of disasters on firms in different sectors: Implacations for Supply Chains." *Journal of Supply Chain Management*, 2010.
- ALTIOK, Tayfur, e Benjamin. S MELAMED. *imulation modeling and analysis with Arena*. . Elsevier, 2010.
- Banks, Jerry, Steve Buckley, Sanjay Jain, e Peter Lendermann. "PANEL SESSION: OPPORTUNITIES FOR SIMULATION IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT." *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 2002: 1652-1658.
- Bapat, Vivek, e David T. Sturrock. "THE ARENA PRODUCT FAMILY: ENTERPRISE MODELING SOLUTIONS." *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2003: 210-217.
- Bordeaux-Rego, Ricardo. *Viabilidade econômico financeira de projetos*. FGV, 2015.
- Bowersox, Donald J., David J. Closs, e M. Bixby Cooper. *Gestão da Cadeia de suprimentos e logística*. . Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BROWN, Anthony EP. "Risk analysis: An investment in engineering. ." *Process Safety Progress*, 1999: v. 18, n. 2, p. 121-125.
- Castanheir, Fabio, Luiz Carlos Di Serio, Gilnei Luiz de Moura, e Guilherme Silveira Martins. "Verticalização e competitividade na cadeia de suprimentos do setor de aparelhos celulares no Brasil: um estudo comparativo entre Motorola e Gradiente." *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)*, 2010: 16-31.
- CEPEMAR. "RIMA – RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL TERCEIRA PELOTIZAÇÃO DA SAMARCO EM PONTA UBU." Vitória-ES, 2004.
- Choi, Thomas Y., e Zhaohui Wu. "Triads in Supply Networks: Theorizing Buyer-supplier-supplier relationships." *Journal of Supply Chain Management*, 2008.

- Chwif, Leonardo, e Celso Afonso Medina. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*, 3ª ed. São Paulo: Editora do Autor., 2010.
- Coelho, Cristiano Farias. *Análise de fluxo de material no processo de preparação do minério de ferro*. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção., 2013.
- Consoli, Marcelo Henrique, e Matheus Alberto Consoli. "Impactos Financeiros da Integração Vertical: Um estudo na indústria Canavieira." *XLIV CONGRESSO DA SOBER*, 2006.
- Crawford, J.W., e T.J. Gallwey. "Bias and variance reduction in computer simulation studies." *European Journal of Operational Research*, 2000: 571-590.
- Depuy, Jean-Pierre. "The catastrophe of Chernobyl twenty years later." *Estudos AvAnçAdos*, 2007: v. 21, n. 59, p. 243-252.
- DER-ES. "Plano Estratégico de Logística e de Transportes do Espírito Santo - Programa Rodoviário do Espírito Santo II." 2009.
- EGGINTON, Bill. "The project start up process-getting it to work better." *Engineering management journal*, 1996: v. 6, n. 2, p. 88-92.
- Erhart, Sabrina, e Eduardo Mauch Palmeira. "Análise do setor de transportes." *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 2006: v. 1, p. 71.
- Esper, T., B. Fugate, e B. Davis. "Logistics learning capability: sustaining the competitive advantage gained through logistics leverage." *Journal of Business Logistics*, 2007: Vol. 28 No. 2, pp. 57-82.
- Gajšek, Brigita, Jure Kovač, e Benjamin T. Hazen. "An Organizational Framework for Logistic Platform and its Subtypes in a Search for More Logistically Attractive Regions." *De Gruyter Open*, 2017.
- Garcia, Solange, Paulo Roberto Barbosa Lustosa, e Nara Rosa Barros. "DOCEAPPLYING MONTE CARLO SIMULATION IN PREDICTING COSTS OF MANUFACTURING COMPANIES: THE CASE OF COMPANHIA VALE DO RIO DOCE." *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 2010.

- Gomes, Paulo. "A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação." *Cadernos Bad*, 2004: n. 2.
- Grassmann, Winfried K. "Factors affecting warm-up periods in discrete event simulation." *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 2014: Vol. 90(1) 11–23.
- GRASSMANN, WINFRIED K. "WARM-UP PERIODS IN SIMULATION CAN BE DETRIMENTAL." *Engineering and Informational Sciences*, 2008: pp 415-429.
- Grassmann, Winfried K. "When, and When Not to Use Warm-up Periods in Discrete Event Simulation." *2nd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, 2010.
- HOAD, K., S ROBINSON, e R., DAVIES. "Automating warm-up length estimation." *Journal of the Operational Research Society*, 2010: pp. 1389 - 1403.
- Hoad, Kathryn, e Stewart Robinson. "IMPLEMENTING MSER-5 IN COMMERCIAL SIMULATION SOFTWARE AND ITS WIDER IMPLICATIONS." *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, 2011.
- KAMIYA, Akimoto, Shigenobu KOBAYASHI, e K. KAWAI. "Reward strategies for adaptive start-up scheduling of power plant. ." *In: 1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Computational Cybernetics and Simulation. IEEE*, 1997: p. 3417-3424.
- Kim, Kue Bum, Hyun-Han Kwon, e Dawei Han. "Exploration of warm-up period in conceptual hydrological modelling." *Journal of Hydrology*, 2018: 194-210.
- LACAZ, Francisco Antonio de Castro et al. "Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco." 2017.
- Law, Averill M. "STATISTICAL ANALYSIS OF SIMULATION OUTPUT DATA: THE PRACTICAL STATE OF THE ART." *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 2015.
- LAW, Averill M., e W. David KELTON. *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEFEBVRE, Henri. *O direito à cidade. Tradução de Rubens Eduardo Frias*. São Paulo: Editora Centaur, 2001.

- López-Alvarez, Maricarmen, Antonio Flores-Tlacuahuac, Luis Ricardez-Sandoval, e Carlos Rivera-Solorio. "Optimal Start-Up Policies for a Solar Thermal Power Plant." *Industrial & Engineering Chemical Research*, 2018: 57, 1026–1038.
- Mahajan, Prasad S., e Ricki G. Ingalls. "SIMULATION, EVALUATION OF METHODS USED TO DETECT WARM-UP PERIOD IN STEADY STATE." *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 2004.
- Martins, Ricardo S., Osmar V. Souza Filho, e Susana Carla Farias Pereira. "Alinhamento estratégico nas cadeias de suprimento da indústria automobilística brasileira. REAd-Revista Eletrônica de Administração, v. 18, n. 3, 2012." *REAd-Revista Eletrônica de Administração*, 2012: v. 18, n. 3.
- Medeiros, Cintia Rodrigues de Oliveira, Rafael Alcandipani Silveira, e Luciano Batista Oliveira. "Myths on Moral Disengagement: Rhetoric from Samarco in a Corporate Crime." *Revista de Administração Contemporânea*, 2018: v. 22, n. 1, p. 70-91.
- Miguel, Priscila Laczynski de Souza. *Gestão de risco de desastres naturais no Brasil*. São Paulo: FGV, 2014.
- Morgenstern, Norbert R., Steven G. Vick, Cássio B. Viotti, e Bryan D. Watts. "Relatório sobre as Causas Imediatas da Ruptura da Barragem de Fundão ." 2016.
- Mourão, José Murilo. *ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS À PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO*. Vitória, ES – Brasil: CONCEITUAL CONSULTORIA MÍNERO-SIDERÚRGICA , 2017.
- NASCIMENTO, Rodrigo Meirelles. "Análise da estabilidade de indicadores de desempenho em modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos utilizando aplicativo otimizador." *Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo*. Vitória, 2016.
- Nemtajela, N, e C Mbohwa. "Inventory Management Models and Their Effects on Uncertain Demand." *Proceedings of the 2016 IEEE IEEM*, 2016: 1046-1049.
- Oliveira Júnior, Roberto. "Desenvolvimento de um modelo de simulação para identificação de gargalos na cadeia de suprimentos de uma empresa de mineração." Vitória, ES: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –

- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.
- Peng, SHI, LIU Fei, e YANG Ming. “A modified statistical process control approach for warm-up selection in discrete-event simulation.” *Advanced Materials Research*, 2011: Vol 187, p 428-433.
- Pereira, Rafael Morais, Humberto Rodrigues Marques, Luciano Henrique Fialho Botelho, Sabrina Olimpio Caldas de Castro, e Antonio Figueiredo Vieira. “Administração de Produção e Operações: Evolução, Conceito e Interdisciplinaridade com as demais Áreas Funcionais.” *Simpósio de Excelencia em Gestão de Tecnologia*, 2015.
- Pereira, Rogerio Ferreira. “ANÁLISE DO DEEPWATER HORIZON BLOWOUT: APLICAÇÃO DOS MÉTODOS FRAM e STAMP.” 2016.
- Ponomarov, Serhiy Y., e Mary C. Holcomb. “Understanding the concept of supply chain resilience.” *The International Journal of Logistics Management*, 2009: Vol. 20 No. 1, pp. 124-143.
- POTT, Crisla Maciel, e Carina Costa ESTRELA. “Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento.” *Estudos Avançados*, 2017: v. 31, n. 89, p. 271-283.
- Rejowski, R, e JM Pinto. “Scheduling of a multiproduct pipeline system.” *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*, 2003: Volume: 27 Edição: 8-9 Páginas: 1229-1246.
- RIOS, Ricardo Matos de Araújo. “A repercussão internacional do acidente de mariana no the New York Times e na CNN.” *Repensando interesses e desafios para a inserção internacional do Brasil no Século XXI*, 2016.
- Saayma, Stedrick, e James Bekker. “Drawing conclusions from deterministic logistic simulation models.” *MCB UP Ltd*, 2013: 8.
- Šaderová, Janka, Daniela Marasová, e Jana Galliková. “Simulation as Logistic Support to Handling in the Warehouse: Case Study.” *TEM Journal*, 2018: 6.
- Samarco. *Portal DRE Samarco*. 11 de 2015. <http://www.samarco.com/wp-content/uploads/2015/11/DFs-2015-portuges-final-2804.pdf> (acesso em 09 de 05 de 2018).

- . *Produto - Samarco*. s.d. <https://www.samarco.com/produto/> (acesso em 26 de Outubro de 2018).
- . *Relatório Bienal 2015-2016 Samarco*. 2016. [https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2017/09/Samarco\\_Relatorio-Bienal-2015\\_16-08092017.pdf](https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2017/09/Samarco_Relatorio-Bienal-2015_16-08092017.pdf) (acesso em 05 de 2018).
- SAMARCO. *Sobre a Empresa Samarco*. 22 de 10 de 2019. <https://www.samarco.com/a-samarco/>.
- Samarco. “Um ano de Rompimento de Fundão.” 2017.
- Santos, Antônio Marcos dos, e Iana Araújo Rodrigues. “Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química.” *Gestão e Produção*, 2006: v.13, n.2, p.223-231,.
- Searcy, (Erin, Peter Flynn, Emad Ghafoori, e Amit Kumar. “The relative cost of biomass energy transport.” *APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY*, 2007: Volume: 137 Páginas: 639-652.
- Spekman, Robert E., John W. Kamauff Jr, e Niklas Myhr. “An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnerships.” *Supply Chain Management: An International Journal*, 1998: v. 3, n. 2, p. 53-67, .
- Tacconi, Marli de Fátima Ferraz da. “A confiança interorganizacional nas compras.” 2012.
- Taylor, David A. *Logística na cadeia de suprimentos: uma perspectiva gerencial*. Pearson, 2005.
- Towill, Denis R. “Industrial dynamics modelling of supply chains.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1996: Vol. 26 Issue: 2, pp.23-42.
- Vieira, Guilherme Ernani. “IDEAS FOR MODELING AND SIMULATION OF SUPPLY CHAINS WITH ARENA.” *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 2004.
- White JR, K. Preston, e Sung Nam Hwang. “DELAY TIMES IN AN MIMI1 QUEUE ESTIMATING THE SAMPLING DISTRIBUTIONS FOR THE STEADY-STATE

MEAN AND MSER TRUNCATION POINT.” *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 2015.

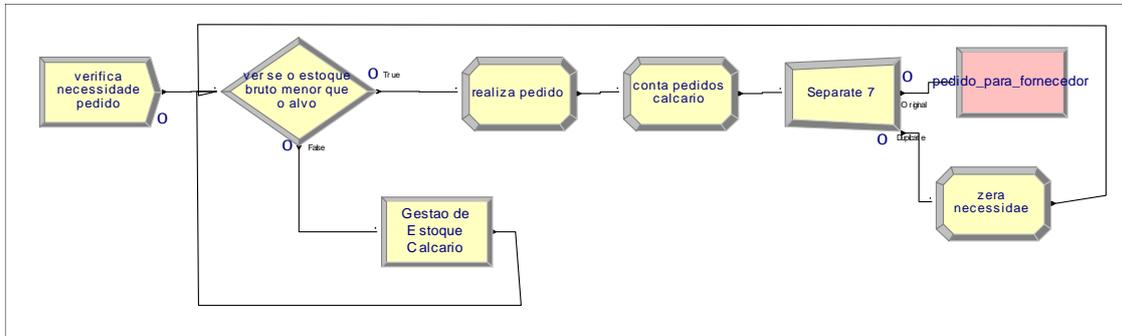
WU, Bilong, Zuoyi LIU, e Bin LIU. “The Model and Simulation of Utilization Optimization of Railway Passenger Waiting Compartment Based on Arena .” *2013 International Conference on Computational and Information Sciences*, 2013.

Yang, JianGang, e JinQiu Yang. “Intelligence Optimization Algorithms: A Survey.” *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2011: 144-152.

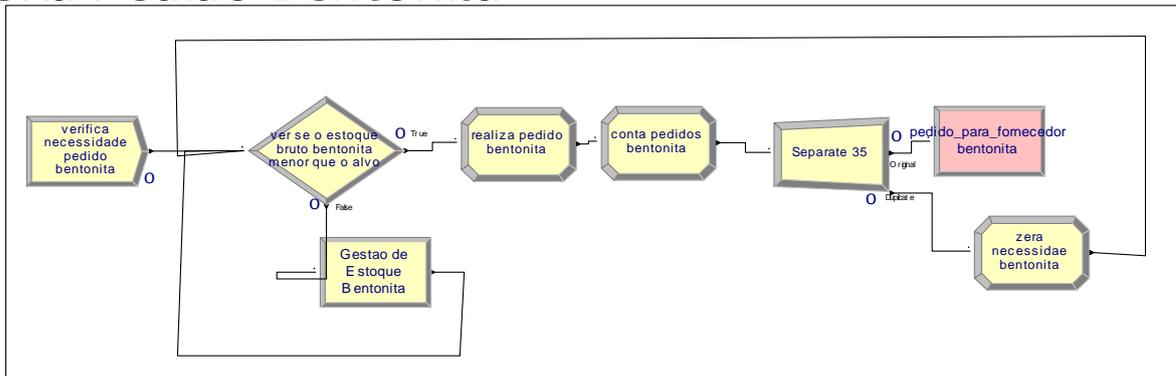
# APENDICE A

## 1 CRIAÇÃO DE PEDIDOS

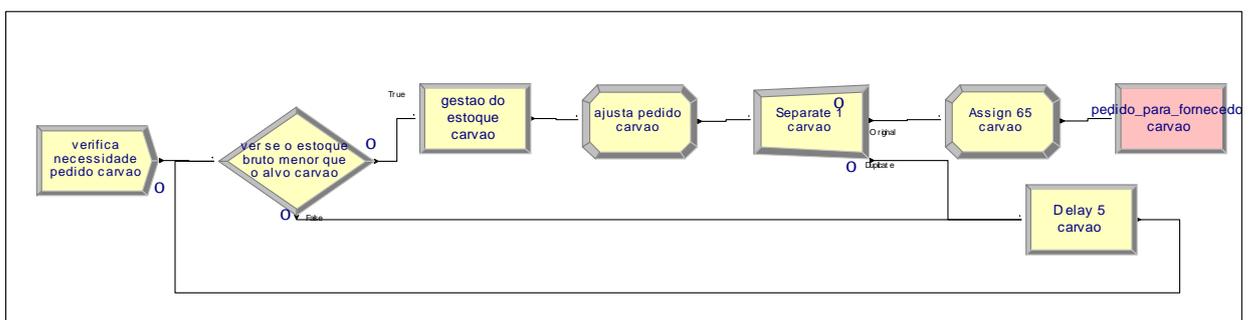
A simulação inicia na criação de pedidos.



### Cria Pedido Bentonita

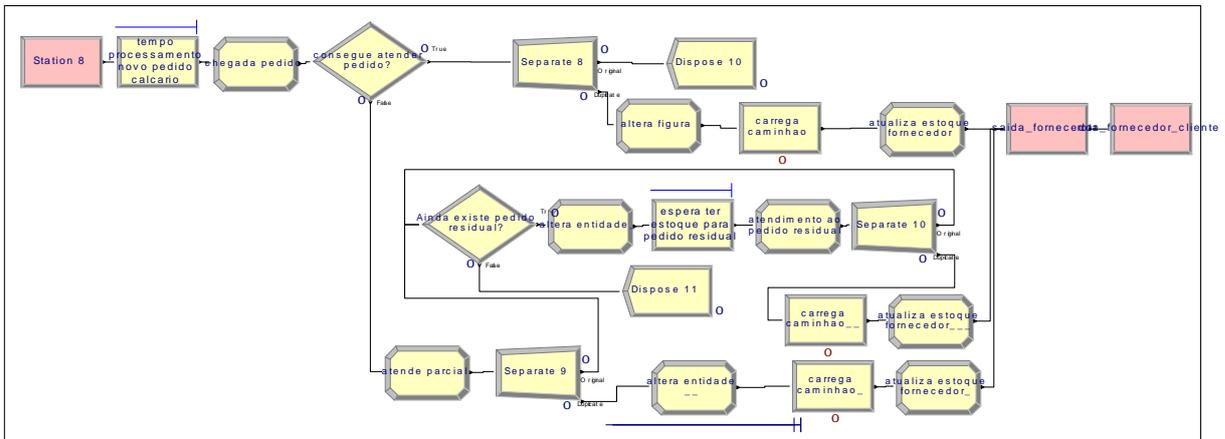


### Cria Pedido Carvão

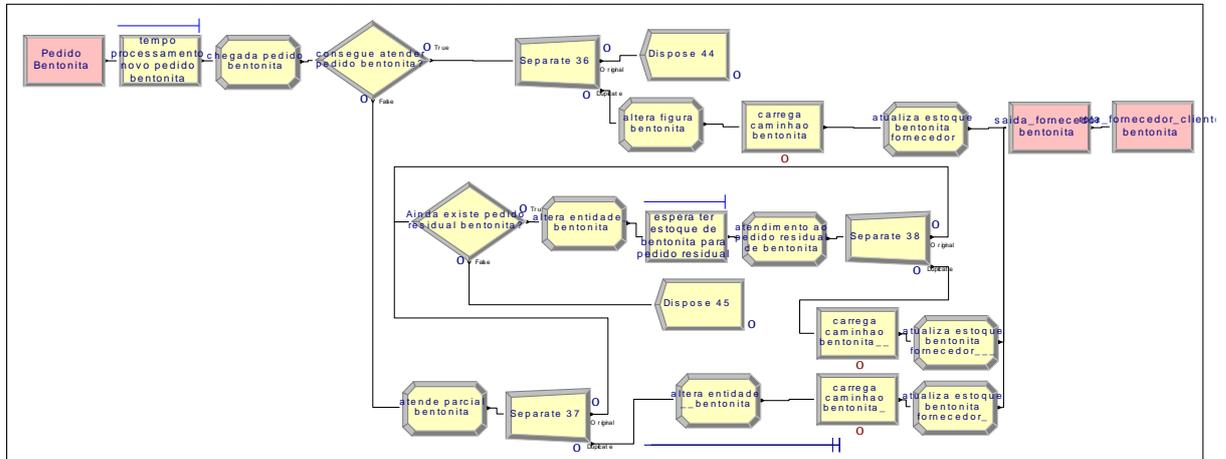


Nesta etapa da simulação, é realizada a verificação de estoques e então comparado se o nível de estoque dos insumos está menor que estoque alvo dos mesmos. Após verificada essa condição e aceita ela passa pela criação de pedidos com ajuste do volume a ser pedido, calculando-o baseado no estoque atual bruto e o estoque alvo bruto descontando o volume em transitio. Após a definição do pedido ele é levado ao fornecedor.

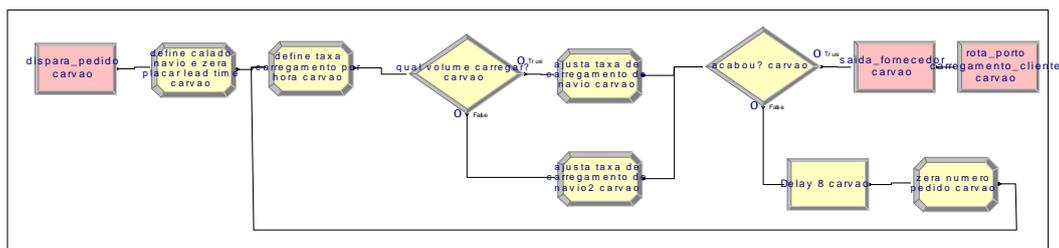
## 2 RECEBIMENTO DE PEDIDOS PELO FORNECEDOR



### Atendimento do Pedido Bentonita



### Atendimento do Pedido Carvão

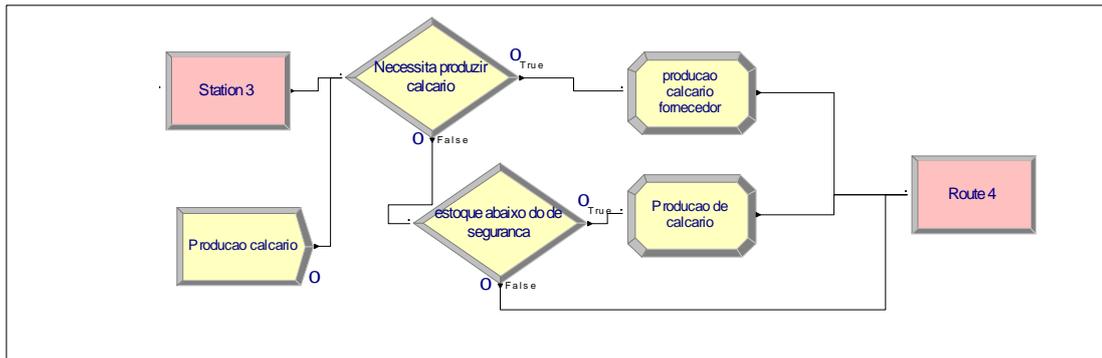


Ao receber o pedido, o fornecedor, segura efetua uma lista de pedidos até que um seja finalizado para começar a preparação do outro. A seguir é feita uma verificação se o volume disponível de insumo requerido pelo cliente é suficiente para atendê-lo, se sim, no caso dos Insumos 1 e 2 é realizado o carregamento dos caminhões e mandado para o cliente, se não for suficiente, o fornecedor realiza o envio do que possui e deixa pedidos residuais para serem despachados à medida que se tenha volume que carregue os caminhões. No caso do Insumo 3, como o envio é feito por meio marítimo, a verificação é realizada, caso não haja volume suficiente no porto de

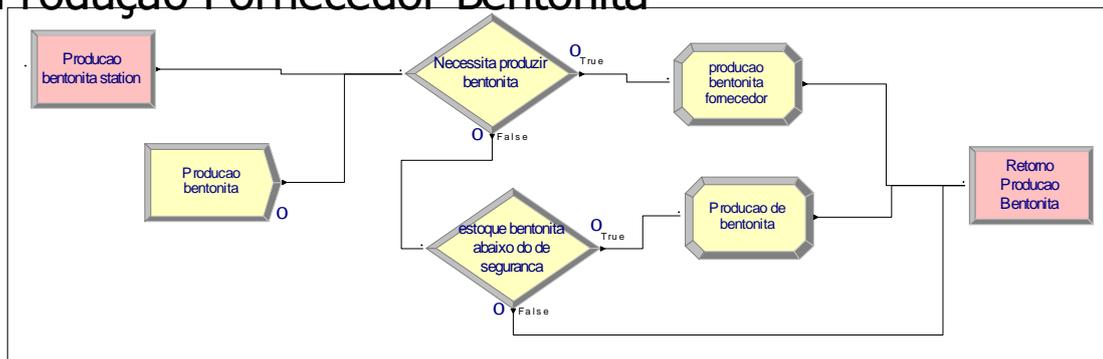
envio, o carregamento do navio é aguardado até o momento em que se tenha o volume disponível, que é o volume de carga do navio.

Ao mesmo tempo que esses atendimentos são realizados, no fornecedor deve ser realizada a produção/extração dos insumos.

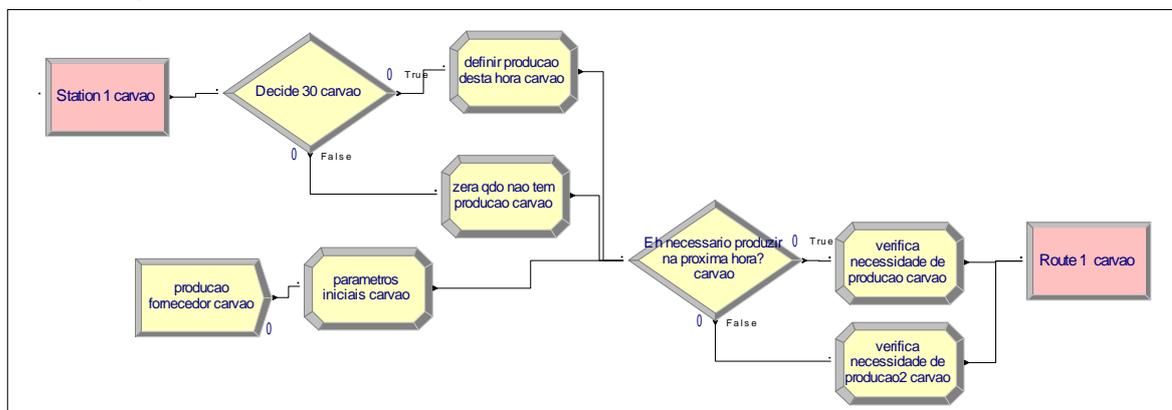
### 3 PRODUÇÃO NO FORNECEDOR



### Produção Fornecedor Bentonita



### Produção Fornecedor Carvão



Os insumos são extraídos nos produtores para posterior envio. A lógica do modelo se dá pela verificação do estoque do fornecedor está acima do alvo, se sim nada é feito e existe um atraso de redundância. Se o estoque do fornecedor esta abaixo do alvo

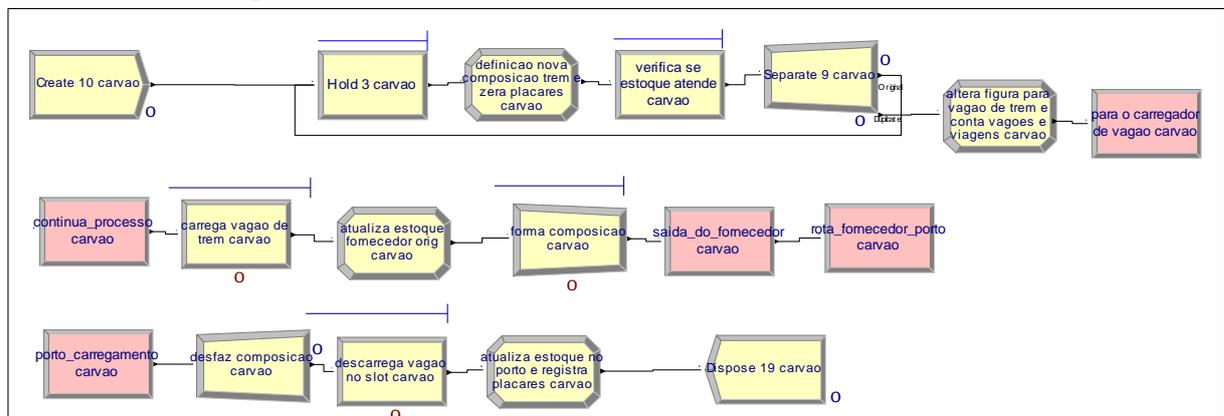
então é realizada a produção do insumo para abastecimento do estoque do fornecedor.

No caso do insumo 3 existe uma particularidade, pois após a extração, o insumo, necessita ser transportado até o porto de despacho. Esse envio é realizado via ferrovia. Então a verificação ocorre no estoque alvo da mina, após essa verificação ele realiza ou não a produção. Com isso, existe a movimentação da mina para o porto, no caso desse insumo.

#### 4 MOVIMENTAÇÃO MINA-PORTO

Nesse módulo do simulador é verificado a quantidade a ser transportada e definida a quantidade de vagões que serão necessários para a realização do envio e formada a composição ferroviária. Então é feito o carregamento desses vagões e o transporte é realizado para o porto. Onde ao chegar é desmontada a composição ferroviária e então é realizada a descarga dos vagões e atualizado o estoque de insumo no porto.

### Movimentação Mina - Porto

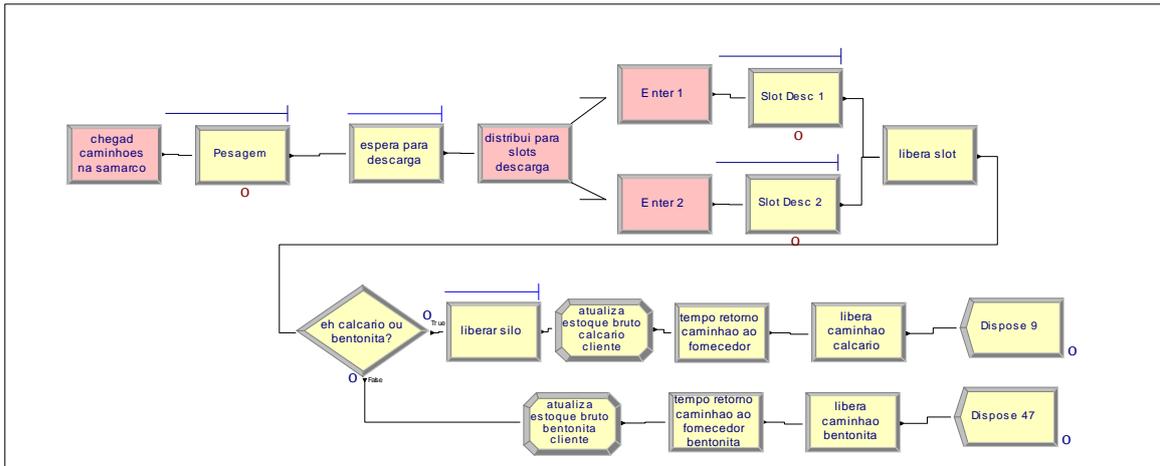


#### 5 RECEBIMENTO DO PEDIDO PELO CLIENTE

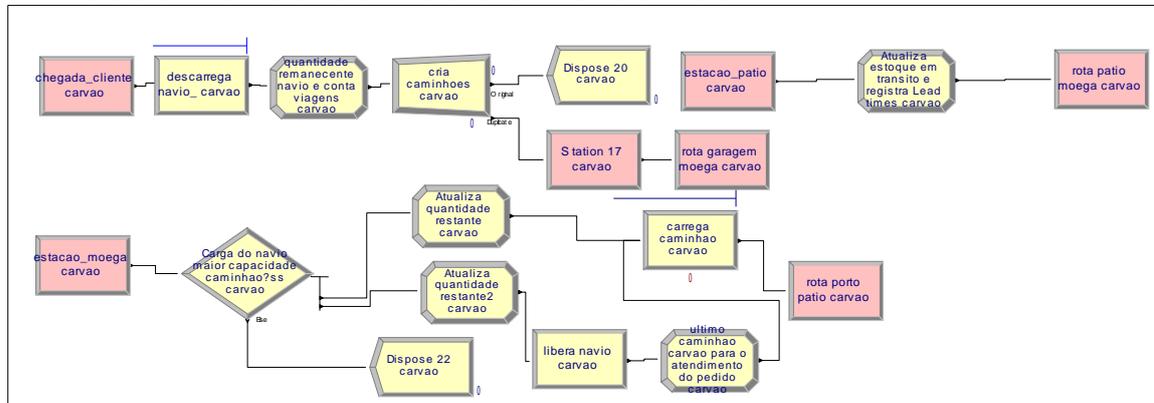
Após o despacho do fornecedor, o pedido é realizado pelo cliente, respeitando os tempos de envio de cada insumo.

Assim sendo, o recebimento dos Insumos 1 e 2 é diferente do recebimento do Insumo 3.

## Recebimento do Pedido de Calcário e Bentonita



## Recebimento do Pedido de Carvão



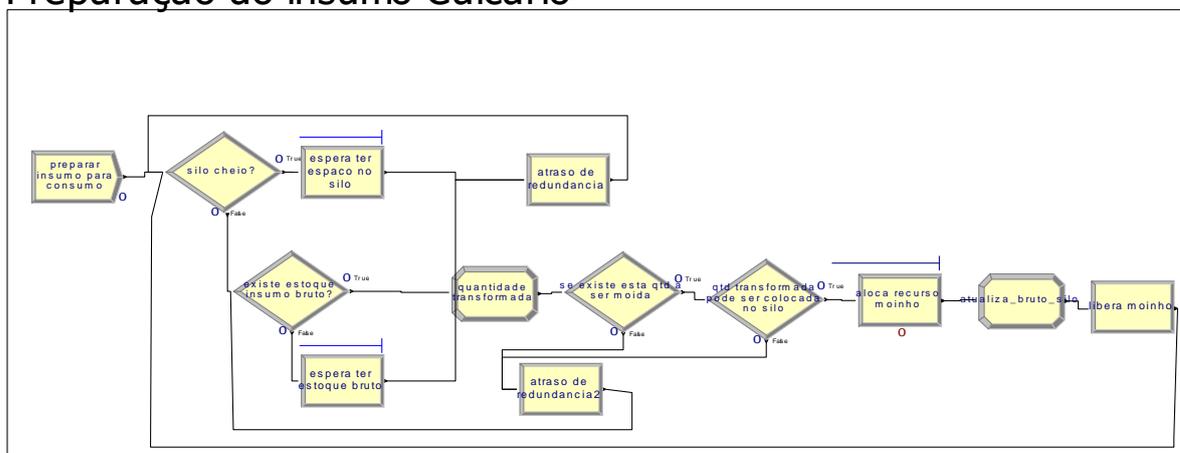
Para os Insumos 1 e 2 a lógica é passagem de cada caminhão carregado pelo pátio de pesagem, e então há a verificação de vaga no slot de descarga, não havendo existirá a formação de filas, havendo vagas é distribuído entre os dois slots de descarga que então é ocupado, é realizada a contagem do tempo de descarga, libera o slot e então é verificada se o caminhão que chegou é de Insumo 1 ou 2 e distribuído para atualização dos estoques de cada um deles.

Para o Insumo 3, o navio atraca no porto e então é realizada a descarga e assim é gerado o número de caminhões necessários para o transporte, então é roteirizado do porto para a moega, onde é feita uma verificação do estoque restante do navio, se o estoque do navio ainda é maior o sistema atualiza e continua o percurso dos caminhões. Se o volume do navio é menor que o de um caminhão o modelo libera o navio e posteriormente atualiza o estoque do cliente e registra o tempo de realização da descarga.

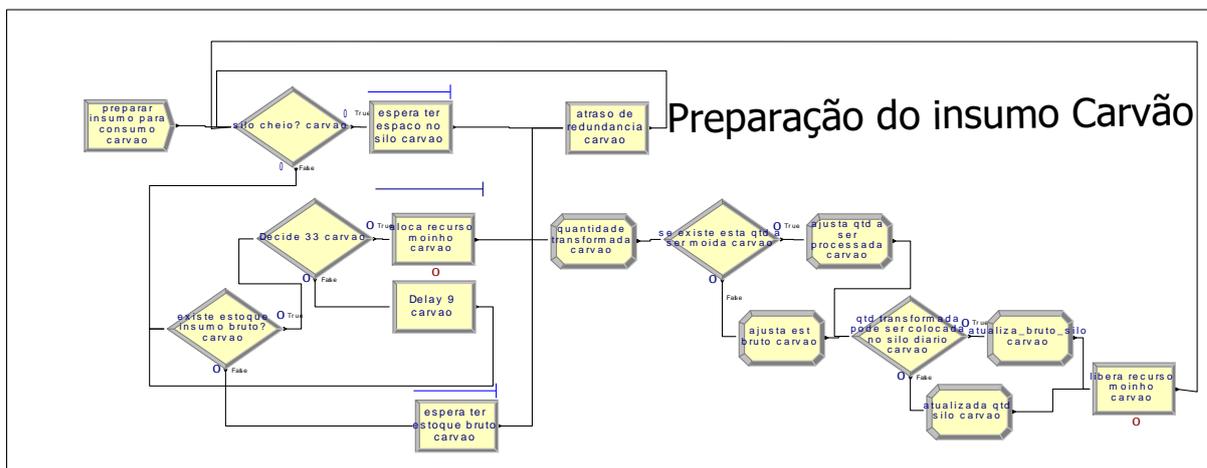
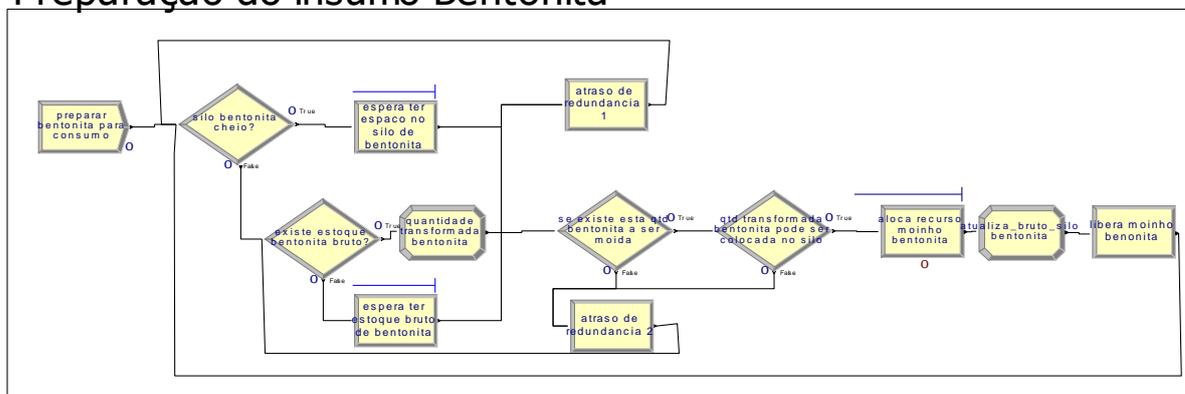
Após recebidos os insumos a sequência é o beneficiamento deles para utilização.

## 6 PREPARAÇÃO DOS INSUMOS

### Preparação do insumo Calcário



### Preparação do insumo Bentonita

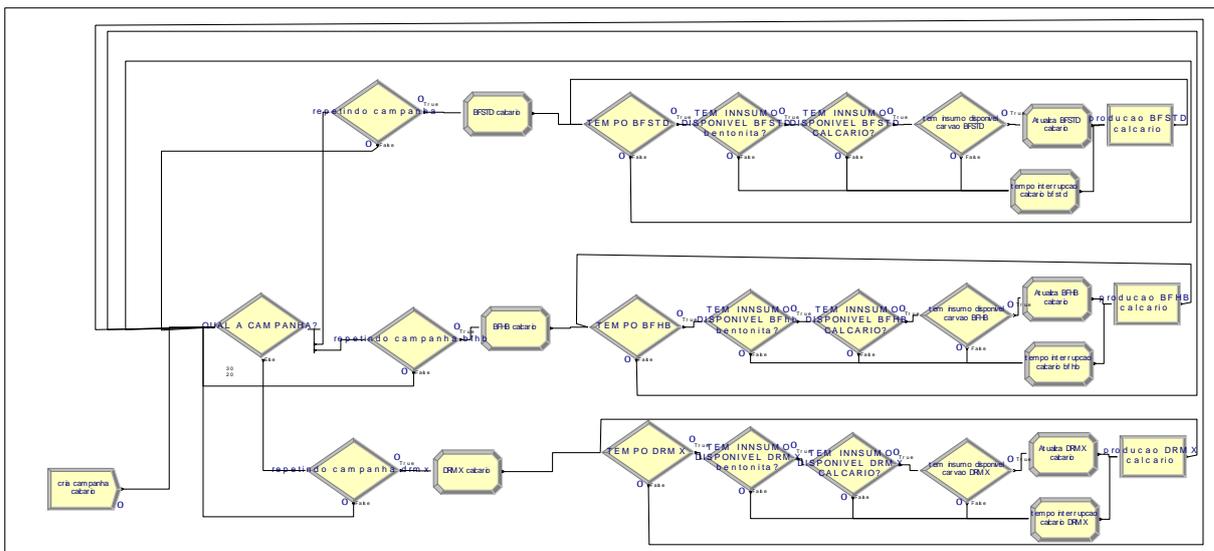


Após as atualizações de estoque que o recebimento do insumo gera, os estoques brutos seguem para moagem. O modelo realiza uma verificação se existe espaço no silo de produto acabado, verificando se o nível do silo é maior que o máximo, não havendo existe um atraso de redundância. Após passar pela primeira validação verifica-se a existência de produto bruto a ser moído, e então é definido o volume que será moído para aquela hora de produção. Seguindo para a próxima verificação, onde

é comparado se o volume definido cabe no silo de produto acabado, havendo negativa volta ao início do processo e é gerado atraso de redundância, passando por essa verificação aloca o recurso moinho. Depois de liberado atualiza o estoque de produto moído para o uso.

## 7 PROCESSO PRODUTIVO

# Processo Produtivo



Saindo da moagem, o evento segue para a produção das pelotas em si. Com em uma primeira verificação no modelo, é definido qual o tipo de campanha para aquele momento. A seguinte verificação corrige para que que uma campanha seguinte não seja a mesma da campanha anterior. E então é definido o tempo daquela campanha, a quantidade consumida de insumo por hora e passa-se para verificações da quantidade da existência de estoque para a produção. Com a existência de todos os volumes necessários para aquela hora produtiva, são feitas as atualizações de estoque de cada insumo e diminuído o tempo decorrido naquela produção. Caso seja negativa em alguma dessas configurações, é contabilizado como hora de atraso e não é feita atualização de produção.

Assim as atualizações dos eventos discretos fazem com que retorne ao início das verificações.