CARLOS HENRIQUE AZEVEDO DUARTE

**Programação da descarga de navios graneleiros de carvão: um
estudo de caso na Companhia Siderúrgica do Pecém**

São Paulo

2018

CARLOS HENRIQUE AZEVEDO DUARTE

**Programação da descarga de navios graneleiros de carvão: um
estudo de caso na Companhia Siderúrgica do Pecém**

**Dissertação de Mestrado apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em Ciências**

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

São Paulo

2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 27 de julho de 2018

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Duarte, Carlos Henrique

Programação da descarga de navios graneleiros de carvão: um estudo de caso na Companhia Siderúrgica do Pecém. / C. H. Duarte -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
97 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Programação de navios 2.carvão 3.DBR 4.simulação 5.industria siderúrgica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

RESUMO

De acordo com Babu et al. (2015), o carvão mineral é um importante recurso natural devido à sua aplicação em várias atividades econômicas, como geração de energia, produção de aço, fabricação de cimento e produção de combustível líquido. Em função do custo e da baixa qualidade do carvão brasileiro (não coqueificável, na maioria das reservas, com elevado teor de cinzas e baixo poder calorífico), como apontado por Süffert (1997), as empresas brasileiras dos setores siderúrgico e termoeletrico necessitam importar este insumo, por via marítima. O desafio no planejamento da logística de suprimento desta matéria prima é garantir o abastecimento ao mínimo custo de estoque e de espera dos navios. A garantia de abastecimento passa por uma programação adequada da chegada e descarga dos navios. Quando a descarga de navios é uma operação gargalo, é necessário maior cuidado com a programação de recebimento, de maneira com que não haja atrasos, que causem a falta de produto, nem em muita antecipação, que podem significar excessivos tempo de fila para recebimento do material por falta de área para estocagem. Com o objetivo de se programar adequadamente a chegada de navios, de forma a evitar filas muito grandes e desabastecimento foi proposto um modelo de programação de chegada de navios, com base nos dados do complexo de Pecém. Este modelo proposto utilizou um buffer de tempo pré-determinado, que foi testado e validado através de simulação, com objetivo de minimizar os atrasos, de forma que possam ser absorvidos por um estoque de segurança, e as antecipações, de forma que não haja risco de falta de área de estocagem.

Palavras-chave: Programação de navios, carvão, DBR, simulação, indústria siderúrgica

ABSTRACT

According to Babu et al. (2015), coal is an important natural resource due to its application in various economic activities, such as power generation, steel production, cement manufacturing and liquid fuel production. Due to the cost and low quality of Brazilian coal (not coking, in most reserves, with high ash content and low calorific value), as pointed out by Süffert (1997), Brazilian companies in the steel and thermoelectric sectors need to import this input, by sea. The challenge in planning the logistics of supply of this raw material is to guarantee the supply at the minimum cost of inventory and waiting of the ships. The supply guarantee is subject to adequate scheduling of arrival and unloading of ships. When ship unloading is a bottleneck operation, greater care is required with the scheduling of receipt, so that there are no delays, which cause the lack of product, or in much anticipation, that can mean excessive queue time for receiving the shipment material for lack of storage area. In order to properly program, the arrival of ships, in order to avoid very large queues and shortage, a model for the arrival of ships was proposed, based on data from the Pecém complex. This proposed model used a pre-determined time buffer, which was tested and validated through simulation, in order to minimize the delays, so that they can be absorbed by a security stock, and the anticipations, so that there is no risk lack of storage area.

Key words: Ship scheduling, coal, DBR, simulation, steel industry

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 10.....	80
Gráfico 2 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 10.....	80
Gráfico 3 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 10.....	80
Gráfico 4 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 10.....	80
Gráfico 5 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 10.....	81
Gráfico 6 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 10.....	81
Gráfico 7 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 10.....	81
Gráfico 8 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 15.....	81
Gráfico 9 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 15.....	82
Gráfico 10 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 15.....	82
Gráfico 11 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 15.....	82
Gráfico 12 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 15.....	82
Gráfico 13 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 15.....	83
Gráfico 14 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 15.....	83
Gráfico 15 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 20.....	83
Gráfico 16 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 20.....	83

Gráfico 17 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 20.....	84
Gráfico 18 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 20.....	84
Gráfico 19 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 20.....	84
Gráfico 20 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 20.....	84
Gráfico 21 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 20.....	85
Gráfico 22 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 25.....	85
Gráfico 23 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 25.....	85
Gráfico 24 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 25.....	85
Gráfico 25 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 25.....	86
Gráfico 26 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 25.....	86
Gráfico 27 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 25.....	86
Gráfico 28 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 25.....	86
Gráfico 29 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 30.....	87
Gráfico 30 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 30.....	87
Gráfico 31 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 30.....	87
Gráfico 32 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 30.....	87
Gráfico 33 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 30.....	88

Gráfico 34 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 30.....	88
Gráfico 35 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 30.....	88
Gráfico 36 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 35.....	88
Gráfico 37 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 35.....	89
Gráfico 38 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 35.....	89
Gráfico 39 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 35.....	89
Gráfico 40 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 35.....	89
Gráfico 41 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 35.....	90
Gráfico 42 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 35.....	90
Gráfico 43 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 40.....	90
Gráfico 44 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 40.....	90
Gráfico 45 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 40.....	91
Gráfico 46 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 40.....	91
Gráfico 47 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 40.....	91
Gráfico 48 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 40.....	91
Gráfico 49 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 40.....	92
Gráfico 50 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 45.....	92

Gráfico 51 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 45.....	92
Gráfico 52 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 45.....	92
Gráfico 53 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 45.....	93
Gráfico 54 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 45.....	93
Gráfico 55 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 45.....	93
Gráfico 56 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 45.....	93
Gráfico 57 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 50.....	94
Gráfico 58 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 50.....	94
Gráfico 59 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 50.....	94
Gráfico 60 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 50.....	94
Gráfico 61 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 50.....	95
Gráfico 62 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 50.....	95
Gráfico 63 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 50.....	95
Gráfico 64 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 55.....	95
Gráfico 65 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 55.....	96
Gráfico 66 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 55.....	96
Gráfico 67 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 55.....	96

Gráfico 68 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33%
TT seed 55.....96

Gráfico 69 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25%
TT seed 55.....97

Gráfico 70 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20%
TT seed 55.....97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porto de Pecém.....	13
Figura 2 – Fluxo Simplificado da Produção.....	14
Figura 3 – Hierarquia do planejamento de matéria prima.....	15
Figura 4 – Ajustes na programação usando o Laycan.....	16
Figura 5 - Programação de chegada de navios de carvão ao porto de Pecém.....	17
Figura 6 – Excesso de capacidade de aço no mundo.....	20
Figura 7– Representação Bidimensional do BAP.....	23
Figura 8 – Matriz de seleção para abordagens de PCP.....	26
Figura 9 – Mecanismos de Produção Puxada e Empurrada.....	26
Figura 10 – Modelo de Otimização da Simulação.....	34
Figura 11 – Modelo de Simulação DBR aplicado ao Estudo de Caso.....	36
Figura 12 – Tabela de Programação de Descarga de Navios.....	40
Figura 13 – Tabela de Programação de Descarga de Navios com Buffer (12 dias)	41
Figura 14 - Formato do relatório da simulação.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso de simulação para estudo de controle de estoque em processo.....	33
Tabela 2 - Dados de entrada para o modelo de simulação	37
Tabela 3 – Análise Comparativa entre as Simulações – Navios com Tardiness	45
Tabela 4 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior Tardiness	46
Tabela 5 – Análise Comparativa entre as Simulações – Média do tempo de espera.....	46
Tabela 6 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior Earliness.....	46
Tabela 7 – Análise Comparativa entre as Simulações – Navios com Tardiness	47
Tabela 8 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior Tardiness	47
Tabela 9 – Análise Comparativa entre as Simulações – Média do tempo de espera.....	48
Tabela 10 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior Earliness.....	48

LISTA DE SIGLAS

BSCS – *Base Stock Control System*
CCR – *Capacity Constrained Resources*
CONWIP – *Constant Work in Process*
CSU – *Continuous Shipment Unloader*
DBAP – *Dynamic Berth Allocation Problem*
DD – *Due Date*
DBR – *Drum-Buffer-Rope*
EKCS – *Extended Kanban Control System*
ES – *Evolutionary strategy*
ETA – *Estimated Time of Arrival*
ETB – *Estimated Time to Berth*
ETO – *Engineering to Order*
FMS – *Flexible Manufacturing System*
GA – *Genetic Algorithm*
HCA – *Hierarchical Control Architecture*
JIT – *Just in Time*
KCS – *Kanban Control System*
MRP – *Material Resource Planning*
MTO – *Make to Order*
MTS – *Make to Stock*
OM – *Operations Management*
OPT – *Optimized Production Technology*
ORR – *Order Review and Release*
PCP – *Planejamento e Controle da Produção*
POLCA – *Paired cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*
QRM – *Quick Response Manufacturing*
RBC – *Repeat Business Customizers*
SA – *Simulated Annealing*
SBAP – *Static Berth Allocation Problem*
SFTT – *Shop Floor Throughput Time*
ToC – *Theory of Constrains*
TMUT – *Terminal Multimodal*

TS – *Tabu Search*

TTT – *Total Throughput Time*

VMC – *Versatile Manufacturing Companies*

WIP – *Work in Process*

WLC – *Work Load Control*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.2 JUSTIFICATIVA.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 PROGRAMAÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS.....	22
2.2 CONTROLE DO ESTOQUE EM PROCESSO	25
2.2.1 CONWIP	27
2.2.2 Drum Buffer Rope (DBR)	29
2.3 SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 DESCRIÇÃO DO CASO	35
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	36
3.3 PROGRAMAÇÃO.....	37
3.4 MODELO DE SIMULAÇÃO	41
3.4.1 Descrição do modelo de simulação	42
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	45
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
6. CONCLUSÕES	51
6.1 SINTESE.....	51
6.2 LIMITAÇÕES.....	51
6.3 DESDOBRAMENTOS.....	52
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM PYTHON.....	57
APÊNDICE B - CÓDIGO FONTE DO OTIMIZADOR DE PROGRAMAÇÃO EM PYTHON.....	62
APÊNDICE C – EXEMPLOS DE RELATÓRIOS DE SIMULAÇÃO	65
APÊNDICE D – TESTE DE NORMALIDADE DE ANDERSON – DARLING.	70
APÊNDICE E – GRÁFICOS DE TEMPO DE ESPERA PARA DESCARGA.	80

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Babu et al. (2015), o carvão mineral é um importante recurso natural devido à sua aplicação em várias atividades econômicas, como geração de energia, produção de aço, fabricação de cimento e produção de combustível líquido. Usinas siderúrgicas a coque são unidades produtivas que se utilizam de carvão mineral como combustível e como redutor do minério de ferro para produção de aço. Já as termoeletricas a carvão utilizam carvão mineral como combustível para aquecer suas caldeiras e gerar energia elétrica.

Como o carvão mineral brasileiro é caro e de qualidade inferior (não coqueificável, na maioria das reservas, com elevado teor de cinzas e baixo poder calorífico), como apontado por Süffert (1997), as empresas brasileiras destes setores necessitam importar este insumo por via marítima de outros países, principalmente dos Estados Unidos, Canadá, Moçambique, Austrália, Rússia e Colômbia, de acordo com o anuário 2017 da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, disponível em <http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>. O desafio na logística de suprimento desta matéria prima é garantir o abastecimento ao mínimo custo de estoque e de espera dos navios.

Este trabalho analisa o caso do terminal portuário de Pecém (Figura 1), localizado no estado do Ceará, que abastece de carvão a Usina Siderúrgica de Pecém e duas usinas termoeletricas a carvão. O terminal possui um total de oito berços de atracação: três berços de atracação para descarga de carvão, um berço para recebimento de outros graneis sólidos, dois berços para receber graneis líquidos e gasosos, um berço para carga e descarga de contêineres e um berço para carga e descarga de produtos siderúrgicos (bobinas e placas de aço).

Figura 1 - Porto de Pecém

Fonte: Google Maps

Cada tipo de carvão, dependendo da região de origem, apresenta características de qualidade e custos diferentes. Desta forma, para o uso no processo produtivo, a prática comum é a compra de carvões de mais de uma origem para misturá-los e, assim, obter a qualidade desejada com o menor custo possível.

Esta prática torna mais complexa a movimentação no terminal e o controle dos estoques, uma vez que os produtos são recebidos por via marítima, com frequência, volume e taxas de descarga diferentes.

Para definir as compras de carvão, é necessário, inicialmente, definir plano agregado de produção da usina, cujo fluxo simplificado de produção é mostrado na Figura 2, baseado na previsão de vendas do ano, gerando uma necessidade de aço líquido. A demanda de carvão, assim como de outros insumos, é uma demanda dependente. Esta demanda é definida a partir do planejamento da produção da usina e é determinada utilizando programação para trás com lead time constante (capacidade infinita), que é uma lógica de MRP. A Figura 3 mostra os desdobramentos do plano agregado até a definição das necessidades de carvão.

Figura 2 – Fluxo Simplificado da Produção

Fonte: Instituto Aço Brasil (adaptado)

Figura 3 - Hierarquia do planejamento de matéria prima

Fonte: Elaborado pelo autor

A exemplo do planejamento da produção, o planejamento da logística do suprimento do carvão também envolve alguns níveis de planejamento. A partir do MRP, é calculada a demanda de carvão da usina para o período de planejamento, que, no caso, é de 12 meses. De posse desta demanda, o planejador de mistura de carvão determina, através de uma lista técnica, a quantidade de carvões por origem e fornecedor, considerando suas características de qualidade e custo.

No nível tático é feita a negociação com os fornecedores, para fechamento de contratos de fornecimento anual, de forma a se obter uma mistura de carvões que atenda a qualidade desejada ao menor custo possível.

Finalizada esta negociação, passa-se para o nível operacional, no qual se faz a programação da chegada de navios ao porto (denominado ETA - *Estimated Time of Arrival*). Esta programação tem um *time bucket* diário, levando em consideração um horizonte de planejamento de três meses, com revisão semanal.

Para fazer a programação de chegada de navios, é necessário definir as datas de necessidade (*due date*) dos carvões, ou seja, as datas em que os carregamentos devem estar disponíveis nos Pátios de Estocagem. Estas definições são feitas levando em consideração a evolução dos níveis de estoque ao longo do ano, considerando as taxas de consumo diário planejadas, o estoque de segurança e as quantidades de material que deverão ser recebidas em cada navio (tamanho do lote). A Figura 5 mostra um exemplo de programação de chegada de navios nos três terminais do Porto de Pecém, para um período de dois meses, sendo que os TMUTs

5 e 6 usam o modal rodoviário para levar o material do Porto até as empresas e o CSU usa correia transportadora tubular para fazer esta interligação.

Com base na programação de chegada dos navios é feita a programação para trás (*backward scheduling*), para determinar a programação do embarque nos portos de origem. Esta programação subtrai da data de chegada esperada um lead time equivalente à soma dos tempos de fila para embarque na origem, tempo de carregamento, tempo de viagem, tempo de fila para descarga em Pecém e tempo de descarga, para cada origem. Esta programação permite determinar o intervalo (janela) de carregamento do material no porto de origem, denominado *laycan* (*lay days-cancelling*), período que corresponde ao o primeiro dia e a hora para o navio chegar ao porto de carregamento e o último, após o qual o carregador tem o direito de cancelar o contrato.

Contratualmente, o navio tanto pode chegar no primeiro dia do *laycan* quanto no último, sem que haja qualquer tipo de sanção ou penalidade. Este intervalo tem tamanho fixo (normalmente de 10 dias) e, para fins de programação, a data calculada é considerada como sendo o meio do *laycan*, com o objetivo de se obter uma folga que permitam ajustes (adiantamento ou atraso no carregamento), como mostrado na Figura 4, uma vez que, na prática, existe um certo grau de incerteza na execução da programação, pois os parâmetros adotados não são determinísticos.

Figura 4 - Ajustes na programação usando o Laycan

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 - Programação de chegada de navios de carvão ao Porto de Pecém

Fonte: CSP

Os *laycans* calculados são passados para o fornecedor do carvão, com uma antecedência de, pelo menos, 45 dias do início de cada *laycan*, juntamente com a quantidade a ser carregada. O fornecedor, caso aceite o período solicitado, se compromete a ter o material disponível para carregamento no início do período. Caso não haja concordância com relação ao período solicitado, pode ser necessário refazer o plano de suprimento, para tentar absorver um eventual atraso no carregamento, ou, em último caso, recorrer à troca de material, o que, normalmente, acarreta um aumento de custos. Em termos práticos, a recusa do *laycan* dificilmente ocorre, uma vez que, na contratação, já há um acordo prévio. Este acordo, entretanto, pode não ser cumprido quando há algum problema grave na produção do carvão, tais como acidentes na mina ou catástrofes naturais (enchentes, furacões, etc.).

A programação anual de embarques é revisada trimestralmente, junto aos fornecedores, visando ajustar as variações não planejadas de consumo e/ou do nível de estoques. Quanto às quantidades embarcadas, por contrato, as mesmas podem sofrer variação de 10%, para mais ou para menos, sem que haja nenhum tipo de penalidade contratual.

Após a o aceite do *laycan*, é feito o afretamento do navio, que será utilizado para o transporte do material do porto de origem até o porto de descarga. O tipo de navio a ser afretado depende da quantidade a ser transportada e às condições de descarga no porto de Pecém.

Na execução desta programação, entretanto, as datas programadas para descarga dificilmente se realizam com a precisão desejada, com alteração frequentes na data de chegada dos navios no Porto. Isto acontece em função da variabilidade nos tempos de carregamento e de viagem e nos tempos de descarga e há possibilidade de atrasos que podem comprometer o funcionamento das empresas.

Por outro lado, estas empresas também precisam controlar o nível de seus estoques, para que eles não excedam sua capacidade de armazenagem, limitada pelo espaço físico disponível. Se não houver área disponível para descarregar um navio, além do custo financeiro do estoque, haverá pagamento de multa, pois o início da descarga só será possível após a liberação de área no pátio, gerando atraso no início da descarga. Esta falta de área de armazenagem, impedindo a descarga do navio, pode ocorrer por diversos motivos. Entre estes motivos podemos elencar falhas na programação (tamanho da fila superestimado), antecipação de carregamento, taxa de

consumo inferior ao programado, etc., fazendo com que o navio chegue antes da data de necessidade real.

A espera - tempo decorrido entre a chegada do navio ao Porto (denominado ETA) e o início da descarga do mesmo (denominado ETB - *Estimated Time of Berthing*), causada tanto pela falta de área para armazenagem como pela demora na liberação de berço para atracação e descarga (fila), gera o pagamento de uma multa diária (chamado *demurrage*), que é acordada com o armador no ato do afretamento do navio.

Quando se analisa o processo de suprimento como um todo, que é composto pelos subprocessos de chegada de navio (porto de origem), carregamento, viagem e descarga, verifica-se que há a formação de fila no porto de descarga, gerando a necessidade de se determinar uma folga na programação.

O dimensionamento de um buffer de tempo na programação, que absorva atrasos provocados pela variabilidade dos processos é importante para que as empresas mantenham a continuidade de suas operações, sem incorrer em aumentos de custos desnecessários, pela adoção de um nível de estoque elevado.

Para minimizar o gasto com *demurrage*, bem como garantir a continuidade operacional das empresas, se faz necessário, em um primeiro estágio, estudar o sistema composto pelos processos de carregamento, viagem e descarga, através de simulação, para determinação do buffer de tempo. Em um segundo estágio é necessário avaliar se é possível otimizar a programação visando redução do tempo de fila e, desta forma melhorar o atendimento ao *due date*, com consequente redução de *demurrage*.

Para determinar esta folga (*buffer*) na programação dos navios, será aplicado o conceito de DBR (*Drum-Buffer-Rope*). O DBR é a ferramenta de programação dentro da Teoria das Restrições (ToC - *Theory of Constraints*), e será utilizado para determinar um buffer de tempo a ser considerado antes da operação gargalo, com o objetivo de melhorar a assertividade da programação, evitando a perda do *due date*. Nos processos em estudo, o processo de descarga foi considerado como o processo gargalo.

1.1.OBJETIVOS

Propor um modelo de programação, apoiado na lógica DBR, cujo buffer será dimensionando e validado através de simulação, para controle de descarga de navios, visando reduzir atraso e antecipação, que causam fila de navio e falta de material, levando em consideração a capacidade dos pátios de armazenagem.

1.2. JUSTIFICATIVA

Em um mercado global, as empresas estão sempre em busca de soluções para obter vantagem sobre os seus rivais, focando na compreensão da sua própria estrutura em termos de processos, quer se trate de produção ou de serviços.

No setor siderúrgico esta necessidade torna-se ainda maior, em função do excesso de capacidade de produção mundial (Figura 6), o que torna o mercado ainda mais competitivo e, conseqüentemente, com margens de lucro muito pequenas, como pode ser observado pelo balanço anual das siderúrgicas brasileiras. Dentro deste contexto, todo ganho de eficiência em seus processos é importante para estas empresas.

Desta forma, a garantia de abastecimento de matérias primas, sem gastos desnecessários, se torna um aspecto importante a ser considerado pelas empresas do setor siderúrgico, uma vez que os valores envolvidos são relevantes (podem chegar a alguns milhões de dólares por ano).

Figura 6: Excesso de capacidade de aço no mundo

Fonte: Worldsteel

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma, após a Introdução:

No Capítulo 2 é feita revisão da literatura a respeito da programação de terminais portuários, controle de estoque em processo, abordando as ferramentas ConWip e DBR, conceitos e métodos simulação e otimização.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados, apresentando o caso estudado, o levantamento de dados para uso no modelo de simulação, a programação utilizada, aplicando a lógica do DBR, a descrição do modelo de simulação utilizado para dimensionar e validar o tamanho do buffer utilizado na programação

No Capítulo 4 é feita a apresentação dos resultados obtidos nas simulações.

No Capítulo 5 são discutidos os resultados obtidos através das simulações.

Finalmente, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões a partir da análise dos dados obtidos, dividido em Síntese, Limitações e Desdobramentos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PROGRAMAÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS

Segundo Bish (2003), no transporte marítimo, como na maioria dos transportes, a velocidade é extremamente importante. Desta forma, a necessidade de terminais eficientes é muito importante, beneficiando tanto as operadoras de navios, pois proporciona eficiências operacionais significativas, e também os terminais, pois permite que eles lidem com um maior volume. Desta forma, há uma pressão significativa dos setores de negócios para aumentar a produtividade do terminal e, em particular, para diminuir os tempos de retorno dos navios no terminal.

De acordo com Imai et al (2008), embora existam Terminais Dedicados a linhas de navegação específicas, há também outro tipo de terminal, operando como Terminais de Usuário Comuns, também conhecidos como Terminais Múltiplos (MUT – *Multi Users Terminal*), oferecendo serviços a qualquer linha de transporte. Estes terminais são geralmente configurados com um longo cais que compreende vários berços de atracação, tendo a capacidade de servir mais do que um navio de cada vez. Neste tipo de terminal, não é muito provável que um determinado navio seja servido em um lugar específico cada vez que for descarregar. Imai et al. (2008) ainda ressalta que o conceito de MUT é independente do número de berços no terminal de interesse. Os MUTs são em sua maioria de propriedade estatal em países em desenvolvimento e de propriedade privada em países desenvolvidos.

Segundo Imai et al. (2008) e Imai et al. (2001), a maioria desses terminais empregam o princípio de que o primeiro a chegar será o primeiro a ser descarregado (FCFS - *First-Come-First-Served*) para suas operações diárias. Desta forma, os navios chamados para descarga são alocados a um dos berços controlados pelo operador do terminal. Imai et al (2001), entretanto, afirma que o atendimento FCFS não necessariamente minimiza o tempo total de permanência dos navios. Se a ordem de chegada do navio for substituída por outra regra, o tempo acumulado total de permanência para todos os navios pode ser reduzido.

Cordeau et al. (2005) afirma que o Problema de Alocação de Berços (BAP – *Berth Allocation Problem*) consiste em atribuir navios a posições de atracação. Os gerentes enfrentam duas decisões inter-relacionadas: onde e quando os navios devem atracar. O problema pode ser representado em um espaço bidimensional (Figura 7), onde os

navios são retângulos cujas dimensões são comprimento, incluindo uma margem de segurança e tempo de manuseio. Estes retângulos devem ser colocados no espaço de decisão sem sobreposição uns aos outros e, ao mesmo tempo, satisfazer várias restrições.

Figura 7 – Representação Bidimensional do BAP

Fonte: Cordeau et al. (2005)

Na dimensão espacial existem restrições relativas à profundidade da água (calado admissível) e à distância máxima em relação à localização mais favorável ao longo do cais, calculada em relação à localização dos contentores de saída e ao espaço reservado Para os recipientes de entrada. Na dimensão temporal, as restrições são expressas como janelas de tempo no tempo de conclusão da manutenção do navio. Algumas janelas de tempo são suaves e podem ser relaxadas com um custo de penalidade adequado.

Segundo Cordeau et al. (2005), os dados de tempo de manipulação merecem uma discussão mais detalhada. Estes dados dependem de outra decisão relacionada, que é o número de guindastes atribuídos aos navios em descarga, chamado de problema de atribuição guindastes (QCAP – *Quey Crame Assignment Problem*). É claro que essa decisão afeta o tempo de manuseio e tem um impacto sobre o BAP. Em um sistema complexo como uma porta de transbordo, o processo de tomada de decisão é muitas vezes hierárquico e o QCAP é resolvido antes do BAP. De fato, as decisões sobre o QCAP estão sujeitas a menos flexibilidade porque o terminal deve atingir um

desempenho contratual e o número de guindastes atribuídos a cada navio é definido de acordo com regras práticas que consideram o comprimento do navio e a sua prioridade.

De acordo com Imai et al. (2003), a programação e a alocação de navios aos berços têm um impacto primário na eficiência das operações do porto. Assim, o Problema de Alocação de Berços (BAP) reflete as principais decisões referentes aos custos no gerenciamento de portos de cargas. Desta forma, uma adequada alocação dos navios aos berços aumentará a satisfação dos proprietários dos navios e aumentará a produtividade do porto, conduzindo a rendas mais altas para ambas as partes.

Imai et al. (2001) fala de algumas abordagens possíveis para o Problema de Alocação de Berços (BAP), com o objetivo de se minimizar o tempo total que passam à espera de ancoradouros e de manuseio de cargas. Uma das abordagens, proposta por Imai et al. (1997), é denominada SBAP - *Static Berth Allocation Problem* ou Problema Estático de Alocação de Berços. Esta abordagem, segundo Nishimura et al. (2001), considera que uma coleção de navios está pronta para ser atendida no início do horizonte de planejamento, e busca encontrar um conjunto de atribuições para minimizar a soma dos tempos totais de espera e serviço. A outra, é uma generalização do SBAP, denominada de Problema de Alocação Dinâmica de Berços (DBAP – *Dynamic Berth Allocation Problem*), que é semelhante ao SBAP, mas com a diferença que os navios chegam enquanto ainda há navios em descarga. De acordo com Nishimura et al. (2001), o DBAP assume que cada berço serve apenas um navio de cada vez.

Segundo Imai et al. (2001), o SBAP pode ser formulado como um problema de atribuição tridimensional e pode ser reduzido a um problema de atribuição bidimensional (ou clássico) que seja facilmente resolvido pelo método húngaro (Papadimitriou e Steiglitz, 1982). No entanto, o DBAP é representado por um problema de atribuição tridimensional com algumas restrições adicionais, e não é resolvido em tempo polinomialmente limitado. Em função disto, é necessário um algoritmo heurístico baseado no relaxamento lagrangiano para resolução do DBAP.

De acordo com Cononaco et al. (2008) a força de trabalho e os problemas de programação de recursos devem ser incorporados ao problema de alocação de berços, em um ambiente dinâmico e imprevisível, devido a um conjunto de eventos que não podem ser controlados pelo gerente de operações do terminal marítimo.

Estes eventos trazem elementos significativos de variabilidade tais como a variabilidade do volume de operações, o padrão de chegada dos navios, que é largamente determinado por fatores externos, dentre outros. Mesmo recorrendo a uma formulação separada de problemas de alocação de berços, um modelo determinista baseado em programação inteira neste caso é facilmente reconhecido como um problema NP Hard. Desta forma, uma solução prática é a aplicação de time buffers na programação.

2.2. CONTROLE DO ESTOQUE EM PROCESSO

A partir de uma perspectiva corporativa, de acordo com Davis et al. (2001), a administração da produção pode ser definida como o gerenciamento dos recursos diretos que são necessários para obtenção dos produtos e serviços de uma organização.

Em um ambiente fortemente globalizado, onde a concorrência é extremamente acirrada, existe uma grande preocupação das empresas em se manterem competitivas. Para que isto ocorra, é fundamental que se atinjam indicadores de desempenho, tais como os relacionados a custo, qualidade e prazo. Neste sentido o Planejamento e Controle da Produção (PCP) é fundamental para atender às demandas e expectativas cada vez mais elevadas dos clientes em função do mercado cada vez mais competitivo.

Segundo Stevenson et al. (2005), as funções típicas de um sistema de PCP incluem, entre outros, o planejamento de materiais, a gestão de demanda e o planejamento de capacidade. Entre as finalidades principais de tais funções está a controle do *Work in Progress* (WIP), visando minimizar prazos de entrega, reduzir o *Shop Floor Throughput Time* (SFTT) e os custos de armazenagem, melhorando a capacidade de resposta às mudanças na demanda e o Due Date (DD). Dada a importância destes objetivos, a escolha do tipo de controle adequado torna-se uma decisão crucial.

Entretanto, baseado em Stevenson et al. (2005), pode-se afirmar que a decisão sobre qual é a abordagem de PCP a ser adotada é complexa, em função do aumento do número de abordagens alternativas. Entre as abordagens apresentadas na literatura, podemos citar: *Kanban*, CONWIP (*Constant Work-In-Process*), DBR (*Drum*

Buffer Rope), WLC (*Work Load Control*), POLCA e, mais recentemente, COBACABANA.

Stevenson et al. (2005) apresenta uma matriz de seleção (Figura 8), com as diversas abordagens de PCP, resumindo o que os autores consideram ser as opções mais aplicáveis. As abordagens mais adequadas são sublinhadas, proporcionando um guia útil para pesquisadores e profissionais.

Figura 8 - Matriz de seleção para abordagens de PCP

	MTS		MTO (RBC)	MTO (VMC)
Pure Flow Shop	<u>Kanban</u> CONWIP ERP TOC	General Flow Shop	<u>WLC</u> CONWIP ERP POLCA TOC	Not Applicable
		General Job Shop	<u>WLC</u> ERP TOC	<u>WLC</u> ERP TOC

Fonte: Stevenson et al. (2005)

A Figura 9 mostra as diferenças entre modelos MRP (*push*), Kanban (*pull*) e CONWIP (híbrido).

Figura 9 - Mecanismos de Produção Puxada e Empurrada

Fonte: Hopp & Spearman (2000) - adaptado

Se for difícil determinar qual a configuração mais adequada, deve-se escolher a abordagem mais amplamente aplicável. Esta decisão de se adotar a abordagem mais ampla, entretanto, tem como preço a perda de precisão, mas, por outro lado, a utilização de uma abordagem mais sofisticada, onde não é necessária, pode acarretar, desnecessariamente, excesso de tempo de computação e tempo de agendamento.

Na prática, uma organização muitas vezes precisa de uma combinação de métodos de controle de produção, a fim de aproveitar os pontos fortes de cada sistema, embora alguns métodos possam ser mutuamente excludentes, como afirma Grunwald et al. (1989) com relação a ToC, JIT e MRP. Entretanto, as abordagens PCP não são, necessariamente, mutuamente exclusivas e, às vezes, pode ser difícil de serem isoladas. Sistemas mais práticos parecem ser constituídos com elementos de sistemas *push* e *pull*. Muitas das abordagens emergentes são métodos híbridos baseados em conceitos confirmados. Além disso, segundo Chang et al. (2003) e Soman et al. (2004), há cada vez mais atenção sendo focada em ambientes de produção híbridos.

Assim, embora estas abordagens venham sendo estudadas separadamente, elas não são, na prática, sempre empregadas desta forma. Se um sistema não cobre todas as necessidades de controle de PCP é imprescindível a adoção simultânea de abordagens complementares para uso efetivo, desenvolvendo soluções que tendem a adotar métodos clássicos estabelecidos. Desta forma, por exemplo, de acordo com Riezebos et al. (2002), ToC pode ser integrado com WLC para melhorar a sua aplicação para o uso de Controle de Input-Output dentro da abordagem DBR. Spearman et al. (1989) afirma que CONWIP pode beneficiar-se da abordagem TOC, enquanto Ding e Yuen (1991) mostram que MRP e Kanban podem ser utilizados em conjunto.

2.2.1. CONWIP

De acordo com Stevenson et al. (2005), *Constante Work-In-Process* (CONWIP) é um método contínuo de liberação de ordens para o chão de fábrica. Conforme Lödding et al. (2003), se o *Work-in-Process* (WIP) em uma linha de produção é igual ou superior a um determinado limite de WIP, não há novas ordens liberadas na linha. Os pedidos são inseridos em uma lista de ordens pendentes (*backlog*), para determinar

a sequência em que as ordens serão liberadas no sistema. CONWIP depende, portanto, em uma arquitetura de malha de controle centralizado.

Neste sistema de controle, segundo Stevenson et al. (2005), os cartões regulam o fluxo de trabalho, mas não são, como no *Kanban*, um "número específico da peça". Em vez disso eles são um "número específico de trabalho", ficando com um produto ou lote por toda a duração do processo, tornando-se um método mais manejável quando há alta variedade. Baseado em Spearman et al. (1990), que introduziu esta alternativa para *Kanban*, neste método o WIP não é limitado em cada operação ou máquina. Em vez disso, o número de WIP em produção é limitado pelo "fluxo" total, que pode consistir em várias operações ou várias máquinas e não apenas uma máquina.

CONWIP é naturalmente centrado no controle do WIP enquanto que *Kanban* é um controle de transferência orientado, segundo Fowler et al. (2002). Spearman et al. (1989) explicam que CONWIP é parte de uma arquitetura de controle hierárquico (HCA) trazendo abordagens hierárquica e JIT em conjunto para um ambiente JIT, possibilitando acomodar mudanças no mix de produto, mais setups, bem como ciclos de produção curtos. No entanto, de acordo com Stevenson et al. (2005), é questionável se o sistema de controle hierárquico pode fornecer o necessário controle nas fases de negociação com cliente (*order entry*), programação (*scheduling*) e de liberação do trabalho (*order release*). Além disso, uma HCA precisa de itens finais para serem agrupados em famílias de rotas comuns que restringem as possibilidades de personalização e aplicabilidade.

De acordo com Huang et al. (2014), um grande número de pesquisadores compara CONWIP com sistemas *pull*, sendo que a maioria dos estudos têm mostrado que o desempenho de CONWIP, reduzindo o WIP, encurtando o tempo de ciclo (CT) e obtendo um maior rendimento (TH), é relativamente óbvio em ambientes *flow shop*. No entanto, isso não significa que a abordagem CONWIP pode satisfazer a exigência atual de flexibilidade dos sistemas de produção.

Spearman et al. (1989), por sua vez, concluíram que, em uma comparação do CONWIP com outras alternativas *push*, a estabilidade do CONWIP é preferida à custa de um nível médio ligeiramente mais elevado de WIP, uma vez que o WIP no sistema *push* flutua de forma irregular e o seu desempenho deteriora-se mais rapidamente quando o controle é reduzido. A importância de restringir o WIP é mostrada, por exemplo, em Hopp e Spearman (2000), uma vez que WIP em excesso prolonga o

tempo de espera entre o início e o final da produção, para o próximo passo na cadeia de abastecimento ou para chegar ao usuário final.

Muito pouco WIP, por outro lado, quando há variações nos tempos de produção e quantidades, limita o fluxo de saída a um nível mais baixo do que seria o caso com mais WIP. Isto ocorre, de acordo com Pettersen & Segerstedt (2009), porquê, quando há um certo número de máquinas ligadas a uma cadeia de alimentação e não há estoques intermediários suficientes entre as máquinas, uma máquina pode ficar "faminta" por não poder trabalhar, por esperar a liberação de um trabalho da máquina a montante ou a máquina está bloqueada por não poder iniciar um novo trabalho, em função de não poder passar o trabalho finalizado para a máquina a jusante.

Huang et al. (2014), entretanto, afirmam que um problema inicial na implementação CONWIP é a forma de apresentar uma série de alternativas razoáveis e selecionar uma para controle de laço CONWIP, uma vez que a teoria CONWIP carece de diretrizes de design ou de um processo de desenvolvimento padrão no desenvolvimento de fase de alternativas. As alternativas CONWIP são normalmente propostas pela experiência.

2.2.2. Drum Buffer Rope (DBR)

De acordo com Georgiadis & Politou (2013), um planejamento de produção ineficiente, em sistemas de manufatura, muitas vezes transforma um recurso não gargalo em recurso com restrição de capacidade (CCR), que passa a funcionar como um gargalo. As abordagens de planejamento e controle de produção (PCP) baseadas em Drum-Buffer-Rope (DBR) focalizam a sincronização de recursos e utilização de materiais em CCRs de sistemas de manufatura, o que exige buffers de tempo para proteger os planos de produção dos efeitos de rupturas nos recursos de produção precedentes ao CCR. Por meio de buffers de tempo (isto é, restrição, montagem, tempo de espera de buffers), se faz o controle do materiais em frente a recursos protegidos para gerenciar e melhorar o desempenho do sistema de forma eficaz.

A Teoria das Restrições (ToC) é um conceito orientado para o gargalo, uma abordagem desenvolvida a partir de Tecnologia de Produção Otimizada (*Optimized Production Technology* - OPT), como é chamada por Goldratt (1990), sendo mais comumente conhecida como a abordagem *Drum-Buffer-Rope* (DBR). Sob a filosofia ToC, o processo de produção está programado para ser executado de acordo com as

necessidades do(s) gargalo(s), em como o gargalo (recurso restritivo) determina o desempenho de todo o sistema de produção.

Golmohammadi (2015) afirma que a aplicação da ToC tem evoluído ao longo dos últimos trinta anos. Ela foi aplicada, pela primeira vez, no planejamento e programação da produção para maximizar os lucros e a eficácia das empresas em relação às necessidades do mercado, identificando e explorando recursos de restrição. Para maximizar os lucros, a ToC pode ser usada para desenvolver um programa de produção mestre (MPS) que maximize o rendimento das restrições do sistema. A ToC tenta identificar as restrições no sistema, explorando e elevando-as para melhorar a produção geral do sistema. O procedimento de planejamento da produção tem duas etapas principais: desenvolvimento do MPS para depois criar um programa detalhado, com o objetivo de determinar o tempo de locação de várias partes para as operações. Para sincronizar operações no sistema, a técnica DBR é aplicada.

Drum-Buffer-Rope (DBR) é a técnica para aplicar o conceito de ToC. Pode haver diferentes variantes de DBR, mas, na sua forma básica o DBR usa a *Optimized Production Technology* (OPT) para agendamento. De acordo com Baudin (1990), OPT programa o recurso restritivo e os recursos não restritivos separadamente e usa a lógica de programação para trás. A lógica de programação libera partes o mais rapidamente possível para maximizar a produção, o que resulta em estoque de produtos acabados em excesso. Deste modo DBR utiliza um buffer de tempo, juntamente com o buffer físico e a liberação de material físico é baseada no tempo estimado para o buffer de tempo.

Quando a técnica DBR é aplicada ao agendamento, o tamanho do buffer é definido por um cálculo inicial. Segundo Schragenheim & Ronen (1990), dois fatores influenciam o desempenho do sistema: interrupções e complexidades. As interrupções resultam de uma variedade de causas, tais como avarias, absentismo, flutuações nos tempos de preparação e processamento, vendedores não confiáveis e produtos defeituosos. O segundo fator, as complexidades, provoca mudanças nos níveis do buffer. Os níveis de buffer afetam os horários de programação e de liberação das operações. Schragenheim et al (1994) recomenda que o tamanho de buffer seja três vezes o tempo de execução médio até a restrição. Já Spencer & Cox (1995) usa uma regra empírica que começa com um buffer de cinco vezes a soma dos tempos de instalação e processamento das operações entre a fase de liberação de material e a restrição.

Mabin & Balderstone (2003) explicam que, embora a abordagem tenha sido concebida na década de 1970, a ToC tem sido desenvolvida como uma teoria com referenciais teóricos, metodologias, técnicas e ferramentas de gestão. Com base na análise de Mabin & Balderstone (2003), principalmente em empresas de fabricação baseada em aplicações de ToC, é possível afirmar que as mesmas podem se beneficiar, por exemplo, da redução lead-time, redução do *takt time* e aumento das receitas. ToC pode ser utilizado num *job shop* (Spearman et al., 1989) e em pequenas empresas. Estudos de vários autores tem demonstrado que ToC pode ter um impacto benéfico sobre o desempenho em ambos os cenários (*job shop* e *flow shop*).

No entanto, ToC recebeu uma grande quantidade de críticas na literatura. Estas críticas iniciais concentram-se na falta de divulgação dos detalhes completos da ToC e das reivindicações de otimização. Duclos & Spencer (1995) são céticos das realizações da ToC, destacando a confusão resultante do sistema de medição de desempenho da ToC, que apresenta diferenças significativas para os sistemas tradicionais de medição de desempenho de Gestão de Operações (OM), o que torna a objetividade das comparações difícil. Outra crítica se refere aos gargalos flutuantes. Embora no *flow shop* seja provável que os gargalos permaneçam relativamente estacionários e determinísticos, quando a configuração se aproxima do *job shop* puro, a variação de roteamento torna estes gargalos mais aleatórios, o que significa que os mesmos podem se mover regularmente e ocorrer em qualquer lugar.

Baseado em Plenert & Best (1986), Rahman (1998) e Plenert (1999), as comparações de ToC com alternativas sugerem que ToC irá superar MRP quando há um gargalo dominante, mas que o MRP será uma abordagem melhor quando não são produtos altamente personalizados, e que o sistema ToC é mais completo do que o sistema JIT. No entanto, baseado nas comparações simuladas por Ramsay (1990), Cook (1994) e Rahman (1998), é difícil concluir que se um sistema é melhor do que o outro quando o uso de ToC se dá em cenários de produção MTO, tais como a *job shop*, onde existem roteiros variáveis e produção não repetitiva, incluindo o uso em pequenas e médias empresas. No entanto, o posicionamento estacionário de recursos gargalo pode ser um requisito para uma utilização eficaz, uma hipótese mais realista no *flow shop* puro (produção MTS) e nos *flow shop* em geral do que sua utilização em *job shop*. Além disso, como acontece com o MRP, ToC não leva em consideração, diretamente, a importância do planejamento e controle nas fases de negociação com o cliente e entrada do trabalho. Apesar disso, pode-se argumentar que estes

processos de planejamento são simplificados pelo fato de que a carga de trabalho só deve ser estimada para os recursos de restrição. Isto pode ser particularmente benéfico nas indústrias altamente personalizadas, onde estimar o tempo de processamento necessários com antecedência pode ser difícil. Desta forma, ToC continua a ser uma opção amplamente considerada pelos profissionais e tem sido usado eficazmente em ambientes ETO e ambientes altamente personalizados.

De acordo com Goldratt (1988), o planejamento de produção inadequado em sistemas de manufatura muitas vezes transforma um recurso não-gargalo em recursos com restrição de capacidade (CCR), que opera como um gargalo da capacidade média. Já Sivasubramanian et al. (2000) afirmam que o planejamento utilizando DBR aproxima o foco na sincronização de recursos e na utilização do material em CCRs do sistema de produção. Essa sincronização exige buffers de tempo que protegem os planos de produção dos efeitos das perturbações do CCR nos recursos de produção anteriores. De acordo com Schragenheim & Ronen (1990) e Schragenheim & Ronen (1991), por meio de buffers de tempo se monitora o inventário na frente de recursos protegidos, para gerenciar e melhorar o desempenho do sistema de forma eficaz.

Segundo Georgiadis & Politou (2013), a agenda de pesquisa sobre a eficácia da abordagem DBR em sistemas de produção tem recebido maior atenção durante a última década. O pressuposto básico em todos os estudos relativos é a determinação dos buffers de tempo como uma constante ao longo do horizonte de planejamento. No entanto, a maioria dos sistemas de produção do mundo real são caracterizados pela mudança dinâmica de demanda e, por vezes, pela produção estocástica. Portanto, para estes autores, a decisão sobre as políticas de buffer de tempo exige um mecanismo dinâmico.

Georgiadis & Politou (2013) consideram um sistema de produção dinâmico, capacitado, com um único produto, com três operações. Eles definiram como buffer de tempo de produção (PTB), o total de buffers de restrição e tempo de transporte e propuseram um mecanismo feedback dinâmico para definir o PTB para PCP de curto / médio prazo. Ao integrar o mecanismo proposto no sistema flow-shop, eles desenvolveram um modelo de sistema dinâmico (SD) para apoiar a tomada de decisões nas políticas de PTB.

Georgiadis & Politou (2013) estudaram a resposta do flow-shop (dinâmica de fluxos de produtos, inventários, medidas de desempenho) às políticas PTB sob

demanda e tempos de produção estocásticos. Uma vez que o comportamento dinâmico pode ser utilizado para avaliar a eficiência de uma política PTB específica, o modelo SD proposto por eles pode ser visto como um sistema de apoio à decisão (DSS) para decisões relacionadas ao PTB.

O elemento inovador do mecanismo de controle proposto por Georgiadis & Politou (2013) é a definição endógena dos valores de PTB desejados. Além disso, o mecanismo fornece robustez a ocorrências súbitas de perturbação na demanda e operações do job shop. Esta é uma propriedade positiva para lidar com questões de incerteza nos ambientes externos e internos do flow-shop. Utilizando o modelo SD, eles determinaram as políticas de aumento / diminuição do PTB ao longo de um determinado horizonte de planejamento e estudaram seu efeito no desempenho do flow-shop por meio da análise de Variância (ANOVA). O exame dos resultados obtidos por extensas pesquisas numéricas revela a sensibilidade das políticas PTB a fatores-chave relacionados à demanda, à data de vencimento da demanda e às características operacionais, como a capacidade de proteção e os tempos de produção. Este é um recurso adicional atraente do mecanismo de controle PTB proposto que fornece aos gerentes de produção flexibilidade em decisões relacionadas ao PTB.

Dada a dificuldade de definir o tamanho do buffer, uma estratégia a ser considerada é a adoção de simulação e otimização.

2.3. SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

De acordo com Carson & Maria (1977), quando o número de variáveis de entrada é grande e o modelo de simulação é complexo, o experimento de simulação pode tornar-se proibitivo computacionalmente. Além do alto custo computacional, um custo ainda mais elevado é incorrido quando os valores das variáveis sub ótimas de entrada são selecionadas. O processo de encontrar os melhores valores de variáveis de entrada, dentre todas as possibilidades sem avaliar explicitamente cada possibilidade é chamado de otimização de simulação. Tais problemas surgem frequentemente em engenharia, por exemplo, na concepção do processo, na experimentação industrial, na otimização do projeto e na otimização de confiabilidade. Um modelo de otimização da simulação é apresentado na Figura 10. A saída de um modelo de simulação é utilizada em uma estratégia de otimização para fornecer entrada de feedback sobre o

progresso da busca da solução ideal. Este, por sua vez orienta uma contribuição adicional para o modelo de simulação.

Figura 10 - Modelo de Simulação & Otimização

Fonte: Carson & Maria (1997) – Adaptado

Stevenson et al. (2005) apresenta uma tabela com a aplicação de modelos de simulação utilizando algumas das filosofias de controle de estoque em processo, cujo resumo é apresentado abaixo, na Tabela 1.

Tabela 1 - Uso de simulação para estudo e controle de estoques em processo

Método de Controle	Abordagem	Objetivo da Simulação
Drum-Buffer-Rope	Análise do desempenho dos aspectos de TOC	Determinar o tamanho do buffer de tempo Comparar desempenho dos mecanismos de liberação da ordem
Work Load Control	Análise do desempenho dos aspectos referentes a conceitos e metodologias WLC	Comparar e determinar o vínculo entre carga de trabalho e estratégias de balanceamento Avaliar o impacto do controle de entrada e saída
Constant Work in Progress	Testar e desenvolver aspectos da metodologia CONWIP	Definição dos níveis de WIP

Fonte: Stevenson et al. (2005) - adaptado

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DO CASO

O Porto de Pecém, localizado no estado do Ceará (Brasil), é utilizado pelas empresas da região para importação de carvão mineral, matéria prima para seus respectivos processos. Estes carvões são de origens distintas (EUA, Canadá, Moçambique, Austrália e Colômbia), com frequência de carregamento de navios, duração de carregamento e duração de viagens distintos por origem.

Ao chegarem ao Porto de Pecém, estes navios são descarregados em três berços de atracação distintos: CSU (equipamento mecanizado, interligado às empresas através de correias transportadoras), TMUT 5 e TMUT 6 (descarga de material através de guindaste e escoamento até as empresas via modal rodoviário). Entretanto, estes três berços de atracação são um gargalo para a descarga dos carvões, causando um congestionamento de navios na barra (local de espera dos navios até a atracação para descarga).

Com o objetivo inicial de dimensionar e estimar este tempo de espera na barra, foi proposto um modelo de simulação baseado no conceito DBR (Figura 11), onde a operação gargalo é a descarga dos navios e o buffer de tempo a ser dimensionado é o tempo de espera para descarga.

O modelo, a partir da programação inicial, gera os embarques por origem. A data de chegada é gerada somando um desvio aleatório (positivo ou negativo) na data original programada, uma vez que a janela de carregamento (*laycan*) dos navios nos portos de origem é de até 10 dias, independente da origem. Para este desvio foi adotada uma distribuição normal. Após a geração de cada embarque, o navio é liberado para o processo de carregamento.

O tempo de carregamento de cada navio varia de acordo com uma distribuição normal em torno de um valor médio, com duração e a variabilidade distinta de acordo com a origem, em função dos equipamentos e infraestrutura logística de cada porto. O valor carregado em cada navio também varia obedecendo à distribuição normal em torno de um valor médio, dependendo da disponibilidade de material. Por contrato, o valor carregado pode variar até 10% para mais ou para menos do que o valor contratado. Após terminado o carregamento, o navio passa para o processo de viagem.

A duração da viagem também varia obedecendo uma distribuição normal em torno de uma média (diferente para cada origem), em função das correntes marítimas e condições climáticas durante a viagem. Após o termino deste processo, os navios são colocados na barra (buffer de tempo), onde ficam aguardando a liberação de um ponto de atracação, para iniciar descarga.

Figura 11 - Modelo de Simulação DBR aplicado ao Estudo de Caso

Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para a elaboração do modelo foi criada, inicialmente, uma planilha contendo a programação de carregamento de carvões por origem/empresa, de acordo com a necessidade de abastecimento das empresas. Esta planilha foi desenvolvida para, em função da resposta do modelo de programação adotado, fazer a programação para trás, de forma a determinar a data em que o navio deve estar no porto de carregamento.

Em seguida foi feito levantamento do tempo médio de carregamento em cada porto de origem, bem como a carga média dos navios em cada um destes portos, dados necessários para simular o processo de carregamento. Após o processo de carregamento, o modelo considera mais um dia para manobra de desatracação, antes de iniciar o processo de viagem.

Depois foi necessário levantar o tempo médio de viagem de cada origem até o porto de destino, dado necessário para a simulação do processo viagem. Após o processo de viagem, o modelo considera mais um dia para manobra de desatracação, antes de iniciar o processo de descarga.

Para simular o processo de descarga (processo gargalo), foi feito o levantamento da taxa de descarga média correspondente aos navios constantes nos levantamentos anteriores.

A Tabela 2 apresenta os dados levantados para utilização no modelo.

Tabela 2 – Dados de Entrada para Modelo de Simulação

Origem	Tempo de Carregamento (d)		Carga Embarcada (t)		Tempo Médio de Viagem (d)		Taxa de Descarga por berço (t/d)	
	X	δ	X	δ	X	δ	X	δ
Estados Unidos	5	0,39	75.000	1.251	26	0,85	6300	209
Canadá	5	0,39	70.000	1.167	28	0,88		
Austrália	5	0,31	75.000	1.250	33	0,84		
Moçambique	7	0,32	70.000	1.166	18	0,85		
Pecém 1 *	5	0,32	80.000	1.333	16	0,87		
Pecém 2 *	7	0,34	78.000	1.301	26	0,85		

* Os embarques para as térmicas são provenientes de duas fontes, que se alternam entre si. Por isto, foi feita uma simplificação, adotando-se duas origens para atender às duas empresas.

Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.3. PROGRAMAÇÃO

Como já foi descrito anteriormente, para fazer a programação de chegada de navios, é necessário definir, inicialmente, as datas de necessidade (*due date*) dos carvões, ou seja, as datas em que os carregamentos devem estar disponíveis nos Pátios de Estocagem. Estas definições são feitas levando em consideração a evolução dos níveis de estoque ao longo do ano, considerando as taxas de consumo diário planejadas e as quantidades de material que deverão ser recebidas em cada navio (tamanho do lote). A programação realizada é o input para o modelo de simulação.

O sequenciamento de *jobs* é um desafio em vários ambientes de produção e sempre envolve uma série de atividades que precisam ser processadas usando alguns recursos disponíveis durante um determinado período de tempo (Morton e Pentico, 1993). O sequenciamento de atividades é um processo de decisão que desempenha um papel importante na maioria dos sistemas de fabricação, além de

ambientes de processamento e processamento de informações e transporte, distribuição e outros tipos de indústrias (Pinedo, 2002). O ambiente de máquina paralela tem sido estudado por vários anos devido à sua importância para a academia e a indústria.

Observando o estudo de caso em questão, descrito no Capítulo 2, podemos considerar, para fazer o sequenciamento das descargas de navios, que cada navio é um *job* que pode ser processado (descarregados) em um conjunto de máquinas (pontos de descarga) não idênticas em paralelo (CSU, TMUT 5 e TMUT 6). Apesar das máquinas não serem idênticas, na prática, o tempo de processamento de um mesmo *job* é o mesmo, independente da máquina utilizada. Em função disto, como simplificação, para este modelo, foi considerado que as três máquinas são iguais, ou seja, independente da máquina a ser utilizada, o tempo de processamento de cada *job* será o mesmo.

Para realizar a programação de descarga dos navios, objetivando minimizar o *tardiness*, para reduzir o risco de falta no abastecimento de matérias primas das empresas, foi desenvolvido um modelo de programação linear, levando em consideração as premissas abaixo:

- Todas as máquinas possuem a capacidade de processar todos os *jobs*.
- O tempo de processamento de trabalho é igual, mesmo se processado por uma máquina diferente.
- Cada *job* está disponível no momento zero.
- Os *jobs* são independentes um do outro.
- Não existe prioridade entre *jobs*.

A função objetivo deste modelo é a minimização do *tardiness* dos *jobs*. Para isto, para cada *job* i , foi definida o valor de p_i , correspondente ao tempo de processamento de cada *job* i e um valor de d_i , correspondente ao *due date* (término de descarga) de cada *job* i . A formulação matemática da função objetivo é mostrada a seguir:

$$\min \sum_j \sum_k T_{jk}$$

onde:

$$T_{jk} \geq \sum_{i=1}^n p_i \sum_{u=1}^k x_{iju} - \sum_{i=1}^n d_i x_{ijk} \quad \forall j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n$$

A formulação do modelo apresenta restrições para garantir que todos os *jobs* serão processados (restrição 2) e que nenhum deles possa ser processado mais de uma vez, seja na mesma máquina (restrição 3) ou em máquinas diferentes (restrição1). Para isto foi criada uma variável binária x_{ijk} , onde i corresponde ao *job*, j corresponde à máquina e k corresponde à posição (ordem) de processamento do *job* i na máquina k . A formulação matemática das restrições é mostrada abaixo.

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad k = 1, \dots, n; \forall j = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = 1 \quad j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n; \forall j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$T_{jk} \geq 0, x_{ijk} = 0/1$$

O modelo descrito acima foi implantado em Pulp do Python, para fazer o sequenciamento da descarga de navios. Em função do tempo de processamento computacional e limitação do Pulp, o modelo implantado faz o sequenciamento de 24 *jobs* de cada vez. O código fonte deste modelo está apresentado no Anexo B.

Como o número de *jobs* é maior do que os 24 *jobs* que o modelo consegue processar, para realizar o planejamento anual, os *jobs* foram divididos em grupos de 24. No sequenciamento do primeiro conjunto de *jobs*, formados pelos 24 *jobs* de menor *due date*, os 21 primeiros *jobs* sequenciados foram validados.

Os conjuntos subsequentes foram compostos pelos três últimos *jobs* sequenciados no conjunto anterior, acrescidos de mais 21 *jobs*, também definidos em função do *due date*. Para estes novos conjuntos também são validados os 21 primeiros *jobs* sequenciados, acrescentando mais 21 *jobs* validados por cada novo conjunto sequenciado (os três *jobs* validados do conjunto anterior acrescidos de mais 18 *jobs* validados, compondo o total de 21 *jobs* validados).

Com base na programação de chegada dos navios é feita a programação para trás (*backward scheduling*), para determinar a programação do embarque nos portos de origem. Esta programação considera como lead time a soma do tempo médio de carga no porto de origem, viagem e os tempos de atracação/desatracação, para cada origem. A Figura 12 usa mostra uma tabela de Programação de Descarga de Navios, baseada neste princípio, já prevendo a alocação de berços (CSU, TMUT5 ou TMUT6).

Figura 12 – Tabela de Programação de Descarga de Navios

		CSU		TMUT 5			TMUT 6						
Data Origem	ID	Atracação	Carregamento	Desatracação	Viagem	Data Chegada	Espera	Atracação	Início descarga	Carga	Tempo Descarga	Fim descarga	Desatracação
08/01/2017	PC1	1	1	5	1	16	31/01/2017	0	1	01/02/2017	80000	13	14/02/2017
08/01/2017	MOZ	1	1	7	1	18	04/02/2017	0	1	05/02/2017	70000	11	16/02/2017
08/01/2017	USA	1	1	5	1	26	10/02/2017	0	1	11/02/2017	75000	12	23/02/2017
10/01/2017	CAN	1	1	5	1	28	14/02/2017	0	1	15/02/2017	70000	11	26/02/2017
12/01/2017	PC2	1	1	7	1	26	16/02/2017	0	1	17/02/2017	78000	12	01/03/2017
17/01/2017	AUS	1	1	5	1	33	26/02/2017	0	1	27/02/2017	75000	12	11/03/2017
25/01/2017	PC2	2	1	7	1	26	01/03/2017	0	1	02/03/2017	78000	12	14/03/2017
31/01/2017	PC1	2	1	5	1	16	23/02/2017	0	1	24/02/2017	80000	13	09/03/2017
04/02/2017	PC2	3	1	7	1	26	11/03/2017	0	1	12/03/2017	78000	12	24/03/2017
11/02/2017	AUS	2	1	5	1	33	23/03/2017	0	1	24/03/2017	75000	12	05/04/2017
14/02/2017	PC1	3	1	5	1	16	09/03/2017	0	1	10/03/2017	80000	13	23/03/2017
17/02/2017	PC2	4	1	7	1	26	24/03/2017	0	1	25/03/2017	78000	12	06/04/2017
19/02/2017	PC1	4	1	5	1	16	14/03/2017	0	1	15/03/2017	80000	13	28/03/2017
24/02/2017	AUS	3	1	7	1	33	05/04/2017	0	1	06/04/2017	75000	12	18/04/2017
02/03/2017	PC2	5	1	7	1	26	06/04/2017	0	1	07/04/2017	78000	12	19/04/2017
05/03/2017	PC1	5	1	5	1	16	28/03/2017	0	1	29/03/2017	80000	13	11/04/2017
14/03/2017	PC2	6	1	7	1	26	18/04/2017	0	1	19/04/2017	78000	12	01/05/2017
16/03/2017	AUS	4	1	5	1	33	25/04/2017	0	1	26/04/2017	75000	12	08/05/2017
19/03/2017	PC1	6	1	5	1	16	11/04/2017	0	1	12/04/2017	80000	13	25/04/2017
27/03/2017	PC1	7	1	5	1	16	19/04/2017	0	1	20/04/2017	80000	13	03/05/2017
27/03/2017	PC2	7	1	7	1	26	01/05/2017	0	1	02/05/2017	78000	12	14/05/2017
05/04/2017	USA	2	1	5	1	26	08/05/2017	0	1	09/05/2017	75000	12	21/05/2017
09/04/2017	PC2	8	1	7	1	26	14/05/2017	0	1	15/05/2017	78000	12	27/05/2017
10/04/2017	PC1	8	1	5	1	16	03/05/2017	0	1	04/05/2017	80000	13	17/05/2017
16/04/2017	CAN	2	1	5	1	28	21/05/2017	0	1	22/05/2017	70000	11	02/06/2017
17/04/2017	AUS	5	1	5	1	33	27/05/2017	0	1	28/05/2017	75000	12	09/06/2017
24/04/2017	PC1	9	1	5	1	16	17/05/2017	0	1	18/05/2017	80000	13	31/05/2017
26/04/2017	PC2	9	1	7	1	26	31/05/2017	0	1	01/06/2017	78000	12	13/06/2017
05/05/2017	PC2	10	1	7	1	26	09/06/2017	0	1	10/06/2017	78000	12	22/06/2017
07/05/2017	AUS	6	1	5	1	33	16/06/2017	0	1	17/06/2017	75000	12	29/06/2017
10/05/2017	PC1	10	1	5	1	16	02/06/2017	0	1	03/06/2017	80000	13	16/06/2017
18/05/2017	PC2	11	1	7	1	26	22/06/2017	0	1	23/06/2017	78000	12	05/07/2017
21/05/2017	PC1	11	1	5	1	16	13/06/2017	0	1	14/06/2017	80000	13	27/06/2017
25/05/2017	PC2	12	1	7	1	26	29/06/2017	0	1	30/06/2017	78000	12	12/07/2017
26/05/2017	AUS	7	1	5	1	33	05/07/2017	0	1	06/07/2017	75000	12	18/07/2017
04/06/2017	PC1	12	1	5	1	16	27/06/2017	0	1	28/06/2017	80000	13	11/07/2017
07/06/2017	PC2	13	1	7	1	26	12/07/2017	0	1	13/07/2017	78000	12	25/07/2017
15/06/2017	AUS	8	1	5	1	33	25/07/2017	0	1	26/07/2017	75000	12	07/08/2017
18/06/2017	PC1	13	1	5	1	16	11/07/2017	0	1	12/07/2017	80000	13	25/07/2017
22/06/2017	USA	3	1	5	1	26	25/07/2017	0	1	26/07/2017	75000	12	07/08/2017
25/06/2017	PC1	14	1	5	1	16	18/07/2017	0	1	19/07/2017	80000	13	01/08/2017
27/06/2017	PC2	14	1	7	1	26	01/08/2017	0	1	02/08/2017	78000	12	14/08/2017
03/07/2017	PC2	15	1	7	1	26	07/08/2017	0	1	08/08/2017	78000	12	20/08/2017
12/07/2017	AUS	9	1	5	1	33	21/08/2017	0	1	22/08/2017	75000	12	03/09/2017
15/07/2017	PC1	15	1	5	1	16	07/08/2017	0	1	08/08/2017	80000	13	21/08/2017
16/07/2017	CAN	3	1	5	1	28	20/08/2017	0	1	21/08/2017	70000	11	01/09/2017
22/07/2017	PC1	16	1	5	1	16	14/08/2017	0	1	15/08/2017	80000	13	28/08/2017
24/07/2017	PC2	16	1	7	1	26	28/08/2017	0	1	29/08/2017	78000	12	10/09/2017
04/08/2017	AUS	10	1	5	1	33	13/09/2017	0	1	14/09/2017	75000	12	26/09/2017
05/08/2017	MOZ	2	1	7	1	18	01/09/2017	0	1	02/09/2017	70000	11	13/09/2017
06/08/2017	PC2	17	1	7	1	26	10/09/2017	0	1	11/09/2017	78000	12	23/09/2017
11/08/2017	PC1	17	1	5	1	16	03/09/2017	0	1	04/09/2017	80000	13	17/09/2017
19/08/2017	PC2	18	1	7	1	26	23/09/2017	0	1	24/09/2017	78000	12	06/10/2017
22/08/2017	PC2	19	1	7	1	26	26/09/2017	0	1	27/09/2017	78000	12	09/10/2017
25/08/2017	PC1	18	1	5	1	16	17/09/2017	0	1	18/09/2017	80000	13	01/10/2017
04/09/2017	PC2	20	1	7	1	26	09/10/2017	0	1	10/10/2017	78000	12	22/10/2017
05/09/2017	AUS	11	1	5	1	33	15/10/2017	0	1	16/10/2017	75000	12	28/10/2017
08/09/2017	PC1	19	1	5	1	16	01/10/2017	0	1	02/10/2017	80000	13	15/10/2017
09/09/2017	PC1	20	1	5	5	16	06/10/2017	0	1	07/10/2017	80000	13	20/10/2017
10/09/2017	AUS	12	1	5	1	33	20/10/2017	0	1	21/10/2017	75000	12	02/11/2017
17/09/2017	PC2	21	1	7	1	26	22/10/2017	0	1	23/10/2017	78000	12	04/11/2017
25/09/2017	USA	4	1	5	1	26	28/10/2017	0	1	29/10/2017	75000	12	10/11/2017
30/09/2017	PC2	22	1	7	1	26	04/11/2017	0	1	05/11/2017	78000	12	17/11/2017
10/10/2017	PC1	21	1	5	1	16	02/11/2017	0	1	03/11/2017	80000	13	16/11/2017
13/10/2017	PC2	23	1	7	1	26	17/11/2017	0	1	18/11/2017	78000	12	30/11/2017
15/10/2017	AUS	13	1	5	1	33	24/11/2017	0	1	25/11/2017	75000	12	07/12/2017
18/10/2017	PC1	22	1	5	1	16	10/11/2017	0	1	11/11/2017	80000	13	24/11/2017
24/10/2017	PC1	23	1	5	1	16	16/11/2017	0	1	17/11/2017	80000	13	30/11/2017
26/10/2017	PC2	24	1	7	1	26	30/11/2017	0	1	01/12/2017	78000	12	13/12/2017
02/11/2017	CAN	4	1	5	1	28	07/12/2017	0	1	08/12/2017	70000	11	19/12/2017
07/11/2017	PC1	24	1	5	1	16	30/11/2017	0	1	01/12/2017	80000	13	14/12/2017
08/11/2017	PC2	25	1	7	1	26	13/12/2017	0	1	14/12/2017	78000	12	26/12/2017
09/11/2017	AUS	14	1	5	1	33	19/12/2017	0	1	20/12/2017	75000	12	01/01/2018
16/11/2017	AUS	15	1	5	1	33	26/12/2017	0	1	27/12/2017	75000	12	08/01/2018
21/11/2017	PC1	25	1	5	1	16	14/12/2017	0	1	15/12/2017	80000	13	28/12/2017
27/11/2017	PC2	26	1	7	1	26	01/01/2018	0	1	02/01/2018	78000	12	14/01/2018
05/12/2017	PC1	26	1	5	1	16	28/12/2017	0	1	29/12/2017	80000	13	11/01/2018

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Na programação mostrada, o tempo de espera previsto é zero, considerando tempos determinísticos. Entretanto, como a operação de descarga é um gargalo, para efeitos de programação, serão testados *buffers* de tempo, devido à variabilidade dos processos. Os buffers de tempo a serem testados correspondem à 20%, 25% e 33% do tempo entre a origem e o porto de Pecem (*Transit Time* -TT) e buffers fixos de 4, 8 e 12 dias. A Figura 13 mostra a programação feita com base na adoção do buffer de 20% do *Transite Time*.

Figura 13 – Tabela de Programação de Descarga de Navios com Buffer (20% Transit Time)

		CSU				TMUT 5				TMUT 6			
Data Origem	ID	Atracação	Carregamento	Desatracação	Viagem	Data Chegada	Espera	Atracação	Início descarga	Carga	Tempo Descarga	Fim descarga	Desatracação
22/12/2016	USA	1	1	5	1	26	24/01/2017	7	1	01/02/2017	80000	13	14/02/2017
27/12/2016	CAN	1	1	5	1	28	31/01/2017	4	1	05/02/2017	70000	11	16/02/2017
11/01/2017	MOZ	1	1	7	1	18	07/02/2017	3	1	11/02/2017	75000	12	23/02/2017
20/01/2017	PC1	1	1	5	1	16	12/02/2017	2	1	15/02/2017	70000	11	26/02/2017
08/01/2017	PC2	1	1	7	1	26	12/02/2017	4	1	17/02/2017	78000	12	01/03/2017
15/01/2017	PC2	3	1	7	1	26	19/02/2017	4	1	24/02/2017	80000	13	09/03/2017
13/01/2017	AUS	1	1	5	1	33	22/02/2017	4	1	27/02/2017	75000	12	11/03/2017
21/01/2017	PC2	2	1	7	1	26	25/02/2017	4	1	02/03/2017	78000	12	14/03/2017
29/01/2017	PC2	4	1	7	1	26	05/03/2017	4	1	10/03/2017	80000	13	23/03/2017
14/02/2017	PC1	2	1	5	1	16	09/03/2017	2	1	12/03/2017	78000	12	24/03/2017
17/02/2017	PC1	4	1	5	1	16	12/03/2017	2	1	15/03/2017	80000	13	28/03/2017
07/02/2017	AUS	2	1	5	1	33	19/03/2017	4	1	24/03/2017	75000	12	05/04/2017
27/02/2017	PC1	3	1	5	1	16	22/03/2017	2	1	25/03/2017	78000	12	06/04/2017
03/03/2017	PC1	5	1	5	1	16	26/03/2017	2	1	29/03/2017	80000	13	11/04/2017
20/02/2017	AUS	3	1	5	1	33	01/04/2017	4	1	06/04/2017	75000	12	18/04/2017
26/02/2017	PC2	5	1	7	1	26	02/04/2017	4	1	07/04/2017	78000	12	19/04/2017
17/03/2017	PC1	6	1	5	1	16	09/04/2017	2	1	12/04/2017	80000	13	25/04/2017
10/03/2017	PC2	6	1	7	1	26	14/04/2017	4	1	19/04/2017	78000	12	01/05/2017
11/03/2017	PC2	7	1	7	1	26	15/04/2017	4	1	20/04/2017	80000	13	03/05/2017
12/03/2017	AUS	4	1	5	1	33	21/04/2017	4	1	26/04/2017	75000	12	08/05/2017
06/04/2017	PC1	7	1	5	1	16	29/04/2017	2	1	02/05/2017	78000	12	14/05/2017
08/04/2017	PC1	8	1	5	1	16	01/05/2017	2	1	04/05/2017	80000	13	17/05/2017
02/04/2017	USA	2	1	5	1	26	05/05/2017	3	1	09/05/2017	75000	12	21/05/2017
05/04/2017	PC2	8	1	7	1	26	10/05/2017	4	1	15/05/2017	78000	12	27/05/2017
08/04/2017	PC2	9	1	7	1	26	13/05/2017	4	1	18/05/2017	80000	13	31/05/2017
12/04/2017	CAN	2	1	5	1	28	17/05/2017	4	1	22/05/2017	70000	11	02/06/2017
13/04/2017	AUS	5	1	5	1	33	23/05/2017	4	1	28/05/2017	75000	12	09/06/2017
06/05/2017	PC1	9	1	5	1	16	29/05/2017	2	1	01/06/2017	78000	12	13/06/2017
08/05/2017	PC1	10	1	5	1	16	31/05/2017	2	1	03/06/2017	80000	13	16/06/2017
01/05/2017	PC2	10	1	7	1	26	05/06/2017	4	1	10/06/2017	78000	12	22/06/2017
19/05/2017	PC1	11	1	5	1	16	11/06/2017	2	1	14/06/2017	80000	13	27/06/2017
03/05/2017	AUS	6	1	5	1	33	12/06/2017	4	1	17/06/2017	75000	12	29/06/2017
14/05/2017	PC2	11	1	7	1	26	18/06/2017	4	1	23/06/2017	78000	12	05/07/2017
19/05/2017	PC2	13	1	7	1	26	23/06/2017	4	1	28/06/2017	80000	13	11/07/2017
21/05/2017	PC2	12	1	7	1	26	25/06/2017	4	1	30/06/2017	78000	12	12/07/2017
22/05/2017	AUS	7	1	5	1	33	01/07/2017	4	1	06/07/2017	75000	12	18/07/2017
16/06/2017	PC1	13	1	5	1	16	09/07/2017	2	1	12/07/2017	80000	13	25/07/2017
17/06/2017	PC1	12	1	5	1	16	10/07/2017	2	1	13/07/2017	78000	12	25/07/2017
09/06/2017	PC2	14	1	7	1	26	14/07/2017	4	1	19/07/2017	80000	13	01/08/2017
11/06/2017	AUS	8	1	5	1	33	21/07/2017	4	1	26/07/2017	75000	12	07/08/2017
19/06/2017	USA	3	1	5	1	26	22/07/2017	3	1	26/07/2017	75000	12	07/08/2017
07/07/2017	PC1	14	1	5	1	16	30/07/2017	2	1	02/08/2017	78000	12	14/08/2017
29/06/2017	PC2	15	1	7	1	26	03/08/2017	4	1	08/08/2017	78000	12	20/08/2017
29/06/2017	CAN	3	1	5	1	28	03/08/2017	4	1	08/08/2017	80000	13	21/08/2017
06/07/2017	PC2	16	1	7	1	26	10/08/2017	4	1	15/08/2017	80000	13	28/08/2017
26/07/2017	PC1	15	1	5	1	16	18/08/2017	2	1	21/08/2017	70000	11	01/09/2017
08/07/2017	AUS	9	1	5	1	33	17/08/2017	4	1	22/08/2017	75000	12	03/09/2017
03/08/2017	PC1	16	1	5	1	16	26/08/2017	2	1	29/08/2017	78000	12	10/09/2017
24/07/2017	PC2	17	1	7	1	26	28/08/2017	4	1	02/09/2017	70000	11	13/09/2017
09/08/2017	PC1	17	1	5	1	16	01/09/2017	2	1	04/09/2017	80000	13	17/09/2017
11/08/2017	MOZ	2	1	7	1	18	07/09/2017	3	1	11/09/2017	78000	12	23/09/2017
31/07/2017	AUS	10	1	5	1	33	09/09/2017	4	1	14/09/2017	75000	12	26/09/2017
23/08/2017	PC1	18	1	5	1	16	15/09/2017	2	1	18/09/2017	80000	13	01/10/2017
15/08/2017	PC2	18	1	7	1	26	19/09/2017	4	1	24/09/2017	78000	12	06/10/2017
18/08/2017	PC2	19	1	7	1	26	22/09/2017	4	1	27/09/2017	78000	12	09/10/2017
06/09/2017	PC1	19	1	5	1	16	29/09/2017	2	1	02/10/2017	80000	13	15/10/2017
28/08/2017	PC2	21	1	7	1	26	02/10/2017	4	1	07/10/2017	80000	13	20/10/2017
31/08/2017	PC2	20	1	7	1	26	05/10/2017	4	1	10/10/2017	78000	12	22/10/2017
01/09/2017	AUS	11	1	5	1	33	11/10/2017	4	1	16/10/2017	75000	12	28/10/2017
06/09/2017	AUS	12	1	5	1	33	16/10/2017	4	1	21/10/2017	75000	12	02/11/2017
27/09/2017	PC1	20	1	5	1	16	20/10/2017	2	1	23/10/2017	78000	12	04/11/2017
22/09/2017	USA	4	1	5	1	26	25/10/2017	3	1	29/10/2017	75000	12	10/11/2017
24/09/2017	PC2	22	1	7	1	26	29/10/2017	4	1	03/11/2017	80000	13	16/11/2017
10/10/2017	PC1	21	1	5	1	16	02/11/2017	2	1	05/11/2017	78000	12	17/11/2017
16/10/2017	PC1	22	1	5	1	16	08/11/2017	2	1	11/11/2017	80000	13	24/11/2017
08/10/2017	PC2	24	1	7	1	26	12/11/2017	4	1	17/11/2017	80000	13	30/11/2017
09/10/2017	PC2	23	1	7	1	26	13/11/2017	4	1	18/11/2017	78000	12	30/11/2017
11/10/2017	AUS	13	1	5	1	33	20/11/2017	4	1	25/11/2017	75000	12	07/12/2017
05/11/2017	PC1	23	1	5	1	16	28/11/2017	2	1	01/12/2017	78000	12	13/12/2017
22/10/2017	PC2	25	1	7	1	26	26/11/2017	4	1	01/12/2017	80000	13	14/12/2017
29/10/2017	CAN	4	1	5	1	28	03/12/2017	4	1	08/12/2017	70000	11	19/12/2017
30/10/2017	AUS	14	1	5	1	33	09/12/2017	4	1	14/12/2017	78000	12	26/12/2017
19/11/2017	PC1	25	1	5	1	16	12/12/2017	2	1	15/12/2017	80000	13	28/12/2017
24/11/2017	PC1	24	1	5	1	16	17/12/2017	2	1	20/12/2017	75000	12	01/01/2018
12/11/2017	AUS	15	1	5	1	33	22/12/2017	4	1	27/12/2017	75000	12	08/01/2018
03/12/2017	PC1	26	1	5	1	16	26/12/2017	2	1	29/12/2017	80000	13	11/01/2018
23/11/2017	PC2	26	1	7	1	26	28/12/2017	4	1	02/01/2018	78000	12	14/01/2018

Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.4. MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo de simulação proposto foi desenvolvido na linguagem Python, utilizando-se para isto dos módulos “simpy”, que foi desenvolvido para gerar e gerenciar eventos discretos, “random”, que permite que sejam gerados números aleatórios, segundo uma distribuição normal, e o “xlwings”, que gera uma interface do modelo com uma planilha Excel, que foi utilizada para receber o relatório do modelo. Este relatório contempla o acompanhamento de cada navio, desde o seu embarque até a descarga

no porto, e gera um gráfico com a evolução do tempo de espera ao longo do período de simulação. O código implementado é apresentado no Apêndice A.

3.4.1. Descrição do modelo de simulação

Uma funcionalidade imprescindível para análise dos resultados é a armazenagem de dados de cada embarque gerado na simulação. Com esta finalidade, foi definida uma classe, que é um recurso de armazenamento da linguagem Python, que foi denominada de Navio. Esta classe gera um endereço de memória para cada navio gerado nos processos de geração de navios, que vai acumulando os dados referentes à operação destes navios durante todo período da simulação. Os dados armazenados para cada navio são:

- nome: corresponde à denominação do navio. É composto da origem acrescido de um número sequencial.
- ETA_O: corresponde à data de chegada no navio no porto de origem.
- I_carga: corresponde à data de início da carga n porto de origem.
- carga: corresponde à quantidade de material que foi carregado no navio.
- T_carga: corresponde à data do término de carregamento.
- I_viagem: corresponde à data de início de viagem.
- ETA_P: corresponde à data em que o navio chegou ao Porto de Pecém
- I_descarga: corresponde ao início de descarga no Porto de Pecém
- T_espera: corresponde ao tempo que o navio permaneceu em espera (a diferença entre I_descarga e ETA_P).
- F_descarga: corresponde à data em que o navio terminou sua descarga no Porto de Pecém.

Para iniciar a simulação, é feita a leitura de um arquivo em Excel, que contém as informações de data de chegada programada na origem para cada navio.

Após a leitura da programação de navios, é iniciado o próximo processo que é o carregamento dos navios. Neste processo são determinadas a duração do carregamento e a carga que será levada em cada viagem. Esta determinação é baseada na duração de carregamento e carga médias programadas por origem, conforme mostrado na Tabela 2.

Para determinar se os dados usados para gerar a Tabela 2 se comportavam segundo uma distribuição normal (visto que os processos envolvidos são bastante estáveis) foi feito o teste de Anderson-Darling, utilizando o software Minitab®. Após os testes, que são apresentados no Anexo D, foi confirmado que se pode considerar que todos os processos avaliados variam de acordo com uma distribuição normal.

Depois do processo de carregamento do navio, se inicia o processo de viagem, que simula o deslocamento do navio do porto origem até o porto de destino. Ao final deste processo, o navio fica disponível para descarga. Como são seis origens diferentes, também neste caso foram necessários criar seis processos de viagem, atrelados a cada porto de origem.

Na chegada ao destino, os navios ficam disponíveis para a atracação e início de descarga. Como a descarga no porto é uma operação gargalo, o que pode provocar um tempo de espera antes da descarga, foi criado um buffer de tempo, seguindo a lógica do DBR, visando absorver variações nos tempos de processamento, facilitando assim o processo de programação de navios.

Após esta espera, o navio vai para o processo de descarga, que pode ser efetuada em três pontos distintos de atracação. Para simular esta situação foi utilizado uma funcionalidade disponível no módulo simpy, que possibilita a criação de um recurso com capacidade igual a três. Este recurso se auto gerencia, só inicia a descarga de um navio se uma de suas três capacidades estiver liberada.

Ao término da simulação os dados são exportados para uma planilha em Excel, contendo todas as informações referentes aos navios descarregados durante o tempo de simulação (Figura 14), e um gráfico que corresponde ao tempo de espera de cada navio, o que permite uma análise mais detalhada de cada simulação.

Figura 14 - Formato do relatório da simulação

Navio	ETA Origem	Início Carga	Final Carga	Quantidade	Início Viagem	ETA Pecem	Início Descarga	Tempo Espera	Fim Descarga
PC1 1	28/12/2016	29/12/2016	03/01/2017	81493,42	04/01/2017	22/01/2017	23/01/2017	0	04/02/2017
MOZ 1	28/12/2016	29/12/2016	07/01/2017	69785,76	08/01/2017	28/01/2017	29/01/2017	0	09/02/2017
USA 1	28/12/2016	29/12/2016	05/01/2017	75937,35	06/01/2017	01/02/2017	02/02/2017	0	14/02/2017
CAN 1	28/12/2016	29/12/2016	03/01/2017	67370,74	04/01/2017	02/02/2017	06/02/2017	3	17/02/2017
PC2 1	28/12/2016	29/12/2016	06/01/2017	75511,32	07/01/2017	02/02/2017	11/02/2017	8	23/02/2017
PC1 2	10/01/2017	11/01/2017	16/01/2017	77515,17	17/01/2017	02/02/2017	16/02/2017	13	28/02/2017
AUS 1	28/12/2016	29/12/2016	04/01/2017	77491,80	05/01/2017	09/02/2017	19/02/2017	9	03/03/2017
PC2 2	12/01/2017	13/01/2017	20/01/2017	77693,80	21/01/2017	16/02/2017	25/02/2017	8	08/03/2017
PC1 3	26/01/2017	27/01/2017	01/02/2017	80476,66	02/02/2017	18/02/2017	02/03/2017	11	13/03/2017
AUS 2	26/01/2017	27/01/2017	01/02/2017	74431,63	02/02/2017	07/03/2017	08/03/2017	0	19/03/2017
PC2 3	27/01/2017	28/01/2017	06/02/2017	77865,36	07/02/2017	07/03/2017	10/03/2017	2	22/03/2017
PC1 4	13/02/2017	14/02/2017	20/02/2017	78803,65	21/02/2017	09/03/2017	15/03/2017	5	27/03/2017
PC2 4	08/02/2017	09/02/2017	16/02/2017	77666,43	17/02/2017	15/03/2017	21/03/2017	5	01/04/2017
PC1 5	03/03/2017	04/03/2017	10/03/2017	79615,54	11/03/2017	28/03/2017	29/03/2017	0	10/04/2017
PC2 5	21/02/2017	22/02/2017	03/03/2017	77017,06	04/03/2017	31/03/2017	01/04/2017	0	12/04/2017
AUS 3	21/02/2017	22/02/2017	27/02/2017	72896,09	28/02/2017	02/04/2017	03/04/2017	0	13/04/2017
PC1 6	15/03/2017	16/03/2017	23/03/2017	80881,10	24/03/2017	09/04/2017	12/04/2017	2	24/04/2017
PC2 6	09/03/2017	10/03/2017	17/03/2017	74963,65	18/03/2017	15/04/2017	16/04/2017	0	28/04/2017
PC1 7	29/03/2017	30/03/2017	05/04/2017	83731,92	06/04/2017	22/04/2017	23/04/2017	0	05/05/2017
AUS 4	16/03/2017	17/03/2017	22/03/2017	75496,07	23/03/2017	25/04/2017	26/04/2017	0	07/05/2017
PC2 7	23/03/2017	24/03/2017	01/04/2017	75375,83	02/04/2017	28/04/2017	30/04/2017	1	12/05/2017
USA 2	28/03/2017	29/03/2017	05/04/2017	74316,27	06/04/2017	03/05/2017	07/05/2017	3	17/05/2017
PC1 8	09/04/2017	10/04/2017	15/04/2017	82889,37	16/04/2017	04/05/2017	09/05/2017	4	22/05/2017
PC2 8	03/04/2017	04/04/2017	11/04/2017	74828,48	12/04/2017	09/05/2017	14/05/2017	4	25/05/2017
PC1 9	23/04/2017	24/04/2017	29/04/2017	78190,52	30/04/2017	16/05/2017	19/05/2017	2	01/06/2017
CAN 2	16/04/2017	17/04/2017	24/04/2017	71336,34	25/04/2017	23/05/2017	24/05/2017	0	04/06/2017
AUS 5	13/04/2017	14/04/2017	20/04/2017	73698,46	21/04/2017	24/05/2017	27/05/2017	2	07/06/2017
PC2 9	19/04/2017	20/04/2017	29/04/2017	76315,21	30/04/2017	28/05/2017	03/06/2017	5	14/06/2017
PC1 10	06/05/2017	07/05/2017	13/05/2017	80016,87	14/05/2017	30/05/2017	06/06/2017	6	17/06/2017
PC2 10	01/05/2017	02/05/2017	09/05/2017	74544,35	10/05/2017	05/06/2017	09/06/2017	3	20/06/2017
PC1 11	19/05/2017	20/05/2017	25/05/2017	77039,44	26/05/2017	12/06/2017	16/06/2017	3	29/06/2017
AUS 6	07/05/2017	08/05/2017	13/05/2017	73489,61	14/05/2017	18/06/2017	19/06/2017	0	30/06/2017
PC2 11	16/05/2017	17/05/2017	24/05/2017	78644,63	25/05/2017	22/06/2017	23/06/2017	0	06/07/2017
PC1 12	30/05/2017	31/05/2017	07/06/2017	82923,64	08/06/2017	25/06/2017	01/07/2017	5	13/07/2017
PC2 12	30/05/2017	31/05/2017	07/06/2017	74932,82	08/06/2017	04/07/2017	05/07/2017	0	17/07/2017
AUS 7	01/06/2017	02/06/2017	07/06/2017	77364,81	08/06/2017	13/07/2017	14/07/2017	0	27/07/2017
PC1 13	18/06/2017	19/06/2017	26/06/2017	83315,99	27/06/2017	13/07/2017	15/07/2017	1	28/07/2017
PC2 13	17/06/2017	18/06/2017	25/06/2017	77178,85	26/06/2017	23/07/2017	24/07/2017	0	04/08/2017
USA 3	24/06/2017	25/06/2017	30/06/2017	74000,10	01/07/2017	27/07/2017	30/07/2017	2	09/08/2017
PC1 14	29/06/2017	30/06/2017	07/07/2017	80021,04	08/07/2017	26/07/2017	29/07/2017	2	10/08/2017
PC1 15	11/07/2017	12/07/2017	19/07/2017	82968,33	20/07/2017	05/08/2017	06/08/2017	0	19/08/2017
PC2 14	06/07/2017	07/07/2017	14/07/2017	75131,79	15/07/2017	10/08/2017	11/08/2017	0	24/08/2017
AUS 8	01/07/2017	02/07/2017	08/07/2017	75850,56	09/07/2017	11/08/2017	12/08/2017	0	24/08/2017
PC1 16	23/07/2017	24/07/2017	29/07/2017	78720,91	30/07/2017	17/08/2017	21/08/2017	3	03/09/2017
PC2 15	17/07/2017	18/07/2017	25/07/2017	75479,46	26/07/2017	21/08/2017	26/08/2017	4	06/09/2017
PC1 17	04/08/2017	05/08/2017	10/08/2017	78089,41	11/08/2017	28/08/2017	29/08/2017	0	10/09/2017
CAN 3	27/07/2017	28/07/2017	02/08/2017	69620,19	03/08/2017	02/09/2017	05/09/2017	2	15/09/2017
AUS 9	27/07/2017	28/07/2017	03/08/2017	71665,16	04/08/2017	06/09/2017	08/09/2017	1	19/09/2017
MOZ 2	10/08/2017	11/08/2017	18/08/2017	72606,77	19/08/2017	06/09/2017	12/09/2017	5	22/09/2017
PC2 16	05/08/2017	06/08/2017	13/08/2017	81445,26	14/08/2017	09/09/2017	17/09/2017	7	30/09/2017
PC1 18	19/08/2017	20/08/2017	26/08/2017	76427,63	27/08/2017	12/09/2017	21/09/2017	8	02/10/2017
PC2 17	16/08/2017	17/08/2017	24/08/2017	81024,88	25/08/2017	20/09/2017	24/09/2017	3	06/10/2017
PC1 19	01/09/2017	02/09/2017	09/09/2017	79440,39	10/09/2017	27/09/2017	02/10/2017	4	15/10/2017
AUS 10	24/08/2017	25/08/2017	30/08/2017	75699,02	31/08/2017	04/10/2017	05/10/2017	0	18/10/2017
PC2 18	30/08/2017	31/08/2017	08/09/2017	78204,35	09/09/2017	05/10/2017	08/10/2017	2	21/10/2017
PC1 20	20/09/2017	21/09/2017	26/09/2017	78092,21	27/09/2017	13/10/2017	17/10/2017	3	28/10/2017
PC2 19	10/09/2017	11/09/2017	19/09/2017	77026,47	20/09/2017	16/10/2017	20/10/2017	3	01/11/2017
USA 4	24/09/2017	25/09/2017	30/09/2017	77773,98	01/10/2017	28/10/2017	29/10/2017	0	10/11/2017
AUS 11	19/09/2017	20/09/2017	27/09/2017	77902,59	28/09/2017	31/10/2017	01/11/2017	0	12/11/2017
PC1 21	07/10/2017	08/10/2017	15/10/2017	80274,63	16/10/2017	01/11/2017	03/11/2017	1	14/11/2017
PC2 20	29/09/2017	30/09/2017	09/10/2017	81854,82	10/10/2017	07/11/2017	12/11/2017	4	24/11/2017
PC2 21	14/10/2017	15/10/2017	23/10/2017	75016,72	24/10/2017	19/11/2017	20/11/2017	0	01/12/2017
PC1 22	25/10/2017	26/10/2017	01/11/2017	83899,02	02/11/2017	19/11/2017	20/11/2017	0	02/12/2017
AUS 12	15/10/2017	16/10/2017	21/10/2017	76472,02	22/10/2017	25/11/2017	26/11/2017	0	07/12/2017
PC1 23	09/11/2017	10/11/2017	16/11/2017	76300,39	17/11/2017	05/12/2017	06/12/2017	0	17/12/2017
PC2 22	31/10/2017	01/11/2017	08/11/2017	76867,34	09/11/2017	06/12/2017	07/12/2017	0	19/12/2017
CAN 4	06/11/2017	07/11/2017	14/11/2017	70623,49	15/11/2017	14/12/2017	15/12/2017	0	25/12/2017
AUS 13	06/11/2017	07/11/2017	12/11/2017	76071,06	13/11/2017	18/12/2017	19/12/2017	0	31/12/2017
PC1 24	28/11/2017	29/11/2017	06/12/2017	80338,66	07/12/2017	23/12/2017	24/12/2017	0	06/01/2018
PC2 23	18/11/2017	19/11/2017	27/11/2017	81062,12	28/11/2017	25/12/2017	27/12/2017	1	09/01/2018
PC1 25	13/12/2017	14/12/2017	21/12/2017	79398,89	22/12/2017	07/01/2018	08/01/2018	0	21/01/2018
PC2 24	07/12/2017	08/12/2017	15/12/2017	77775,40	16/12/2017	12/01/2018	13/01/2018	0	25/01/2018
AUS 14	04/12/2017	05/12/2017	11/12/2017	72913,26	12/12/2017	16/01/2018	17/01/2018	0	28/01/2018
PC1 26	28/12/2017	29/12/2017	05/01/2018	82640,42	06/01/2018	22/01/2018	23/01/2018	0	04/02/2018
PC2 25	20/12/2017	21/12/2017	28/12/2017	74297,36	29/12/2017	24/01/2018	27/01/2018	2	07/02/2018

Fonte: Desenvolvido pelo autor

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Em uma etapa inicial, para cada um dos cenários de programação de navios na origem (sem buffer, com buffers de 20%, 25% e 33% do *Transit Time* e *buffer* fixo de 4 dias, 8 dias e 12 dias) foram feitas 10 rodadas de simulação, variando o argumento da função `random.seed()` para 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 e 55. Esta variação do argumento da função `random.seed()` tem por objetivo gerar resultados estatisticamente independentes nos resultados das simulações. As simulações geraram relatórios em Excel, como visto na Figura 14, cujos dados de tempo de espera foram convertidos em gráficos, permitindo uma análise visual do comportamento do tempo de espera. Os gráficos do tempo de espera para cada uma das operações, com os respectivos *seed*, são mostrados no Anexo E.

O Anexo C apresenta um relatório da simulação desta programação para cada uma das condições (sem buffer, buffer de 20% do TT, buffer de 25% do TT, buffer de 33% do TT e buffer fixo de 8 dias).

Em seguida, para cada uma das simulações, baseado nos relatórios obtidos, foi calculado o número médio de navios com *tardiness*, o tempo máximo de atraso, a média do tempo de espera e o tempo máximo de *earliness*, em dias, que são apresentados nas tabelas 3, 4, 5 e 6. Estes cálculos foram feitos para verificar as diferenças para as várias simulações, para verificarmos se a adoção do buffer representaria uma maior segurança no abastecimento da empresa.

Tabela 3 – Análise Comparativa entre as Simulações – Navios com *Tardiness*

Programação 1											
Navios Atrasados											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	20	18	29	23	26	21	46	14	34	13	24,4
buffer 20% TT	0	1	4	2	4	2	8	2	5	4	3,2
buffer 25% TT	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0,4
buffer 33% TT	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
buffer 4 dias	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1
buffer 8 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
buffer 12 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 4 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior Tardiness

Programação 1											
Tempo máximo de atraso											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	-3	-3	-7	-3	-3	-3	-5	-3	-4	-3	-3,7
buffer 20% TT	0	-1	-3	-2	-6	-2	-2	-2	-3	-2	-2,3
buffer 25% TT	0	0	0	-2	0	0	-4	-2	0	0	-0,8
buffer 33% TT	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1
buffer 4 dias	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-0,1
buffer 8 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
buffer 12 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 5 – Análise Comparativa entre as Simulações – Média do tempo de espera

Programação 1											
Tempo médio de espera para descarga											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	1,23	1,06	1,73	1,00	1,77	1,36	1,66	0,87	2,17	0,86	1,4
buffer 20% TT	1,18	1,57	1,31	1,61	2,32	1,62	2,16	1,40	1,57	1,36	1,6
buffer 25% TT	1,48	2,18	1,84	1,90	2,36	1,94	2,19	1,61	2,00	1,99	1,9
buffer 33% TT	1,87	2,82	1,92	2,47	2,48	1,87	2,39	1,71	2,43	2,71	2,3
buffer 4 dias	1,22	1,06	1,73	1,00	1,77	1,36	1,66	0,87	2,17	0,86	1,4
buffer 8 dias	1,22	1,06	1,73	1,00	1,77	1,36	1,66	0,87	2,17	0,86	1,4
buffer 12 dias	1,22	1,06	1,73	1,00	1,77	1,36	1,66	0,87	2,17	0,86	1,4

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 6 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior Earliness

Programação 1											
Tempo máximo de adiantamento											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	4	4	4	4	3	5	3	6	3	5	4,1
buffer 20% TT	10	9	8	10	10	9	10	12	11	12	10,1
buffer 25% TT	15	14	13	12	12	13	14	14	15	13	13,5
buffer 33% TT	16	16	16	15	15	16	16	17	17	16	16,0
buffer 4 dias	8	8	8	8	7	9	7	9	8	9	8,1
buffer 8 dias	12	12	12	12	11	13	11	13	12	13	12,1
buffer 12 dias	16	16	16	16	15	17	15	17	16	17	16,1

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Baseado nestas tabelas pode-se observar que houve uma redução significativa no *tardiness* com a adoção de *buffers*, sem elevação significativa no tempo de espera para descarga (menos de 1 dia a mais). Entretanto, é preciso definir o tamanho do buffer, de modo que não aumente muito o *earliness*.

Analisando as tabelas acima, a adoção de um buffer com 33% do Transit Time e de buffer fixo de 12 dias representa mais 15 dias de *earliness* em alguns embarques, o que torna inviável a adoção dos mesmos, em função da área física disponível para estocagem dos materiais.

Visando avaliar a consistência da adoção de buffer para redução do *tardiness* bem como o *earliness* decorrente desta adoção, foi criada uma segunda programação de descarga, alterando a frequência de recebimento dos navios da Austrália e Estados Unidos.

Para esta nova programação de descarga, foram feitas programações de navios na origem (sem buffer, com buffers de 20%, 25% e 33% do *Transit Time* e buffers fixos de 4 dias, 8 dias e 12 dias) e feitas 10 rodadas de simulação, variando o argumento da função `random.seed()` para 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 e 55.

Em seguida, para cada uma das simulações, foi calculado o número médio de navios com *tardiness*, o tempo máximo de atraso, a média do tempo de espera e o tempo máximo de *earliness*, que são apresentados nas tabelas 7, 8, 9 e 10. Estes cálculos foram feitos para verificar as diferenças para as várias simulações, para verificarmos se a adoção do buffer representaria uma maior segurança no abastecimento da empresa.

Tabela 7 – Análise Comparativa entre as Simulações – Navios com *Tardiness*

Programação 2											
Navios Atrasados											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	40	45	34	37	42	34	50	35	30	40	38,7
buffer 20% TT	1	6	0	8	7	1	1	8	5	2	3,9
buffer 25% TT	1	1	0	4	0	1	0	5	4	1	1,7
buffer 33% TT	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0,2
buffer 4 dias	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1
buffer 8 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
buffer 12 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 8 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior *Tardiness*

Programação 2											
Tempo máximo de atraso											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	-8	-8	-8	-13	-10	-6	-9	-13	-12	-10	-9,7
buffer 20% TT	-2	-3	0	-9	-4	-3	-1	-5	-3	-2	-3,2
buffer 25% TT	-1	-1	0	-6	0	-2	0	-3	-1	-1	-1,5
buffer 33% TT	0	0	0	-3	-1	0	0	0	0	0	-0,4
buffer 4 dias	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-0,1
buffer 8 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
buffer 12 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 9– Análise Comparativa entre as Simulações – Média do tempo de espera

Programação 2											
Tempo médio de espera para descarga											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	1,83	1,78	1,92	2,26	1,95	1,13	2,10	1,57	2,05	2,55	1,9
buffer 20% TT	2,25	1,92	1,77	2,10	1,95	1,13	1,57	1,97	2,05	2,40	1,9
buffer 25% TT	1,71	1,74	2,03	2,27	2,04	1,26	2,21	2,39	2,04	2,13	2,0
buffer 33% TT	1,92	1,60	1,88	2,55	2,23	1,51	2,27	1,94	2,35	1,60	2,0
buffer 4 dias	1,83	1,78	1,92	2,26	1,95	1,13	2,10	1,57	2,05	2,55	1,9
buffer 8 dias	1,83	1,78	1,92	2,26	1,95	1,13	2,10	1,57	2,05	2,55	1,9
buffer 12 dias	1,83	1,78	1,92	2,26	1,95	1,13	2,10	1,57	2,05	2,55	1,9

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 10 – Análise Comparativa entre as Simulações – Maior *Earliness*

Programação 2											
Tempo máximo de adiamento											
seed	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	média
sem buffer	5	5	4	6	3	5	4	5	4	5	4,6
buffer 20% TT	11	10	11	11	10	11	11	11	10	12	10,8
buffer 25% TT	13	13	12	13	11	12	12	15	13	13	12,7
buffer 33% TT	15	16	14	15	14	17	15	18	15	16	15,5
buffer 4 dias	9	9	8	10	7	9	8	9	8	9	8,6
buffer 8 dias	13	13	12	14	11	13	12	13	12	13	12,6
buffer 12 dias	17	17	16	18	15	17	16	17	16	17	16,6

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Como pode ser visto, também para esta segunda programação de descarga, com a adoção de buffer, existe uma redução significativa do número de navios com *tardiness*, sem alterar significativamente o tempo médio de espera para descarga. Também pode-se notar que o aumento no tamanho do buffer causa um maior *earliness*, o que não é muito recomendável em função da limitação do espaço físico para descarga.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em programações sem folga, como o caso das programações de descarga utilizadas, onde o início de descarga de um navio segue o término do anterior, a probabilidade de que haja atraso (*tardiness*) é grande. Ao se fazer a simulação, usando tempos não determinísticos, a quantidade de navios com *tardiness* variou de 30 a 70% dos embarques, como pode ser observado nas Tabelas 3 e 7.

Também pode ser observado nestas mesmas Tabelas que, nas duas programações de descarga de navios, a adoção de *buffers* de tempo para programação dos navios na origem reduz de forma significativa a quantidade de navios com *tardiness*.

Continuando a análise destas duas Tabelas, considerando tanto os *buffers* que variam em função *Transit Time* quanto os *buffers* fixos, fica claro que, quanto maior o tamanho do *buffer*, tanto menor a quantidade de navios com *tardiness*. Esta redução de navios com *tardiness*, não representa grande acréscimo no tempo de espera, como pode ser observado nas Tabelas 5 e 9, ou seja, não haveria um aumento significativo no custo de *demurrage* pela adoção de *buffers*.

O uso de *buffers* fixos apresentou melhores resultados do que os *buffers* que levam em conta o *Transit Time* nas duas programações propostas, com redução significativa de navios com *tardiness*, sem elevação do tempo de espera para descarga, como pode ser observado nas Tabelas 5 e 9 e redução no tempo máximo de atraso (Tabelas 4 e 8).

A escolha do tamanho do *buffer*, por outro lado, deve levar em consideração, também, o valor do *earliness* decorrente da adoção destes mesmos *buffers*, pois o espaço físico para descarga dos materiais é limitado. Em função disto, apesar da redução do número de navios com *tardiness* ser tanto maior quanto maior o tamanho do *buffer*, o *earliness* também aumenta, o que passa a ser uma preocupação e uma limitação para o tamanho dos mesmos.

No caso das duas programações estudadas, o recomendável seria a adoção do *buffer* fixo com tamanho correspondente a 4 dias, pois apresenta uma boa redução na quantidade de navios com *tardiness*, com o menor *earliness* entre os *buffers* propostos.

Quanto à assertividade da programação dos berços, no horizonte de planejamento, fica clara a necessidade de revisões constantes, em função da

variabilidade nas datas de chegada dos navios. Na prática, a programação dos berços é revisada semanalmente, para minimizar os impactos desta variabilidade.

6. CONCLUSÕES

6.1. SÍNTESE

Programações de recebimento de navios, quando não existe folga entre navios, ao se acrescentar variabilidades normais de processo, redundam em *tardiness* na maioria das descargas (de 30 a 50% dos navios em média).

A adoção de *buffers* de tempo, com o objetivo de reduzir o *tardiness*, se mostrou uma estratégia interessante, com redução significativa deste indicador.

Apesar de, em uma análise simplista, a adoção de *buffers* de tempo indicar um aumento no tempo de espera para descarga, pode-se verificar, através das simulações, que o aumento neste tempo médio não é significativo, se mantendo abaixo de 2 dias na média para cada cenário.

Pode-se observar, também, que a quantidade de navios com *tardiness* diminui com o aumento do tamanho do *buffer* adotado. Entretanto existe um efeito colateral de aumento do *earliness*, o que representa um problema, dado que a área de estocagem de matérias primas é limitada. Desta forma é necessário analisar este *trade-off* na hora de definir o tamanho de *buffer* mais adequado.

6.2. LIMITAÇÕES

O modelo de simulação desenvolvido considera que os três pontos de descarga apresentam a mesma capacidade de descarga. Entretanto, na prática, em função de limitações físicas e diferenças de equipamento, existem algumas diferenças.

Uma segunda limitação do modelo proposto é a consideração de fila média para carregamento dos navios. Verificou-se que, em função de condições climáticas, que essa fila apresenta variações sazonais. Esta sazonalidade deverá ser considerada em uma revisão futura do modelo.

Uma terceira limitação se refere ao modelo proposto não considerar o estoque físico de materiais, no término de cada descarga. A possibilidade de se conhecer o estoque físico ao término da descarga é uma ferramenta importante na definição do tamanho do *buffer* de tempo a ser adotado.

6.3. DESDOBRAMENTOS

Como desdobramento desta pesquisa, visando ampliar a aplicabilidade do estudo, deve-se desenvolver modelo de simulação que contemple:

- Capacidades de processamento (descarga) diferentes para cada ponto de atracação;
- Possibilidade de programação de fila no porto de origem, respeitando a sazonalidade;
- Modelo de controle de estoque físico acoplado, facilitando a decisão sobre o tamanho do buffer a ser adotado.

REFERÊNCIAS

- ALREFAEI, M. H. & ANDRADOTTIR, S.. **A New Search Algorithm for Discrete Stochastic Optimization**, Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, 236-241.
- AQLAN, F., LAM, S. S. & RAMAKRISHNAN, S., **An integrated simulation-optimization study for consolidating production lines in a configure-to-order production environment**. Int. J. Production Economics, 2014, 148, 51–61
- BABU, S., PRATAP, S., LAHOTI, G. et al. **Marit Minimizing delay of ships in bulk terminals by simultaneous ship scheduling, stockyard planning and train scheduling**. Econ Logist ;2015, 17, 464.
- BAUDIN, M., **Manufacturing Systems Analysis with Application to Production Scheduling**, (1990), Yourdon Press, Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- BISH, E.K. **A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal**. European Journal of Operations Research, 2003, pg. 83 -107
- BREITHAUPT, J.W., LAND, M.J. & NYHUIS, P., **The workload control concept: theory and practical extensions of load oriented order release**. Prod. Plan. Con., 2002, 13, 625–638.
- CARSON, Y. & MARIA, A. **Simulation Optimization: Methods and Applications**. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference
- CHANG, S.-H., PAI, P.-F., YUAN, K.-J., WANG, B.-C. and LI, R.-K., **Heuristic PAC model for hybrid MTO and MTS production environment**. Int. J. Prod. Econ., 2003, 85, 47–358.
- CANONACO, P.; LEGATO, P.; MAZZA R. M.; MUSMANNO, R. **A queuing network model for the management of berth crane operations**. Computers & Operations Research, 2008, pg. 2432 – 2446
- COOK, D.P., **A simulation comparison of traditional, JIT and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks**. Prod. and Inven. Manage., 1994, First Quarter, 73–78.
- CORDEAU, J.; LAPORTE, G.; LEGATO, P.; MOCCIA, L. **Models and Tabu Search Heuristics for the Berth-Allocation Problem**. Transportation Science, Vol. 39, No. 4, 2005, pg. 526 – 538
- DELEERSNYDER, J.-L., HODGSON, T. J., MULLER-MALEK, H. & O'GRADY, P. J., **Kanban Controlled Pull Systems: An Analytic Approach**. Management Science, 1989, 35, 1079–1091.
- DING, F.Y. & YUEN, M.N., **A modified MRP for a production system with the coexistence of MRP and Kanbans**. J. Oper. Manage., 1991, 10, 267–277.
- DUCLOS, L.K. & SPENCER, M.S., **The impact of a constraint buffer in a flow shop**. Int. J. Prod. Econ., 1995, 42, 175–185.
- ENNS, S.T., **An economic approach to job shop performance analysis**. Int. J. Prod. Econ., 1995, 38, 117–131.
- FLEISCHER, M. **Simulated Annealing: Past, Present, and Future**, Proceedings of

- the 1995 Winter Simulation Conference, 155-161.
- FOWLER, J.W., HOGG, G.L. & MASON, S.J., **Workload control in the semiconductor industry**. Prod. Plan. Con., 2002, 13, 568–578.
- GEORGIADIS, P., POLITOU, A., **Dynamic Drum-Buffer-Rope approach for production planning and control in capacitated flow-shop manufacturing systems**. Computers & Industrial Engineering, 2013, 65, 689–703
- GLOVER, F., **Tabu Search - Part I**, ORSA Journal on Computing, Vol. 1, No. 3, 1989.
- GLOVER, F., **Tabu Search - Part II**, ORSA Journal on Computing, Vol. 2, No. 1, 1990.
- GOLDBERG, D., **Genetic Algorithms in Search**, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, 1989.
- GOLDRATT, E. M. (1988). **Computerized shop floor scheduling**. International Journal of Production Research, 26(3), 443–455.
- GOLDRATT, E.M., **What is This Thing Called Theory of Constraints and How Should it be Implemented?**, 1990, North River Press: New York.
- GOLMOHAMMADI, D. **A study of scheduling under the theory of constraints**. Int. J. Production Economics, 2015, pg 38 – 50
- GRUNWALD, H., STRIEKWOLD, P.E.T. and WEEDA, P.J., **A framework for quantitative comparison of production control concepts**. Int. J. Prod. Res., 1989, 27, 281–292.
- HALL, J. D., & BOWDEN R. O., **Simulation Optimization for a Manufacturing Problem**, Proceedings of the Southeastern Simulation Conference Huntsville, AL, Society for Computer Simulation, 1996, 135-140.
- HOLLAND, J. H., **Genetic Algorithms**, Scientific American, 1992, July, 66-72.
- HOPP, W.J. & SPEARMAN, M.L. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**. 2000, second ed. Irwin/McGraw-Hill, New York.
- HUANG, G. CHEN, J. WANG, X. & SHI, Y. **A simulation study of CONWIP assembly with multi-loop in mass production, multi-products and low volume and OKP environments**. International Journal of Production Research, 2015, 53, 4160-4175
- IMAI, A., NAGAIWA, K., CHAN, W.T., **Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia**. Journal of Advanced Transportation, 1997, pg. 75 - 94.
- IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. **The dynamic berth allocation problem for a container port**. Transportation Research Part B, 2001, pg. 401 - 417
- IMAI, A.; NISHIMURA, E. & PAPADIMITRIOU, S., **Berth allocation with service priority**. Transportation Research Part B, 2003, pg. 437-457.
- IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. **Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity**. Transportation Research Part E, 2008, pg. 136 –151
- KIRKPATRICK, S., C. D. GELATT, Jr. & VECCHI, M. P., **Optimization by Simulated Annealing**, Science, 1983, 221, 671-680

- LAND, M.J. & GAALMAN, G., **Workload control concepts in job shops—a critical assessment**. Int. J. Prod. Econ., 1996, 46/47, 535–548.
- LÖDDING, H., YU K.W. & WIENDAHL, H.P. **Decentralized WIP oriented manufacturing control (DEWIP)**. Production Planning & Control, 2003, 14, 42–54,
- LUTZ, C. M.. **Determination of Buffer Size and Location in Scheduling Systems Buffer Management, Inventory Profiles**, PhD Dissertation, University of Georgia, 1995.
- MABIN, V.J. & BALDERSTONE, S.J., **The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications**. Int. J. Op. and Prod. Manage., 2003, 23, 568–595.
- MATSUURA, H., KUROSU, S. & LEHTIMAKI, A., **Concepts, practices and expectations of MRP, JIT and OPT in Finland and Japan**. Int. J. Prod. Econ., 1995, 41, 267–272.
- METROPOLIS, N., ROSENBLUTH, A., ROSENBLUTH, M., TELLER, A. & TELLER, E. **Equation of State Calculations by Fast Computing Machines**, Journal of Chemical Physic, 1953, 21, 1087-1092.
- MORITO, S., LEE, K. H., MIZOGUCHI, K. & AWANE, H.. **Exploration of a Minimum Tardiness Dispatching Priority for a Flexible Manufacturing System - a Combined Simulation/Optimization Approach**, Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference.
- NISHIMURA, E.; IMAI, A.; PAPADIMITRIOU, S. **Berth allocation planning in a public berth system by genetic algorithmis**. European Journal of Operations Research, 2001, pg. 282 -282
- PETTERSEN, Jean-Arn & SEGERSTEDT. Arnes. **Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP**. Int. J. Production Economics, 2009, 118, 199–207
- PLENERT, G., **Focusing material requirements planning (MRP) towards performance**. European J. Op. Res., 1999, 119, 91–99.
- PLENERT, G. & BEST, T.D., **MRP, JIT and OPT: what's 'best'?** Prod. and Invent. Manage., 1986, Second Quarter, 22–29.
- RAHMAN, S., **Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications**. Int. J. Op. and Prod. Manage., 1998, 18, 336–355.
- RAMSAY, M.L., **Push, pull and squeeze shop floor control with computer simulation**. Ind. Eng., 1990, 22, 39–45.
- RIEZEBOS, J., KORTE, G.J. & LAND, M.L., **Enhancing a Theory of Constraints (TOC) application using workload control principles**. Int. Work. Semi. on Prod. Econ., Pre-Prints, 2002, 1, 241-262.
- SCHWEFEL, H. P., **Evolution and Optimum Seeking**, John Wiley, 1995.
- SCHRAGENHEIM, E., COX, J., RONEN, B.. **Process flow industry—scheduling and control using theory of constraints**. Internacional Journal of Production Research, 1994, pg.1867–1877.
- SCHRAGENHEIM, E., & RONEN, B. (1990). **Drum-Buffer shop floor control**.

- Production and Inventory Management Journal, 31(3), 18–23.
- SCHRAGENHEIM, E., & RONEN, B. (1991). **Buffer management: A diagnostic tool for production control**. Production and Inventory Management Journal, 32(2), 74–79.
- SIVASUBRAMANIAN, R., SELLADURAI, V., & RAJAMRAMASAMY, N.. **The effect of the Drum-Buffer-Rope (DBR) approach on the performance of a synchronous manufacturing system (SMS)**. Production Planning and Control, 2000, 11, 820–824.
- SMITH, J.S. **Survey on the use o simulation for manufacturing system design and operation**. Journal of Manufacturing Systems. v.22, n.2, p.157-171, 2003.
- SOMAN, C.A., VAN DONK, D.P. & GAALMAN, G., **Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system**. Int. J. Prod. Econ., 2004
- SONG, D.P. **Threshold-type Control Policies and System Stability for Serial Supply Chain Systems**. In Optimal Control and Optimization of Stochastic Supply Chain Systems, 2013, 131–148. New York: Springer.
- SPEARMAN, M.L., HOPP, W.J. & WOODRUFF, D.L., **A hierarchical control architecture for CONWIP production systems**. J. Manuf. and Oper. Manage., 1989, 2, 147–171.
- SPEARMAN, M.L., WOODRUFF, D.L. & HOPP, W.J. **CONWIP: A pull alternative to Kanban**. International Journal of Production Research, 1990, 28, 879–894.
- SPEARMAN, M. L., & M. A. ZAZANIS. **Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons**. Operations Research, 1992, 40, 521–532.
- SPENCER, M.S., COX, J.. **Master production scheduling development in a theory of constraints environment**. Production and Inventory Management Journal, 1995, pg. 8–14.
- STEVENSON, M., HENDRY, L.C., & KINGSMAN, B.G. **A review of production planning and control: The applicability of key concepts to the make to order industry**. International Journal of Production Research, 2005, 43, 869–898.
- STUCKMAN, B., EVANS, G. & MOLLAGHASEMI, M.. **Comparison of Global Search Methods for Design Optimization Using Simulation**, Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference, 937-944.
- SÜFFERT, T. **Carvão nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina - Porto Alegre** : CPRM, 1997.

APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM PYTHON.

```

import random
import simpy
import xlwings as xw
Tab1 = []
Tab2 = []
m = 0

class Navio(object):
    def __init__(self, env, nome, origem, sequencia, ETA_OP, ETA_O, I_carga,
carga, T_carga, I_viagem, ETA_P, I_descarga, T_espera, F_descarga):
        self.nome = nome
        self.origem = origem
        self.sequencia = sequencia
        self.ETA_OP = ETA_OP
        self.ETA_O = ETA_O
        self.I_carga = I_carga
        self.carga = carga
        self.T_carga = T_carga
        self.I_viagem = I_viagem
        self.ETA_P = ETA_P
        self.I_descarga = I_descarga
        self.T_espera = T_espera
        self.F_descarga = F_descarga

def cheganavios(env):
    wb = xw.Book(r'C:\Users\carlos.duarte\Programacao 1.xlsx')
    Tab1 = xw.Range('a2:d78').value
    n = len(Tab1)
    print(n)
    r=0
    for i in range(n):
        nome = Tab1[i][0]
        origem = Tab1[i][1]
        sequencia = Tab1[i][2]
        ETA_OP = Tab1[i][3]
        delay = ETA_OP - r
        r = ETA_OP
        ETA_O = 0
        I_carga = 0
        carga = 0
        T_carga = 0
        I_viagem = 0
        ETA_P = 0
        I_descarga = 0
        T_espera = 0
        F_descarga = 0
        yield env.timeout(delay)

```

```

        navio = Navio(env, nome, origem, sequencia, ETA_OP, ETA_O, I_carga,
carga, T_carga, I_viagem, ETA_P, I_descarga, T_espera, F_descarga)
        if (origem == 1):
            env.process(viagem_USA(env, navio))
        elif (origem == 2):
            env.process(viagem_CAN(env, navio))
        elif (origem == 3):
            env.process(viagem_AUS(env, navio))
        elif (origem == 4):
            env.process(viagem_MOZ(env, navio))
        elif (origem == 5):
            env.process(viagem_PC1(env, navio))
        else:
            env.process(viagem_PC2(env, navio))
def viagem_USA(env, navio):
    navio.ETA_O = navio.ETA_OP + int((random.random()-0.5)*5)
    print('ETA Origem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O)
    taxa_carga = 5 + int((random.random()-0.50)*2)
    navio.I_carga = navio.ETA_O + 1
    print('I_Carga', navio.nome, navio.I_carga)
    navio.T_carga = navio.I_carga + taxa_carga
    navio.carga = 75000 + (random.random()-0.5)*7500
    print('F_Carga', navio.nome, navio.T_carga, 'carga =', navio.carga)
    navio.I_viagem = navio.T_carga + 1
    taxa_viagem = 26 + int((random.random()-0.50)*5)
    print('I_Viagem', navio.nome, navio.sequencia, navio.I_viagem)
    navio.ETA_P = navio.I_viagem + taxa_viagem
    print('ETA Pecem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_P)
    yield env.timeout(2+taxa_carga+taxa_viagem+navio.ETA_O-navio.ETA_OP)
    env.process(descarga(env, navio))

def viagem_CAN(env, navio):
    navio.ETA_O = navio.ETA_OP + int((random.random()-0.5)*5)
    print('ETA Origem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O)
    taxa_carga = 5 + int((random.random()-0.50)*2)
    navio.I_carga = navio.ETA_O + 1
    print('I_Carga', navio.nome, navio.I_carga)
    navio.T_carga = navio.I_carga + taxa_carga
    navio.carga = 70000 + (random.random()-0.5)*7000
    print('F_Carga', navio.nome, navio.T_carga, 'carga =', navio.carga)
    navio.I_viagem = navio.T_carga + 1
    taxa_viagem = 28 + int((random.random()-0.50)*5)
    print('I_Viagem', navio.nome, navio.sequencia, navio.I_viagem)
    navio.ETA_P = navio.I_viagem + taxa_viagem
    print('ETA Pecem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_P)
    yield env.timeout(2+taxa_carga+taxa_viagem+navio.ETA_O-navio.ETA_OP)
    env.process(descarga(env, navio))

```

```

def viagem_AUS(env, navio):
    navio.ETA_O = navio.ETA_OP + int((random.random()-0.5)*5)
    print('ETA Origem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O)
    taxa_carga = 5 + int((random.random()-0.50)*2)
    navio.I_carga = navio.ETA_O + 1
    print('I_Carga', navio.nome, navio.I_carga)
    navio.T_carga = navio.I_carga + taxa_carga
    navio.carga = 75000 + (random.random()-0.5)*7500
    print('F_Carga', navio.nome, navio.T_carga, 'carga =', navio.carga)
    navio.I_viagem = navio.T_carga + 1
    taxa_viagem = 33 + int((random.random()-0.50)*5)
    print('I_Viagem', navio.nome, navio.sequencia, navio.I_viagem)
    navio.ETA_P = navio.I_viagem + taxa_viagem
    print('ETA Pecem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_P)
    yield env.timeout(2+taxa_carga+taxa_viagem+navio.ETA_O-navio.ETA_OP)
    env.process(descarga(env, navio))

```

```

def viagem_MOZ(env, navio):
    navio.ETA_O = navio.ETA_OP + int((random.random()-0.5)*5)
    print('ETA Origem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O)
    taxa_carga = 7 + int((random.random()-0.50)*2)
    navio.I_carga = navio.ETA_O + 1
    print('I_Carga', navio.nome, navio.I_carga)
    navio.T_carga = navio.I_carga + taxa_carga
    navio.carga = 70000 + (random.random()-0.5)*7000
    print('F_Carga', navio.nome, navio.T_carga, 'carga =', navio.carga)
    navio.I_viagem = navio.T_carga + 1
    taxa_viagem = 18 + int((random.random()-0.50)*5)
    print('I_Viagem', navio.nome, navio.sequencia, navio.I_viagem)
    navio.ETA_P = navio.I_viagem + taxa_viagem
    print('ETA Pecem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_P)
    yield env.timeout(2+taxa_carga+taxa_viagem+navio.ETA_O-navio.ETA_OP)
    env.process(descarga(env, navio))

```

```

def viagem_PC1(env, navio):
    navio.ETA_O = navio.ETA_OP + int((random.random()-0.5)*5)
    print('ETA Origem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O)
    taxa_carga = 5 + int((random.random()-0.50)*2)
    navio.I_carga = navio.ETA_O + 1
    print('I_Carga', navio.nome, navio.I_carga)
    navio.T_carga = navio.I_carga + taxa_carga
    navio.carga = 80000 + (random.random()-0.5)*8000
    print('F_Carga', navio.nome, navio.T_carga, 'carga =', navio.carga)
    navio.I_viagem = navio.T_carga + 1
    taxa_viagem = 16 + int((random.random()-0.50)*5)
    print('I_Viagem', navio.nome, navio.sequencia, navio.I_viagem)
    navio.ETA_P = navio.I_viagem + taxa_viagem
    print('ETA Pecem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_P)

```

```
yield env.timeout(2+taxa_carga+taxa_viagem+navio.ETA_O-navio.ETA_OP)
env.process(descarga(env, navio))
```

```
def viagem_PC2(env, navio):
    navio.ETA_O = navio.ETA_OP + int((random.random()-0.5)*5)
    print('ETA Origem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O)
    taxa_carga = 7 + int((random.random()-0.50)*2)
    navio.l_carga = navio.ETA_O + 1
    print('l_Carga', navio.nome, navio.l_carga)
    navio.T_carga = navio.l_carga + taxa_carga
    navio.carga = 78000 + (random.random()-0.5)*7800
    print('F_Carga', navio.nome, navio.T_carga, 'carga =', navio.carga)
    navio.l_viagem = navio.T_carga + 1
    taxa_viagem = 26 + int((random.random()-0.50)*5)
    print('l_Viagem', navio.nome, navio.sequencia, navio.l_viagem)
    navio.ETA_P = navio.l_viagem + taxa_viagem
    print('ETA Pecem', navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_P)
    yield env.timeout(2+taxa_carga+taxa_viagem+navio.ETA_O-navio.ETA_OP)
    env.process(descarga(env, navio))
```

```
def descarga(env, navio):
    global m
    global Tab2
    atendReq = Pecem.request()
    yield atendReq
    yield env.timeout(0)
    print(env.now)
    m = m+1
    navio.l_descarga = env.now
    navio.T_espera = navio.l_descarga - navio.ETA_P - 1
    v_media = 6300
    taxa_descarga= int(navio.carga/(v_media + (random.random()-
0.50)*v_media*0.2))
    print('l_Descarga', navio.nome, 'ETB =', env.now, 'Tempo espera
=',navio.T_espera)
    yield env.timeout(taxa_descarga)
    navio.F_descarga=env.now
    descarga = env.now - navio.l_descarga
    print('F_descarga ', navio.nome, env.now, 'Tempo de descarga =', descarga)
    yield env.timeout(1)
    #Tab1 = xw.Range('A2').table.value
    Pecem.release(atendReq)
    Tab2.append([navio.nome, navio.sequencia, navio.ETA_O, navio.l_carga,
navio.T_carga, navio.carga, navio.l_viagem, navio.ETA_P, navio.l_descarga,
navio.T_espera, navio.F_descarga])
    random.seed(10)
    env = simpy.Environment()
    Pecem = simpy.Resource(env, capacity=3)
```

```
env.process(chegadanaivos(env))  
env.run()  
xw.Range('h2').value = Tab2
```


APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO OTIMIZADOR DE PROGRAMAÇÃO EM PYTHON.

```

import pulp
import xlwings as xw

model = pulp.LpProblem('MP3', pulp.LpMinimize)

n=24 # jobs
m=3  # máquinas
Prog = []

wb = xw.Book(r'C:\Users\carlos.duarte\Descarga.xlsx')
maqs=['M1','M2','M3']

jobs=['PC101','MOZ01','USA01','CAN01','PC201','AUS01','PC202','PC102','PC203','A
US02','PC103','PC204','PC104','AUS03','PC205','PC105','PC206','AUS04','PC106','P
C107','PC207','USA02','PC208','PC108']

p={'PC101': 13,'MOZ01': 15,'USA01': 22,'CAN01': 11,'PC201': 12,'AUS01':
12,'PC202': 12,'PC102': 13,'PC203': 12,'AUS02': 12,'PC103': 13,'PC204': 12,'PC104':
13,'AUS03': 12,'PC205': 12,'PC105': 13,'PC206': 12,'AUS04': 12,'PC106': 13,'PC107':
13,'PC207': 12,'USA02': 12,'PC208': 12,'PC108': 13}

d={'PC101': 13,'MOZ01': 15,'USA01': 22,'CAN01': 25,'PC201': 28,'AUS01':
38,'PC202': 41,'PC102': 36,'PC203': 51,'AUS02': 63,'PC103': 50,'PC204': 64,'PC104':
55,'AUS03': 76,'PC205': 77,'PC105': 69,'PC206': 89,'AUS04': 96,'PC106': 83,'PC107':
91,'PC207': 102,'USA02': 109,'PC208': 115,'PC108': 105}

# Variáveis
x = pulp.LpVariable.dicts('x', (jobs, range(m), range(n)), cat='Binary')
t = pulp.LpVariable.dicts('t', (range(m), range(n)), lowBound=0, cat='Integer')
tm = pulp.LpVariable.dicts('tm', (range(m)), lowBound=0, cat='Integer')

# Objetivo
model += pulp.lpSum([tm[k] for k in range(m)])

# Restrições
for job in jobs:

```

```

model += pulp.lpSum([x[job][0][j] for j in range(n)]) <= 1
model += pulp.lpSum([x[job][1][j] for j in range(n)]) <= 1
model += pulp.lpSum([x[job][2][j] for j in range(n)]) <= 1
model += pulp.lpSum([x[job][0][j] for j in range(n)]) + pulp.lpSum([x[job][1][j] for j in
range(n)]) +pulp.lpSum([x[job][2][j] for j in range(n)]) == 1

```

```

for j in range(n):

```

```

    model += pulp.lpSum([x[job][0][j] for job in jobs]) <= 1
    model += pulp.lpSum([x[job][1][j] for job in jobs]) <= 1
    model += pulp.lpSum([x[job][2][j] for job in jobs]) <= 1

```

```

for j in range(n):

```

```

    model += t[0][j] >= pulp.lpSum([p[job]*pulp.lpSum([x[job][0][u] for u in range(j+1)])
for job in jobs]) - pulp.lpSum([d[job]*x[job][0][j] for job in jobs])
    model += t[1][j] >= pulp.lpSum([p[job]*pulp.lpSum([x[job][1][u] for u in range(j+1)])
for job in jobs]) - pulp.lpSum([d[job]*x[job][1][j] for job in jobs])
    model += t[2][j] >= pulp.lpSum([p[job]*pulp.lpSum([x[job][2][u] for u in range(j+1)])
for job in jobs]) - pulp.lpSum([d[job]*x[job][2][j] for job in jobs])

```

```

for j in range(n):

```

```

    model += tm[0] - pulp.lpSum(t[0][j]) == 0
    model += tm[1] - pulp.lpSum(t[1][j]) == 0
    model += tm[2] - pulp.lpSum(t[2][j]) == 0

```

```

print(model)

```

```

model.solve()

```

```

pulp.LpStatus[model.status]

```

```

for var in model.variables():

```

```

    print(var.name, "=", var.varValue)

```

```

    if var.varValue == 1.0:

```

```

        Prog.append(var.name)

```

```
print(Prog)
xw.Range('a2').value = Prog
print("Atraso Total = ",pulp.value(model.objective))
```

APÊNDICE C – EXEMPLOS DE RELATÓRIOS DE SIMULAÇÃO

Programação 1 sem buffer (seed 10)

Origem	Sequencia	ETA Origem	Inicio da Carga	Termino da Carga	Quantidade de Carga	Inicio Viagem	ETA Pecem	Inicio Descarga	Tempo de Espera	Término Descarga	Diferença Pecem	Diferença Fim de Descarga
AUS	1	17/01/2017	18/01/2017	23/01/2017	76312,2364	24/01/2017	26/02/2017	26/02/2017	0	09/03/2017	0	6
AUS	2	11/02/2017	12/02/2017	19/02/2017	72423,1419	20/02/2017	25/03/2017	25/03/2017	0	05/04/2017	-2	4
AUS	3	23/02/2017	24/02/2017	03/03/2017	71974,5437	04/03/2017	06/04/2017	06/04/2017	0	17/04/2017	-1	5
AUS	4	17/03/2017	18/03/2017	24/03/2017	73060,5618	25/03/2017	28/04/2017	28/04/2017	0	09/05/2017	-3	3
AUS	5	16/04/2017	17/04/2017	23/04/2017	76402,6496	24/04/2017	28/05/2017	29/05/2017	1	11/06/2017	-1	2
AUS	6	08/05/2017	09/05/2017	14/05/2017	78098,2398	15/05/2017	19/06/2017	20/06/2017	1	02/07/2017	-3	1
AUS	7	27/05/2017	28/05/2017	03/06/2017	71776,295	04/06/2017	07/07/2017	10/07/2017	3	20/07/2017	-2	2
AUS	8	15/06/2017	16/06/2017	22/06/2017	73227,1655	23/06/2017	26/07/2017	29/07/2017	3	10/08/2017	-1	1
AUS	9	14/07/2017	15/07/2017	22/07/2017	71370,3609	23/07/2017	25/08/2017	25/08/2017	0	06/09/2017	-4	1
AUS	10	04/08/2017	05/08/2017	10/08/2017	72433,0178	11/08/2017	14/09/2017	16/09/2017	2	28/09/2017	-1	2
AUS	11	05/09/2017	06/09/2017	11/09/2017	78355,3864	12/09/2017	15/10/2017	17/10/2017	2	30/10/2017	0	2
AUS	12	10/09/2017	11/09/2017	16/09/2017	72471,0704	17/09/2017	20/10/2017	24/10/2017	4	03/11/2017	0	3
AUS	13	17/10/2017	18/10/2017	23/10/2017	77717,2238	24/10/2017	27/11/2017	29/11/2017	2	12/12/2017	-3	-1
AUS	14	03/11/2017	04/11/2017	10/11/2017	74390,5433	11/11/2017	15/12/2017	15/12/2017	0	26/12/2017	-2	4
AUS	15	16/11/2017	17/11/2017	22/11/2017	74504,8481	23/11/2017	27/12/2017	27/12/2017	0	07/01/2018	-1	5
CAN	1	01/01/2017	02/01/2017	09/01/2017	71074,3077	10/01/2017	07/02/2017	07/02/2017	0	19/02/2017	-3	1
CAN	2	16/04/2017	17/04/2017	23/04/2017	72866,7842	24/04/2017	22/05/2017	22/05/2017	0	02/06/2017	-1	4
CAN	3	04/07/2017	05/07/2017	12/07/2017	66614,2247	13/07/2017	10/08/2017	12/08/2017	2	22/08/2017	-3	3
CAN	4	01/11/2017	02/11/2017	09/11/2017	68228,5114	10/11/2017	08/12/2017	13/12/2017	5	24/12/2017	-1	-1
MOZ	1	17/01/2017	18/01/2017	25/01/2017	72521,1273	26/01/2017	14/02/2017	14/02/2017	0	25/02/2017	-3	2
MOZ	2	16/08/2017	17/08/2017	25/08/2017	71557,9132	26/08/2017	15/09/2017	18/09/2017	3	28/09/2017	-4	-1
PC1	1	26/01/2017	27/01/2017	03/02/2017	80906,6146	04/02/2017	20/02/2017	20/02/2017	0	03/03/2017	-4	-1
PC1	2	16/02/2017	17/02/2017	22/02/2017	82543,8629	23/02/2017	12/03/2017	15/03/2017	3	28/03/2017	1	0
PC1	4	20/02/2017	21/02/2017	27/02/2017	78993,3985	28/02/2017	17/03/2017	18/03/2017	1	29/03/2017	-1	3
PC1	3	03/03/2017	04/03/2017	09/03/2017	76955,86	10/03/2017	26/03/2017	29/03/2017	3	10/04/2017	0	0
PC1	5	07/03/2017	08/03/2017	15/03/2017	82220,0911	16/03/2017	01/04/2017	01/04/2017	0	14/04/2017	-2	1
PC1	6	21/03/2017	22/03/2017	28/03/2017	76502,189	29/03/2017	14/04/2017	15/04/2017	1	26/04/2017	-1	3
PC1	7	10/04/2017	11/04/2017	16/04/2017	76741,9472	17/04/2017	03/05/2017	03/05/2017	0	14/05/2017	0	4
PC1	8	14/04/2017	15/04/2017	20/04/2017	79669,1223	21/04/2017	07/05/2017	07/05/2017	0	18/05/2017	-2	3
PC1	9	12/05/2017	13/05/2017	18/05/2017	81360,0105	19/05/2017	04/06/2017	04/06/2017	0	18/06/2017	-2	-1
PC1	10	14/05/2017	15/05/2017	20/05/2017	78798,9495	21/05/2017	06/06/2017	06/06/2017	0	19/06/2017	-2	1
PC1	11	23/05/2017	24/05/2017	30/05/2017	79387,8944	31/05/2017	17/06/2017	19/06/2017	2	02/07/2017	-2	-1
PC1	13	21/06/2017	22/06/2017	27/06/2017	79574,1246	28/06/2017	14/07/2017	17/07/2017	3	28/07/2017	-1	1
PC1	12	21/06/2017	22/06/2017	28/06/2017	82408,7758	29/06/2017	15/07/2017	17/07/2017	2	29/07/2017	-1	0
PC1	14	13/07/2017	14/07/2017	19/07/2017	80575,1556	20/07/2017	05/08/2017	05/08/2017	0	16/08/2017	-2	2
PC1	15	30/07/2017	31/07/2017	05/08/2017	80521,4338	06/08/2017	24/08/2017	24/08/2017	0	04/09/2017	-2	1
PC1	16	09/08/2017	10/08/2017	15/08/2017	83367,8586	16/08/2017	02/09/2017	02/09/2017	0	15/09/2017	-3	-1
PC1	17	13/08/2017	14/08/2017	19/08/2017	77164,0718	20/08/2017	07/09/2017	07/09/2017	0	19/09/2017	-2	2
PC1	18	27/08/2017	28/08/2017	03/09/2017	83797,2612	04/09/2017	22/09/2017	22/09/2017	0	05/10/2017	-3	0
PC1	19	11/09/2017	12/09/2017	17/09/2017	82218,5291	18/09/2017	06/10/2017	11/10/2017	5	23/10/2017	-3	-4
PC1	20	30/09/2017	01/10/2017	07/10/2017	83131,6513	08/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	0	05/11/2017	0	3
PC1	21	14/10/2017	15/10/2017	20/10/2017	77742,7705	21/10/2017	06/11/2017	06/11/2017	0	19/11/2017	0	2
PC1	22	21/10/2017	22/10/2017	27/10/2017	82697,6741	28/10/2017	13/11/2017	14/11/2017	1	28/11/2017	-1	0
PC1	23	07/11/2017	08/11/2017	13/11/2017	82165,7891	14/11/2017	02/12/2017	02/12/2017	0	16/12/2017	0	1
PC1	25	23/11/2017	24/11/2017	29/11/2017	79010,6153	30/11/2017	16/12/2017	17/12/2017	1	28/12/2017	0	4
PC1	24	29/11/2017	30/11/2017	05/12/2017	76564,4499	06/12/2017	22/12/2017	25/12/2017	3	05/01/2018	-1	0
PC1	26	05/12/2017	06/12/2017	12/12/2017	77126,3004	13/12/2017	29/12/2017	29/12/2017	0	09/01/2018	1	6
PC2	1	12/01/2017	13/01/2017	20/01/2017	76049,9741	21/01/2017	18/02/2017	18/02/2017	0	01/03/2017	-2	4
PC2	3	19/01/2017	20/01/2017	28/01/2017	75137,2295	29/01/2017	26/02/2017	02/03/2017	4	14/03/2017	-3	-1
PC2	2	23/01/2017	24/01/2017	31/01/2017	81439,8177	01/02/2017	27/02/2017	04/03/2017	5	17/03/2017	2	1
PC2	4	03/02/2017	04/02/2017	11/02/2017	78382,061	12/02/2017	10/03/2017	10/03/2017	0	22/03/2017	-1	5
PC2	5	04/03/2017	05/03/2017	12/03/2017	77329,8305	13/03/2017	08/04/2017	11/04/2017	3	23/04/2017	-2	0
PC2	6	14/03/2017	15/03/2017	22/03/2017	79658,071	23/03/2017	18/04/2017	18/04/2017	0	30/04/2017	0	5
PC2	7	15/03/2017	16/03/2017	23/03/2017	77594,8362	24/03/2017	20/04/2017	24/04/2017	4	05/05/2017	-1	2
PC2	8	11/04/2017	12/04/2017	19/04/2017	74375,4791	20/04/2017	16/05/2017	16/05/2017	0	28/05/2017	-2	3
PC2	9	12/04/2017	13/04/2017	20/04/2017	79764,4786	21/04/2017	19/05/2017	19/05/2017	0	31/05/2017	-2	4
PC2	10	07/05/2017	08/05/2017	15/05/2017	80798,9955	16/05/2017	12/06/2017	12/06/2017	0	24/06/2017	-3	2
PC2	11	17/05/2017	18/05/2017	25/05/2017	81897,6447	26/05/2017	23/06/2017	25/06/2017	2	09/07/2017	-1	0
PC2	13	23/05/2017	24/05/2017	31/05/2017	76941,7393	01/06/2017	28/06/2017	03/07/2017	5	16/07/2017	-1	-1
PC2	12	25/05/2017	26/05/2017	02/06/2017	78856,2293	03/06/2017	01/07/2017	03/07/2017	2	16/07/2017	-2	0
PC2	14	14/06/2017	15/06/2017	23/06/2017	76303,3799	24/06/2017	21/07/2017	21/07/2017	0	02/08/2017	-3	3
PC2	15	03/07/2017	04/07/2017	12/07/2017	78860,389	13/07/2017	08/08/2017	11/08/2017	3	23/08/2017	-1	1
PC2	16	08/07/2017	09/07/2017	18/07/2017	81398,7388	19/07/2017	14/08/2017	17/08/2017	3	30/08/2017	0	2
PC2	17	29/07/2017	30/07/2017	08/08/2017	81547,0215	09/08/2017	04/09/2017	05/09/2017	1	17/09/2017	-3	0
PC2	19	22/08/2017	23/08/2017	30/08/2017	77476,6011	31/08/2017	26/09/2017	29/09/2017	3	10/10/2017	-3	0
PC2	18	20/08/2017	21/08/2017	30/08/2017	76778,113	31/08/2017	27/09/2017	29/09/2017	2	11/10/2017	-1	2
PC2	21	01/09/2017	02/09/2017	09/09/2017	74489,2054	10/09/2017	06/10/2017	06/10/2017	0	16/10/2017	0	8
PC2	20	06/09/2017	07/09/2017	14/09/2017	75478,5973	15/09/2017	12/10/2017	12/10/2017	0	23/10/2017	-3	3
PC2	22	26/09/2017	27/09/2017	06/10/2017	75023,3532	07/10/2017	02/11/2017	04/11/2017	2	17/11/2017	0	3
PC2	24	12/10/2017	13/10/2017	21/10/2017	74195,3187	22/10/2017	17/11/2017	18/11/2017	1	29/11/2017	-1	5
PC2	23	13/10/2017	14/10/2017	21/10/2017	79068,53	22/10/2017	17/11/2017	20/11/2017	3	01/12/2017	0	3
PC2	25	26/10/2017	27/10/2017	04/11/2017	81796,4551	05/11/2017	01/12/2017	01/12/2017	0	14/12/2017	-1	4
PC2	26	27/11/2017	28/11/2017	05/12/2017	78994,2545	06/12/2017	01/01/2018	06/01/2018	5	17/01/2018	0	1
USA	1	26/12/2016	27/12/2016	01/01/2017	75585,6848	02/01/2017	28/01/2017	28/01/2017	0	09/02/2017	0	9
USA	2	06/04/2017	07/04/2017	13/04/2017	74924,2182	14/04/2017	10/05/2017	10/05/2017	0	21/05/2017	-1	4
USA	3	24/06/2017	25/06/2017	02/07/2017	78692,6206	03/07/2017	30/07/2017	30/07/2017	0	11/08/2017	-4	0
USA	4	26/09/2017	27/09/2017	03/10/2017	77924,751	04/10/2017	30/10/2017	31/10/2017	1	13/11/2017	-1	1

Programação 1 buffer 20% TT (seed 10)

Origem	Sequencia	ETA Origem	Início da Carga	Termينو da Carga	Quantidade e de Carga	Início Viagem	ETA Pecem	Início Descarga	Tempo de Espera	Término Descarga	Diferença Pecem	Diferença Fim de Descarga
MOZ	1	08/01/2017	09/01/2017	16/01/2017	04/03/2210	17/01/2017	04/02/2017	04/02/2017	0	16/02/2017	0	0
USA	1	08/01/2017	09/01/2017	14/01/2017	25/03/2217	15/01/2017	12/02/2017	12/02/2017	0	23/02/2017	-2	0
PC1	1	09/01/2017	10/01/2017	17/01/2017	01/06/2239	18/01/2017	03/02/2017	03/02/2017	0	16/02/2017	-3	-2
CAN	1	12/01/2017	13/01/2017	18/01/2017	31/07/2215	19/01/2017	17/02/2017	17/02/2017	4	28/02/2017	-3	-2
PC2	1	12/01/2017	13/01/2017	20/01/2017	25/04/2234	21/01/2017	16/02/2017	17/02/2017	0	01/03/2017	0	0
AUS	1	17/01/2017	18/01/2017	24/01/2017	30/10/2214	25/01/2017	01/03/2017	01/03/2017	0	13/03/2017	-3	-2
PC2	2	27/01/2017	28/01/2017	06/02/2017	30/12/2232	07/02/2017	05/03/2017	05/03/2017	3	17/03/2017	-4	-3
PC1	2	29/01/2017	30/01/2017	04/02/2017	18/09/2245	05/02/2017	21/02/2017	24/02/2017	0	09/03/2017	2	0
PC2	3	05/02/2017	06/02/2017	13/02/2017	17/08/2231	14/02/2017	12/03/2017	14/03/2017	0	26/03/2017	-1	-2
AUS	2	11/02/2017	12/02/2017	19/02/2017	24/04/2215	20/02/2017	25/03/2017	25/03/2017	3	05/04/2017	-2	0
PC1	3	12/02/2017	13/02/2017	18/02/2017	07/01/2243	19/02/2017	08/03/2017	10/03/2017	0	23/03/2017	1	0
PC2	4	17/02/2017	18/02/2017	27/02/2017	05/02/2223	28/02/2017	27/03/2017	27/03/2017	0	07/04/2017	-3	-1
PC1	4	18/02/2017	19/02/2017	26/02/2017	21/03/2227	27/02/2017	15/03/2017	18/03/2017	2	29/03/2017	-1	-1
AUS	3	25/02/2017	26/02/2017	05/03/2017	29/12/2220	06/03/2017	08/04/2017	08/04/2017	2	19/04/2017	-3	-1
PC2	5	02/03/2017	03/03/2017	10/03/2017	14/06/2222	11/03/2017	06/04/2017	06/04/2017	1	19/04/2017	0	0
PC1	5	04/03/2017	05/03/2017	11/03/2017	01/02/2243	12/03/2017	30/03/2017	30/03/2017	0	13/04/2017	-2	-2
AUS	4	14/03/2017	15/03/2017	20/03/2017	25/01/2224	21/03/2017	23/04/2017	27/04/2017	0	08/05/2017	2	0
PC2	6	14/03/2017	15/03/2017	22/03/2017	13/02/2235	23/03/2017	18/04/2017	20/04/2017	1	03/05/2017	0	-2
PC1	6	19/03/2017	20/03/2017	25/03/2017	10/08/2236	26/03/2017	13/04/2017	14/04/2017	0	26/04/2017	-2	-1
PC1	7	27/03/2017	28/03/2017	02/04/2017	28/10/2235	03/04/2017	19/04/2017	20/04/2017	0	02/05/2017	0	1
PC2	7	27/03/2017	28/03/2017	04/04/2017	23/05/2232	05/04/2017	02/05/2017	03/05/2017	0	14/05/2017	-1	0
USA	2	05/04/2017	06/04/2017	13/04/2017	15/08/2220	14/04/2017	10/05/2017	10/05/2017	0	22/05/2017	-2	-1
PC2	8	07/04/2017	08/04/2017	15/04/2017	23/03/2222	16/04/2017	12/05/2017	15/05/2017	3	27/05/2017	2	0
PC1	8	12/04/2017	13/04/2017	18/04/2017	24/02/2235	19/04/2017	05/05/2017	05/05/2017	2	16/05/2017	-2	1
CAN	2	16/04/2017	17/04/2017	23/04/2017	20/04/2216	24/04/2017	23/05/2017	23/05/2017	3	03/06/2017	-2	-1
AUS	5	17/04/2017	18/04/2017	24/04/2017	10/10/2230	25/04/2017	28/05/2017	28/05/2017	0	08/06/2017	-1	1
PC1	9	24/04/2017	25/04/2017	01/05/2017	29/12/2237	02/05/2017	20/05/2017	20/05/2017	1	01/06/2017	-3	-1
PC2	9	26/04/2017	27/04/2017	06/05/2017	14/06/2240	07/05/2017	02/06/2017	02/06/2017	1	14/06/2017	-2	-1
PC2	10	06/05/2017	07/05/2017	14/05/2017	27/05/2239	15/05/2017	12/06/2017	12/06/2017	0	24/06/2017	-3	-2
AUS	6	09/05/2017	10/05/2017	15/05/2017	09/11/2225	16/05/2017	18/06/2017	18/06/2017	0	30/06/2017	-2	-1
PC1	10	10/05/2017	11/05/2017	18/05/2017	22/04/2229	19/05/2017	04/06/2017	04/06/2017	0	16/06/2017	-2	0
PC2	11	17/05/2017	18/05/2017	25/05/2017	01/04/2241	26/05/2017	23/06/2017	25/06/2017	0	09/07/2017	-1	-4
PC1	11	22/05/2017	23/05/2017	29/05/2017	18/07/2236	30/05/2017	15/06/2017	15/06/2017	4	28/06/2017	-2	-1
PC2	12	25/05/2017	26/05/2017	02/06/2017	06/09/2227	03/06/2017	30/06/2017	01/07/2017	0	12/07/2017	-1	0
AUS	7	26/05/2017	27/05/2017	01/06/2017	14/08/2224	02/06/2017	07/07/2017	10/07/2017	2	23/07/2017	-2	-5
PC1	12	02/06/2017	03/06/2017	08/06/2017	20/01/2227	09/06/2017	25/06/2017	29/06/2017	1	11/07/2017	2	0
PC2	13	07/06/2017	08/06/2017	17/06/2017	30/04/2233	18/06/2017	14/07/2017	14/07/2017	1	27/07/2017	-2	-2
AUS	8	15/06/2017	16/06/2017	22/06/2017	06/07/2217	23/06/2017	26/07/2017	26/07/2017	0	05/08/2017	-1	2
PC1	13	19/06/2017	20/06/2017	25/06/2017	21/11/2234	26/06/2017	12/07/2017	12/07/2017	2	23/07/2017	-1	2
USA	3	22/06/2017	23/06/2017	29/06/2017	19/07/2228	30/06/2017	26/07/2017	28/07/2017	3	09/08/2017	-1	-2
PC1	14	26/06/2017	27/06/2017	04/07/2017	02/11/2246	05/07/2017	22/07/2017	24/07/2017	8	06/08/2017	-4	-5
PC2	14	28/06/2017	29/06/2017	08/07/2017	01/04/2220	09/07/2017	04/08/2017	06/08/2017	1	18/08/2017	-3	-4
PC2	15	03/07/2017	04/07/2017	11/07/2017	18/11/2223	12/07/2017	07/08/2017	07/08/2017	0	19/08/2017	0	1
AUS	9	13/07/2017	14/07/2017	21/07/2017	12/08/2216	22/07/2017	25/08/2017	25/08/2017	1	04/09/2017	-4	-1
CAN	3	14/07/2017	15/07/2017	20/07/2017	06/05/2215	21/07/2017	19/08/2017	20/08/2017	1	31/08/2017	1	1
PC1	15	15/07/2017	16/07/2017	21/07/2017	15/06/2246	22/07/2017	09/08/2017	10/08/2017	2	22/08/2017	-2	-1
PC1	16	22/07/2017	23/07/2017	30/07/2017	02/11/2241	31/07/2017	18/08/2017	19/08/2017	1	31/08/2017	-4	-3
PC2	16	24/07/2017	25/07/2017	01/08/2017	07/09/2234	02/08/2017	28/08/2017	01/09/2017	1	13/09/2017	0	-3
AUS	10	04/08/2017	05/08/2017	10/08/2017	04/05/2215	11/08/2017	14/09/2017	17/09/2017	0	27/09/2017	-1	-1
MOZ	2	06/08/2017	07/08/2017	16/08/2017	08/09/2199	17/08/2017	06/09/2017	06/09/2017	2	16/09/2017	-5	-3
PC2	17	06/08/2017	07/08/2017	14/08/2017	21/05/2228	15/08/2017	11/09/2017	14/09/2017	0	27/09/2017	-1	-4
PC1	17	12/08/2017	13/08/2017	19/08/2017	05/12/2240	20/08/2017	07/09/2017	07/09/2017	0	20/09/2017	-4	-3
PC2	18	18/08/2017	19/08/2017	28/08/2017	17/06/2237	29/08/2017	24/09/2017	28/09/2017	2	10/10/2017	-1	-4
PC2	19	21/08/2017	22/08/2017	29/08/2017	27/02/2223	30/08/2017	27/09/2017	28/09/2017	1	10/10/2017	-1	-1
PC1	18	24/08/2017	25/08/2017	31/08/2017	03/08/2237	01/09/2017	19/09/2017	21/09/2017	3	04/10/2017	-2	-3
PC2	20	04/09/2017	05/09/2017	12/09/2017	03/01/2221	13/09/2017	09/10/2017	11/10/2017	0	22/10/2017	0	0
AUS	11	07/09/2017	08/09/2017	13/09/2017	23/09/2215	14/09/2017	18/10/2017	18/10/2017	0	30/10/2017	-3	-2
PC1	20	09/09/2017	10/09/2017	15/09/2017	01/09/2228	16/09/2017	02/10/2017	05/10/2017	2	16/10/2017	-1	-1
PC1	19	10/09/2017	11/09/2017	16/09/2017	15/03/2238	17/09/2017	03/10/2017	11/10/2017	1	24/10/2017	3	-4
AUS	12	11/09/2017	12/09/2017	17/09/2017	22/01/2228	18/09/2017	23/10/2017	23/10/2017	0	03/11/2017	-3	-1
PC2	21	18/09/2017	19/09/2017	27/09/2017	18/11/2228	28/09/2017	25/10/2017	25/10/2017	2	05/11/2017	-3	-1
USA	4	23/09/2017	24/09/2017	01/10/2017	12/07/2214	02/10/2017	28/10/2017	31/10/2017	0	12/11/2017	0	-2
PC2	22	29/09/2017	30/09/2017	08/10/2017	09/12/2238	09/10/2017	04/11/2017	06/11/2017	4	18/11/2017	0	-1
PC1	21	10/10/2017	11/10/2017	17/10/2017	07/10/2236	18/10/2017	03/11/2017	04/11/2017	3	16/11/2017	-1	0
PC2	23	13/10/2017	14/10/2017	21/10/2017	03/07/2233	22/10/2017	17/11/2017	17/11/2017	4	29/11/2017	0	1
AUS	13	15/10/2017	16/10/2017	21/10/2017	27/07/2216	22/10/2017	24/11/2017	26/11/2017	1	07/12/2017	0	0
PC1	22	20/10/2017	21/10/2017	26/10/2017	28/12/2243	27/10/2017	13/11/2017	13/11/2017	2	25/11/2017	-3	-1
PC1	23	22/10/2017	23/10/2017	30/10/2017	07/07/2232	31/10/2017	18/11/2017	19/11/2017	0	01/12/2017	-2	-1
PC2	24	26/10/2017	27/10/2017	04/11/2017	21/12/2240	05/11/2017	01/12/2017	01/12/2017	2	14/12/2017	-1	-1
CAN	4	01/11/2017	02/11/2017	09/11/2017	29/10/2203	10/11/2017	08/12/2017	08/12/2017	0	19/12/2017	-1	0
PC2	25	06/11/2017	07/11/2017	14/11/2017	11/05/2236	15/11/2017	13/12/2017	15/12/2017	0	27/12/2017	0	-1
PC1	24	07/11/2017	08/11/2017	14/11/2017	13/10/2225	15/11/2017	01/12/2017	02/12/2017	2	15/12/2017	-1	-1
AUS	14	08/11/2017	09/11/2017	14/11/2017	25/05/2212	15/11/2017	18/12/2017	20/12/2017	0	30/12/2017	1	2
AUS	15	16/11/2017	17/11/2017	24/11/2017	05/06/2223	25/11/2017	28/12/2017	29/12/2017	0	09/01/2018	-2	-1
PC1	25	21/11/2017	22/11/2017	27/11/2017	05/11/2238	28/11/2017	14/12/2017	16/12/2017	0	28/12/2017	0	0
PC2	26	27/11/2017	28/11/2017	05/12/2017	26/07/2225	06/12/2017	01/01/2018	01/01/2018	2	12/01/2018	0	2
PC1	26	03/12/2017	04/12/2017	10/12/2017	09/03/2228	11/12/2017	27/12/2017	28/12/2017	3	09/01/2018	1	2

Programação 1 buffer 25% TT (seed 10)

Origem	Sequencia	ETA Origem	Início da Carga	Termino da Carga	Quantida de de Carga	Início Viagem	ETA Pecem	Início Descarga	Tempo de Espera	Término Descarga	Diferença Pecem	Diferença Fim de Descarga
USA	1	21/12/2016	22/12/2016	27/12/2016	75585,68	28/12/2016	23/01/2017	23/01/2017	0	04/02/2017	0	10
CAN	1	23/12/2016	24/12/2016	31/12/2016	71074,31	01/01/2017	29/01/2017	29/01/2017	0	10/02/2017	-3	6
PC2	1	03/01/2017	04/01/2017	11/01/2017	76049,97	12/01/2017	09/02/2017	09/02/2017	0	22/02/2017	-2	7
AUS	1	07/01/2017	08/01/2017	13/01/2017	76312,24	14/01/2017	16/02/2017	18/02/2017	2	01/03/2017	0	10
MOZ	1	09/01/2017	10/01/2017	17/01/2017	72521,13	18/01/2017	06/02/2017	06/02/2017	0	17/02/2017	-3	6
PC2	3	10/01/2017	11/01/2017	19/01/2017	75137,23	20/01/2017	17/02/2017	23/02/2017	6	07/03/2017	-3	2
PC2	2	14/01/2017	15/01/2017	22/01/2017	81439,82	23/01/2017	18/02/2017	24/02/2017	6	09/03/2017	2	5
PC1	1	18/01/2017	19/01/2017	26/01/2017	80906,61	27/01/2017	12/02/2017	12/02/2017	0	23/02/2017	-4	3
PC2	4	25/01/2017	26/01/2017	02/02/2017	78382,06	03/02/2017	01/03/2017	02/03/2017	1	14/03/2017	-1	9
AUS	2	01/02/2017	02/02/2017	09/02/2017	72423,14	10/02/2017	15/03/2017	15/03/2017	0	26/03/2017	-2	10
PC1	2	10/02/2017	11/02/2017	18/02/2017	81263,13	19/02/2017	08/03/2017	08/03/2017	0	20/03/2017	-3	4
PC1	4	12/02/2017	13/02/2017	19/02/2017	78993,4	20/02/2017	09/03/2017	10/03/2017	1	21/03/2017	-1	7
AUS	3	13/02/2017	14/02/2017	21/02/2017	71974,54	22/02/2017	27/03/2017	27/03/2017	0	07/04/2017	-1	11
PC1	3	22/02/2017	23/02/2017	01/03/2017	77427,68	02/03/2017	18/03/2017	21/03/2017	3	02/04/2017	0	4
PC2	5	23/02/2017	24/02/2017	03/03/2017	77329,83	04/03/2017	30/03/2017	03/04/2017	4	15/04/2017	-2	4
PC1	5	27/02/2017	28/02/2017	07/03/2017	82220,09	08/03/2017	24/03/2017	24/03/2017	0	06/04/2017	-2	5
PC2	6	05/03/2017	06/03/2017	13/03/2017	79658,07	14/03/2017	09/04/2017	09/04/2017	0	21/04/2017	0	10
AUS	4	06/03/2017	07/03/2017	14/03/2017	76300,15	15/03/2017	17/04/2017	19/04/2017	2	01/05/2017	-2	7
PC2	7	06/03/2017	07/03/2017	14/03/2017	77594,84	15/03/2017	11/04/2017	16/04/2017	5	27/04/2017	-1	6
PC1	6	13/03/2017	14/03/2017	20/03/2017	76502,19	21/03/2017	06/04/2017	07/04/2017	1	18/04/2017	-1	7
USA	2	28/03/2017	29/03/2017	03/04/2017	72493,47	04/04/2017	30/04/2017	02/05/2017	2	13/05/2017	0	8
PC1	7	02/04/2017	03/04/2017	08/04/2017	76741,95	09/04/2017	25/04/2017	25/04/2017	0	06/05/2017	0	8
PC2	8	02/04/2017	03/04/2017	10/04/2017	74375,48	11/04/2017	07/05/2017	07/05/2017	0	19/05/2017	-2	8
PC2	9	03/04/2017	04/04/2017	13/04/2017	77883,43	14/04/2017	10/05/2017	11/05/2017	1	23/05/2017	-2	8
PC1	8	04/04/2017	05/04/2017	10/04/2017	81809,72	11/04/2017	29/04/2017	29/04/2017	0	10/05/2017	-2	7
AUS	5	06/04/2017	07/04/2017	12/04/2017	75893,34	13/04/2017	17/05/2017	20/05/2017	3	02/06/2017	0	7
CAN	2	07/04/2017	08/04/2017	13/04/2017	71046,7	14/04/2017	14/05/2017	14/05/2017	0	24/05/2017	-2	9
AUS	6	28/04/2017	29/04/2017	04/05/2017	78098,24	05/05/2017	09/06/2017	12/06/2017	3	24/06/2017	-3	5
PC2	10	28/04/2017	29/04/2017	06/05/2017	80799	07/05/2017	03/06/2017	03/06/2017	0	15/06/2017	-3	7
PC1	9	04/05/2017	05/05/2017	10/05/2017	81360,01	11/05/2017	27/05/2017	27/05/2017	0	10/06/2017	-2	3
PC1	10	06/05/2017	07/05/2017	12/05/2017	78798,95	13/05/2017	29/05/2017	29/05/2017	0	11/06/2017	-2	5
PC2	11	08/05/2017	09/05/2017	16/05/2017	81897,64	17/05/2017	14/06/2017	16/06/2017	2	30/06/2017	-1	5
PC1	11	15/05/2017	16/05/2017	21/05/2017	78914,6	22/05/2017	08/06/2017	11/06/2017	3	23/06/2017	-1	4
PC2	13	15/05/2017	16/05/2017	24/05/2017	78175,15	25/05/2017	20/06/2017	24/06/2017	4	07/07/2017	-2	4
PC2	12	16/05/2017	17/05/2017	24/05/2017	78856,23	25/05/2017	22/06/2017	25/06/2017	3	08/07/2017	-2	4
AUS	7	17/05/2017	18/05/2017	24/05/2017	71776,3	25/05/2017	27/06/2017	01/07/2017	4	11/07/2017	-2	7
AUS	8	05/06/2017	06/06/2017	12/06/2017	73227,17	13/06/2017	16/07/2017	20/07/2017	4	01/08/2017	-1	6
PC2	14	05/06/2017	06/06/2017	14/06/2017	76303,38	15/06/2017	12/07/2017	12/07/2017	0	24/07/2017	-3	8
PC1	13	13/06/2017	14/06/2017	19/06/2017	79574,12	20/06/2017	06/07/2017	08/07/2017	2	19/07/2017	-1	6
PC1	12	13/06/2017	14/06/2017	20/06/2017	82408,78	21/06/2017	07/07/2017	09/07/2017	2	21/07/2017	-1	4
USA	3	15/06/2017	16/06/2017	23/06/2017	78692,62	24/06/2017	21/07/2017	22/07/2017	1	03/08/2017	-4	4
CAN	3	24/06/2017	25/06/2017	01/07/2017	70772,14	02/07/2017	30/07/2017	30/07/2017	0	10/08/2017	-1	11
PC2	15	25/06/2017	26/06/2017	05/07/2017	74227,28	06/07/2017	01/08/2017	04/08/2017	3	16/08/2017	-3	4
PC2	16	29/06/2017	30/06/2017	09/07/2017	81398,74	10/07/2017	05/08/2017	11/08/2017	6	23/08/2017	0	5
AUS	9	04/07/2017	05/07/2017	10/07/2017	75539,21	11/07/2017	13/08/2017	15/08/2017	2	26/08/2017	-2	8
PC1	14	05/07/2017	06/07/2017	13/07/2017	76128,38	14/07/2017	30/07/2017	02/08/2017	3	14/08/2017	-4	0
PC2	17	20/07/2017	21/07/2017	30/07/2017	81547,02	31/07/2017	26/08/2017	26/08/2017	0	09/09/2017	-3	4
PC1	15	22/07/2017	23/07/2017	28/07/2017	80521,43	29/07/2017	16/08/2017	17/08/2017	1	30/08/2017	-2	2
AUS	10	25/07/2017	26/07/2017	31/07/2017	72433,02	01/08/2017	04/09/2017	08/09/2017	4	20/09/2017	-1	6
PC1	16	31/07/2017	01/08/2017	08/08/2017	76249,11	09/08/2017	27/08/2017	27/08/2017	0	07/09/2017	-5	3
PC1	17	05/08/2017	06/08/2017	11/08/2017	77164,07	12/08/2017	30/08/2017	31/08/2017	1	12/09/2017	-2	5
MOZ	2	08/08/2017	09/08/2017	17/08/2017	71557,91	18/08/2017	07/09/2017	10/09/2017	3	20/09/2017	-4	3
PC2	18	09/08/2017	10/08/2017	19/08/2017	80513,97	20/08/2017	15/09/2017	21/09/2017	6	03/10/2017	-1	3
PC2	19	13/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	77476,6	22/08/2017	17/09/2017	21/09/2017	4	03/10/2017	0	6
PC1	18	19/08/2017	20/08/2017	26/08/2017	83797,26	27/08/2017	14/09/2017	14/09/2017	0	27/09/2017	-3	4
PC2	21	23/08/2017	24/08/2017	31/08/2017	74489,21	01/09/2017	27/09/2017	28/09/2017	1	08/10/2017	0	12
AUS	11	26/08/2017	27/08/2017	01/09/2017	72641,83	02/09/2017	07/10/2017	09/10/2017	2	21/10/2017	-2	7
PC2	20	26/08/2017	27/08/2017	05/09/2017	74486,43	06/09/2017	02/10/2017	04/10/2017	2	15/10/2017	-2	7
AUS	12	31/08/2017	01/09/2017	06/09/2017	72711,98	07/09/2017	10/10/2017	16/10/2017	6	26/10/2017	0	7
PC1	19	03/09/2017	04/09/2017	09/09/2017	82218,53	10/09/2017	28/09/2017	04/10/2017	6	16/10/2017	-3	-1
PC2	22	17/09/2017	18/09/2017	27/09/2017	75023,35	28/09/2017	24/10/2017	27/10/2017	3	09/11/2017	0	7
USA	4	17/09/2017	18/09/2017	24/09/2017	77924,75	25/09/2017	21/10/2017	22/10/2017	1	04/11/2017	-1	6
PC1	20	22/09/2017	23/09/2017	29/09/2017	83131,65	30/09/2017	16/10/2017	17/10/2017	1	31/10/2017	0	4
PC2	24	03/10/2017	04/10/2017	12/10/2017	78253,71	13/10/2017	08/11/2017	10/11/2017	2	22/11/2017	-1	8
PC2	23	03/10/2017	04/10/2017	12/10/2017	79508,59	13/10/2017	08/11/2017	14/11/2017	6	25/11/2017	0	5
AUS	13	05/10/2017	06/10/2017	11/10/2017	72883,85	12/10/2017	14/11/2017	20/11/2017	6	02/12/2017	0	5
PC1	21	08/10/2017	09/10/2017	14/10/2017	82898,37	15/10/2017	01/11/2017	01/11/2017	0	13/11/2017	-3	4
PC1	22	13/10/2017	14/10/2017	19/10/2017	82697,67	20/10/2017	05/11/2017	05/11/2017	0	19/11/2017	-1	5
PC2	25	18/10/2017	19/10/2017	26/10/2017	78977,58	27/10/2017	24/11/2017	24/11/2017	0	06/12/2017	-3	8
CAN	4	23/10/2017	24/10/2017	31/10/2017	68228,51	01/11/2017	29/11/2017	03/12/2017	4	14/12/2017	-1	5
AUS	14	24/10/2017	25/10/2017	31/10/2017	74390,54	01/11/2017	05/12/2017	07/12/2017	2	18/12/2017	-2	8
PC1	23	30/10/2017	31/10/2017	05/11/2017	76440,01	06/11/2017	24/11/2017	26/11/2017	2	09/12/2017	0	4
AUS	15	06/11/2017	07/11/2017	12/11/2017	74504,85	13/11/2017	17/12/2017	19/12/2017	2	30/12/2017	-1	9
PC1	25	15/11/2017	16/11/2017	21/11/2017	79010,62	22/11/2017	08/12/2017	10/12/2017	2	21/12/2017	0	7
PC2	26	18/11/2017	19/11/2017	26/11/2017	78994,25	27/11/2017	23/12/2017	27/12/2017	4	07/01/2018	0	7
PC1	24	21/11/2017	22/11/2017	27/11/2017	76564,45	28/11/2017	14/12/2017	15/12/2017	1	26/12/2017	-1	6
PC1	26	27/11/2017	28/11/2017	04/12/2017	77126,3	05/12/2017	21/12/2017	22/12/2017	1	02/01/2018	1	9

Programação 1 buffer 33% TT (seed 10)

Origem	Sequencia	ETA Origem	Início da Carga	Termino da Carga	Quantida de de Carga	Início Viagem	ETA Pecem	Início Descarga	Tempo de Espera	Término Descarga	Diferença Pecem	Diferença Fim de Descarga
USA	1	18/12/2016	19/12/2016	24/12/2016	75585,68	25/12/2016	20/01/2017	20/01/2017	0	01/02/2017	0	13
CAN	1	20/12/2016	21/12/2016	28/12/2016	71074,31	29/12/2016	26/01/2017	26/01/2017	0	07/02/2017	-3	9
PC2	1	31/12/2016	01/01/2017	08/01/2017	76049,97	09/01/2017	06/02/2017	08/02/2017	2	19/02/2017	-2	10
MOZ	1	05/01/2017	06/01/2017	13/01/2017	71224,75	14/01/2017	01/02/2017	01/02/2017	0	12/02/2017	0	11
AUS	1	06/01/2017	07/01/2017	12/01/2017	77701,21	13/01/2017	16/02/2017	19/02/2017	3	03/03/2017	-3	8
PC2	3	07/01/2017	08/01/2017	16/01/2017	75137,23	17/01/2017	14/02/2017	14/02/2017	0	25/02/2017	-3	12
PC1	1	12/01/2017	13/01/2017	18/01/2017	83528,02	19/01/2017	04/02/2017	04/02/2017	0	18/02/2017	2	8
PC2	2	15/01/2017	16/01/2017	25/01/2017	78883,95	26/01/2017	21/02/2017	21/02/2017	0	06/03/2017	-4	8
PC2	4	22/01/2017	23/01/2017	30/01/2017	78382,06	31/01/2017	26/02/2017	26/02/2017	0	10/03/2017	-1	13
AUS	2	29/01/2017	30/01/2017	06/02/2017	72423,14	07/02/2017	12/03/2017	12/03/2017	0	23/03/2017	-2	13
PC1	2	08/02/2017	09/02/2017	16/02/2017	81263,13	17/02/2017	06/03/2017	06/03/2017	0	18/03/2017	-3	6
AUS	3	10/02/2017	11/02/2017	18/02/2017	71974,54	19/02/2017	24/03/2017	24/03/2017	0	04/04/2017	-1	14
PC1	4	10/02/2017	11/02/2017	17/02/2017	78993,4	18/02/2017	07/03/2017	07/03/2017	0	18/03/2017	-1	10
PC2	5	20/02/2017	21/02/2017	28/02/2017	77329,83	01/03/2017	27/03/2017	01/04/2017	5	13/04/2017	-2	6
PC1	3	21/02/2017	22/02/2017	27/02/2017	76955,86	28/02/2017	16/03/2017	19/03/2017	3	31/03/2017	0	6
PC1	5	25/02/2017	26/02/2017	05/03/2017	82220,09	06/03/2017	22/03/2017	22/03/2017	0	04/04/2017	-2	7
PC2	6	02/03/2017	03/03/2017	10/03/2017	79658,07	11/03/2017	06/04/2017	06/04/2017	0	18/04/2017	0	13
AUS	4	03/03/2017	04/03/2017	11/03/2017	76300,15	12/03/2017	14/04/2017	17/04/2017	3	29/04/2017	-2	9
PC2	7	03/03/2017	04/03/2017	11/03/2017	77594,84	12/03/2017	08/04/2017	14/04/2017	6	25/04/2017	-1	8
PC1	6	11/03/2017	12/03/2017	18/03/2017	76502,19	19/03/2017	04/04/2017	05/04/2017	1	16/04/2017	-1	9
USA	2	25/03/2017	26/03/2017	31/03/2017	72493,47	01/04/2017	27/04/2017	27/04/2017	0	07/05/2017	0	14
PC2	8	30/03/2017	31/03/2017	07/04/2017	74375,48	08/04/2017	04/05/2017	05/05/2017	1	17/05/2017	-2	10
PC1	7	31/03/2017	01/04/2017	06/04/2017	76741,95	07/04/2017	23/04/2017	23/04/2017	0	04/05/2017	0	10
PC2	9	31/03/2017	01/04/2017	10/04/2017	77883,43	11/04/2017	07/05/2017	08/05/2017	1	20/05/2017	-2	11
PC1	8	02/04/2017	03/04/2017	08/04/2017	81809,72	09/04/2017	27/04/2017	30/04/2017	3	12/05/2017	-2	5
AUS	5	03/04/2017	04/04/2017	09/04/2017	75893,34	10/04/2017	14/05/2017	18/05/2017	4	31/05/2017	0	9
CAN	2	04/04/2017	05/04/2017	10/04/2017	71046,7	11/04/2017	11/05/2017	13/05/2017	2	24/05/2017	-2	9
PC2	10	24/04/2017	25/04/2017	04/05/2017	77495,78	05/05/2017	02/06/2017	02/06/2017	0	14/06/2017	-5	8
AUS	6	25/04/2017	26/04/2017	01/05/2017	78098,24	02/05/2017	06/06/2017	09/06/2017	3	21/06/2017	-3	8
PC1	9	02/05/2017	03/05/2017	08/05/2017	81360,01	09/05/2017	25/05/2017	25/05/2017	0	08/06/2017	-2	5
PC1	10	04/05/2017	05/05/2017	10/05/2017	78798,95	11/05/2017	27/05/2017	27/05/2017	0	09/06/2017	-2	7
PC2	11	05/05/2017	06/05/2017	13/05/2017	81897,64	14/05/2017	11/06/2017	15/06/2017	4	29/06/2017	-1	6
PC2	13	12/05/2017	13/05/2017	21/05/2017	78175,15	22/05/2017	17/06/2017	22/06/2017	5	05/07/2017	-2	6
PC1	11	13/05/2017	14/05/2017	20/05/2017	78127,12	21/05/2017	06/06/2017	10/06/2017	4	22/06/2017	-1	5
PC2	12	13/05/2017	14/05/2017	22/05/2017	75734,83	23/05/2017	19/06/2017	23/06/2017	4	05/07/2017	-2	7
AUS	7	14/05/2017	15/05/2017	22/05/2017	76141,97	23/05/2017	25/06/2017	30/06/2017	5	12/07/2017	-3	6
PC2	14	01/06/2017	02/06/2017	11/06/2017	79004,96	12/06/2017	08/07/2017	13/07/2017	5	25/07/2017	-2	7
AUS	8	02/06/2017	03/06/2017	09/06/2017	75056,47	10/06/2017	13/07/2017	18/07/2017	5	31/07/2017	-1	7
PC1	13	11/06/2017	12/06/2017	17/06/2017	79574,12	18/06/2017	04/07/2017	06/07/2017	2	17/07/2017	-1	8
PC1	12	11/06/2017	12/06/2017	18/06/2017	82408,78	19/06/2017	05/07/2017	06/07/2017	1	18/07/2017	-1	7
USA	3	12/06/2017	13/06/2017	20/06/2017	78692,62	21/06/2017	18/07/2017	19/07/2017	1	31/07/2017	-4	7
CAN	3	21/06/2017	22/06/2017	28/06/2017	70772,14	29/06/2017	27/07/2017	27/07/2017	0	06/08/2017	-1	15
PC2	15	22/06/2017	23/06/2017	02/07/2017	74227,28	03/07/2017	29/07/2017	01/08/2017	3	13/08/2017	-3	7
PC2	16	26/06/2017	27/06/2017	06/07/2017	81398,74	07/07/2017	02/08/2017	07/08/2017	5	19/08/2017	0	9
AUS	9	30/06/2017	01/07/2017	08/07/2017	72687,95	09/07/2017	12/08/2017	14/08/2017	2	26/08/2017	-4	8
PC1	14	03/07/2017	04/07/2017	11/07/2017	76128,38	12/07/2017	28/07/2017	01/08/2017	4	13/08/2017	-4	1
PC2	17	17/07/2017	18/07/2017	27/07/2017	81547,02	28/07/2017	23/08/2017	23/08/2017	0	06/09/2017	-3	7
PC1	15	18/07/2017	19/07/2017	25/07/2017	82877,89	26/07/2017	11/08/2017	14/08/2017	3	26/08/2017	1	6
AUS	10	22/07/2017	23/07/2017	28/07/2017	72433,02	29/07/2017	01/09/2017	07/09/2017	6	19/09/2017	-1	7
PC1	16	30/07/2017	31/07/2017	05/08/2017	83367,86	06/08/2017	03/08/2017	27/08/2017	4	08/09/2017	-3	2
PC1	17	03/08/2017	04/08/2017	09/08/2017	77164,07	10/08/2017	28/08/2017	28/08/2017	0	09/09/2017	-2	8
MOZ	2	06/08/2017	07/08/2017	15/08/2017	71557,91	16/08/2017	05/09/2017	09/09/2017	4	19/09/2017	-4	4
PC2	18	06/08/2017	07/08/2017	16/08/2017	80513,97	17/08/2017	12/09/2017	12/09/2017	0	24/09/2017	-1	12
PC2	19	10/08/2017	11/08/2017	18/08/2017	77476,6	19/08/2017	14/09/2017	20/09/2017	6	02/10/2017	0	7
PC1	18	17/08/2017	18/08/2017	24/08/2017	83797,26	25/08/2017	12/09/2017	20/09/2017	8	02/10/2017	-3	-1
PC2	21	20/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	74489,21	29/08/2017	24/09/2017	25/09/2017	1	05/10/2017	0	15
AUS	11	23/08/2017	24/08/2017	29/08/2017	72641,83	30/08/2017	04/10/2017	06/10/2017	2	18/10/2017	-2	10
PC2	20	23/08/2017	24/08/2017	02/09/2017	74486,43	03/09/2017	29/09/2017	03/10/2017	4	15/10/2017	-2	7
AUS	12	28/08/2017	29/08/2017	03/09/2017	72711,98	04/09/2017	07/10/2017	16/10/2017	9	26/10/2017	0	7
PC1	19	01/09/2017	02/09/2017	07/09/2017	82218,53	08/09/2017	26/09/2017	03/10/2017	7	16/10/2017	-3	-1
PC2	22	14/09/2017	15/09/2017	24/09/2017	75023,35	25/09/2017	21/10/2017	27/10/2017	6	09/11/2017	0	7
USA	4	14/09/2017	15/09/2017	21/09/2017	77924,75	22/09/2017	18/10/2017	19/10/2017	1	01/11/2017	-1	9
PC1	20	20/09/2017	21/09/2017	27/09/2017	83131,65	28/09/2017	14/10/2017	17/10/2017	3	31/10/2017	0	4
PC2	24	30/09/2017	01/10/2017	09/10/2017	78253,71	10/10/2017	05/11/2017	10/11/2017	5	22/11/2017	-1	8
PC2	23	30/09/2017	01/10/2017	09/10/2017	79508,59	10/10/2017	05/11/2017	14/11/2017	9	26/11/2017	0	4
AUS	13	02/10/2017	03/10/2017	08/10/2017	75577,22	09/10/2017	11/11/2017	16/11/2017	5	27/11/2017	0	10
PC1	21	06/10/2017	07/10/2017	12/10/2017	82898,37	13/10/2017	30/10/2017	01/11/2017	2	13/11/2017	-3	4
PC1	22	11/10/2017	12/10/2017	17/10/2017	82697,67	18/10/2017	03/11/2017	03/11/2017	0	15/11/2017	-1	9
PC2	25	16/10/2017	17/10/2017	25/10/2017	76895,72	26/10/2017	22/11/2017	23/11/2017	1	05/12/2017	-4	9
CAN	4	20/10/2017	21/10/2017	28/10/2017	68228,51	29/10/2017	26/11/2017	28/11/2017	2	09/12/2017	-1	10
AUS	14	21/10/2017	22/10/2017	28/10/2017	74390,54	29/10/2017	02/12/2017	06/12/2017	4	17/12/2017	-2	9
PC1	23	28/10/2017	29/10/2017	03/11/2017	76440,01	04/11/2017	22/11/2017	27/11/2017	5	10/12/2017	0	3
AUS	15	02/11/2017	03/11/2017	08/11/2017	71359,71	09/11/2017	12/12/2017	18/12/2017	6	29/12/2017	1	10
PC1	25	15/11/2017	16/11/2017	22/11/2017	76422,16	23/11/2017	09/12/2017	10/12/2017	1	21/12/2017	-3	7
PC2	26	15/11/2017	16/11/2017	23/11/2017	78994,25	24/11/2017	20/12/2017	23/12/2017	3	03/01/2018	0	11
PC1	24	18/11/2017	19/11/2017	24/11/2017	78122,51	25/11/2017	11/12/2017	11/12/2017	0	22/12/2017	0	10
PC1	26	26/11/2017	27/11/2017	02/12/2017	80199,19	03/12/2017	19/12/2017	22/12/2017	3	03/01/2018	1	8

Programação 1 buffer fixo 8 dias (seed 10)

Origem	Sequencia	ETA Origem	Início da Carga	Termínio da Carga	Quantidade de Carga	Início Viagem	ETA Pecem	Início Descarga	Tempo de Espera	Término Descarga	Diferença Pecem	Diferença Fim de Descarga
MOZ	1	31/12/2016	01/01/2017	08/01/2017	70546,63911	09/01/2017	27/01/2017	27/01/2017	0	08/02/2017	0	8
USA	1	31/12/2016	01/01/2017	06/01/2017	73124,97508	07/01/2017	04/02/2017	04/02/2017	0	15/02/2017	-2	8
PC1	1	01/01/2017	02/01/2017	09/01/2017	81227,78027	10/01/2017	26/01/2017	26/01/2017	0	08/02/2017	-3	6
CAN	1	04/01/2017	05/01/2017	10/01/2017	72521,12726	11/01/2017	09/02/2017	09/02/2017	0	20/02/2017	-3	6
PC2	1	04/01/2017	05/01/2017	12/01/2017	79364,72581	13/01/2017	08/02/2017	09/02/2017	1	21/02/2017	0	8
AUS	1	09/01/2017	10/01/2017	16/01/2017	72247,33609	17/01/2017	21/02/2017	21/02/2017	0	05/03/2017	-3	6
PC2	2	19/01/2017	20/01/2017	29/01/2017	78883,9492	30/01/2017	25/02/2017	25/02/2017	0	09/03/2017	-4	5
PC1	2	21/01/2017	22/01/2017	27/01/2017	83528,01817	28/01/2017	13/02/2017	16/02/2017	3	01/03/2017	2	8
PC2	3	28/01/2017	29/01/2017	05/02/2017	78382,06104	06/02/2017	04/03/2017	06/03/2017	2	18/03/2017	-1	6
AUS	2	03/02/2017	04/02/2017	11/02/2017	72423,14189	12/02/2017	17/03/2017	17/03/2017	0	28/03/2017	-2	8
PC1	3	04/02/2017	05/02/2017	10/02/2017	82543,86292	11/02/2017	28/02/2017	02/03/2017	2	15/03/2017	1	8
PC2	4	09/02/2017	10/02/2017	19/02/2017	75267,56745	20/02/2017	19/03/2017	19/03/2017	0	30/03/2017	-3	7
PC1	4	10/02/2017	11/02/2017	18/02/2017	76772,84667	19/02/2017	07/03/2017	10/03/2017	3	21/03/2017	-1	7
AUS	3	17/02/2017	18/02/2017	25/02/2017	74499,23627	26/02/2017	31/03/2017	31/03/2017	0	11/04/2017	-3	7
PC2	5	22/02/2017	23/02/2017	02/03/2017	75031,96353	03/03/2017	29/03/2017	29/03/2017	0	11/04/2017	0	8
PC1	5	24/02/2017	25/02/2017	03/03/2017	82568,44539	04/03/2017	22/03/2017	22/03/2017	0	05/04/2017	-2	6
AUS	4	06/03/2017	07/03/2017	12/03/2017	75621,36725	13/03/2017	15/04/2017	19/04/2017	4	30/04/2017	2	8
PC2	6	06/03/2017	07/03/2017	14/03/2017	79658,07097	15/03/2017	10/04/2017	12/04/2017	2	25/04/2017	0	6
PC1	6	11/03/2017	12/03/2017	17/03/2017	80202,83079	18/03/2017	05/04/2017	06/04/2017	1	18/04/2017	-2	7
PC1	7	19/03/2017	20/03/2017	25/03/2017	79915,08893	26/03/2017	11/04/2017	12/04/2017	1	24/04/2017	0	9
PC2	7	19/03/2017	20/03/2017	27/03/2017	78662,49338	28/03/2017	24/04/2017	25/04/2017	1	06/05/2017	-1	8
USA	2	28/03/2017	29/03/2017	05/04/2017	74363,8027	06/04/2017	02/05/2017	02/05/2017	0	14/05/2017	-2	7
PC2	8	30/03/2017	31/03/2017	07/04/2017	74948,30002	08/04/2017	04/05/2017	07/05/2017	3	19/05/2017	2	8
PC1	8	04/04/2017	05/04/2017	10/04/2017	79669,12227	11/04/2017	27/04/2017	27/04/2017	0	08/05/2017	-2	9
CAN	2	08/04/2017	09/04/2017	15/04/2017	72785,59075	16/04/2017	15/05/2017	15/05/2017	0	26/05/2017	-2	7
AUS	5	09/04/2017	10/04/2017	16/04/2017	78071,55448	17/04/2017	20/05/2017	20/05/2017	0	31/05/2017	-1	9
PC1	9	16/04/2017	17/04/2017	23/04/2017	80708,2285	24/04/2017	12/05/2017	12/05/2017	0	24/05/2017	-3	7
PC2	9	18/04/2017	19/04/2017	28/04/2017	81606,37561	29/04/2017	25/05/2017	25/05/2017	0	06/06/2017	-2	7
PC2	10	28/04/2017	29/04/2017	06/05/2017	81222,16943	07/05/2017	04/06/2017	04/06/2017	0	16/06/2017	-3	6
AUS	6	01/05/2017	02/05/2017	07/05/2017	76275,00987	08/05/2017	10/06/2017	10/06/2017	0	22/06/2017	-2	7
PC1	10	02/05/2017	03/05/2017	10/05/2017	77535,78657	11/05/2017	27/05/2017	27/05/2017	0	08/06/2017	-2	8
PC2	11	09/05/2017	10/05/2017	17/05/2017	81897,64469	18/05/2017	15/06/2017	17/06/2017	2	01/07/2017	-1	4
PC1	11	14/05/2017	15/05/2017	21/05/2017	80179,63688	22/05/2017	07/06/2017	07/06/2017	0	20/06/2017	-2	7
PC2	12	17/05/2017	18/05/2017	25/05/2017	76941,73926	26/05/2017	22/06/2017	23/06/2017	1	04/07/2017	-1	8
AUS	7	18/05/2017	19/05/2017	24/05/2017	75823,29743	25/05/2017	29/06/2017	02/07/2017	3	15/07/2017	-2	3
PC1	12	25/05/2017	26/05/2017	31/05/2017	76712,17828	01/06/2017	17/06/2017	21/06/2017	4	03/07/2017	2	8
PC2	13	30/05/2017	31/05/2017	09/06/2017	79004,96401	10/06/2017	06/07/2017	06/07/2017	0	19/07/2017	-2	6
AUS	8	07/06/2017	08/06/2017	14/06/2017	73227,16548	15/06/2017	18/07/2017	18/07/2017	0	28/07/2017	-1	10
PC1	13	11/06/2017	12/06/2017	17/06/2017	79574,12463	18/06/2017	04/07/2017	04/07/2017	0	15/07/2017	-1	10
USA	3	14/06/2017	15/06/2017	21/06/2017	77258,2273	22/06/2017	18/07/2017	20/07/2017	2	01/08/2017	-1	6
PC1	14	18/06/2017	19/06/2017	26/06/2017	83938,79529	27/06/2017	14/07/2017	16/07/2017	2	29/07/2017	-4	3
PC2	14	20/06/2017	21/06/2017	30/06/2017	74227,27899	01/07/2017	27/07/2017	29/07/2017	2	10/08/2017	-3	4
PC2	15	25/06/2017	26/06/2017	03/07/2017	75553,65138	04/07/2017	30/07/2017	30/07/2017	0	11/08/2017	0	9
AUS	9	05/07/2017	06/07/2017	13/07/2017	72899,07254	14/07/2017	17/08/2017	17/08/2017	0	27/08/2017	-4	7
CAN	3	06/07/2017	07/07/2017	12/07/2017	72435,88852	13/07/2017	11/08/2017	12/08/2017	1	23/08/2017	1	9
PC1	15	07/07/2017	08/07/2017	13/07/2017	83798,88742	14/07/2017	01/08/2017	02/08/2017	1	14/08/2017	-2	7
PC1	16	14/07/2017	15/07/2017	22/07/2017	82112,33364	23/07/2017	10/08/2017	11/08/2017	1	23/08/2017	-4	5
PC2	16	16/07/2017	17/07/2017	24/07/2017	79499,80573	25/07/2017	20/08/2017	24/08/2017	4	05/09/2017	0	5
AUS	10	27/07/2017	28/07/2017	02/08/2017	72433,0178	03/08/2017	06/09/2017	09/09/2017	3	19/09/2017	-1	7
MOZ	2	29/07/2017	30/07/2017	08/08/2017	66717,97112	09/08/2017	29/08/2017	29/08/2017	0	08/09/2017	-5	5
PC2	17	29/07/2017	30/07/2017	06/08/2017	77199,83439	07/08/2017	03/09/2017	06/09/2017	3	19/09/2017	-1	4
PC1	17	04/08/2017	05/08/2017	11/08/2017	81780,47225	12/08/2017	30/08/2017	30/08/2017	0	12/09/2017	-4	5
PC2	18	10/08/2017	11/08/2017	20/08/2017	80513,9736	21/08/2017	16/09/2017	20/09/2017	4	02/10/2017	-1	4
PC2	19	13/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	75289,95919	22/08/2017	19/09/2017	20/09/2017	1	02/10/2017	-1	7
PC1	18	16/08/2017	17/08/2017	23/08/2017	80560,10004	24/08/2017	11/09/2017	13/09/2017	2	26/09/2017	-2	5
PC2	20	27/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	74504,33428	05/09/2017	01/10/2017	03/10/2017	2	14/10/2017	0	8
AUS	11	30/08/2017	31/08/2017	05/09/2017	72575,5743	06/09/2017	10/10/2017	10/10/2017	0	22/10/2017	-3	6
PC1	20	01/09/2017	02/09/2017	07/09/2017	77302,4751	08/09/2017	24/09/2017	27/09/2017	3	08/10/2017	-1	7
PC1	19	02/09/2017	03/09/2017	08/09/2017	80784,47704	09/09/2017	25/09/2017	03/10/2017	8	16/10/2017	3	4
AUS	12	03/09/2017	04/09/2017	09/09/2017	77079,871	10/09/2017	15/10/2017	15/10/2017	0	26/10/2017	-3	7
PC2	21	10/09/2017	11/09/2017	19/09/2017	77380,97434	20/09/2017	17/10/2017	17/10/2017	0	28/10/2017	-3	7
USA	4	15/09/2017	16/09/2017	23/09/2017	72137,83964	24/09/2017	20/10/2017	23/10/2017	3	04/11/2017	0	6
PC2	22	21/09/2017	22/09/2017	30/09/2017	81053,36001	01/10/2017	27/10/2017	29/10/2017	2	10/11/2017	0	7
PC1	21	02/10/2017	03/10/2017	09/10/2017	80260,215	10/10/2017	26/10/2017	27/10/2017	1	08/11/2017	-1	8
PC2	23	05/10/2017	06/10/2017	13/10/2017	79068,53003	14/10/2017	09/11/2017	09/11/2017	0	21/11/2017	0	9
AUS	13	07/10/2017	08/10/2017	13/10/2017	72883,84735	14/10/2017	16/11/2017	18/11/2017	2	29/11/2017	0	8
PC1	22	12/10/2017	13/10/2017	18/10/2017	82898,37203	19/10/2017	05/11/2017	05/11/2017	0	17/11/2017	-3	7
PC1	23	14/10/2017	15/10/2017	22/10/2017	78707,98164	23/10/2017	10/11/2017	11/11/2017	1	23/11/2017	-2	7
PC2	24	18/10/2017	19/10/2017	27/10/2017	81796,45512	28/10/2017	23/11/2017	23/11/2017	0	06/12/2017	-1	7
CAN	4	24/10/2017	25/10/2017	01/11/2017	68228,51143	02/11/2017	30/11/2017	30/11/2017	0	11/12/2017	-1	8
PC2	25	29/10/2017	30/10/2017	06/11/2017	80111,64439	07/11/2017	05/12/2017	07/12/2017	2	19/12/2017	0	7
PC1	24	30/10/2017	31/10/2017	06/11/2017	76248,76643	07/11/2017	23/11/2017	24/11/2017	1	07/12/2017	-1	7
AUS	14	31/10/2017	01/11/2017	06/11/2017	71359,71256	07/11/2017	10/12/2017	12/12/2017	2	22/12/2017	1	10
AUS	15	08/11/2017	09/11/2017	16/11/2017	75387,68617	17/11/2017	20/12/2017	21/12/2017	1	01/01/2018	-2	7
PC1	25	13/11/2017	14/11/2017	19/11/2017	81019,74818	20/11/2017	06/12/2017	08/12/2017	2	20/12/2017	0	8
PC2	26	19/11/2017	20/11/2017	27/11/2017	76169,44577	28/11/2017	24/12/2017	24/12/2017	0	04/01/2018	0	10
PC1	26	25/11/2017	26/11/2017	02/12/2017	77126,30044	03/12/2017	19/12/2017	20/12/2017	1	01/01/2018	1	10

APÊNDICE D – TESTE DE NORMALIDADE DE ANDERSON - DARLING

Teste de Normalidade - Carregamento USA

Normal

Teste de Normalidade - Carregamento CAN

Normal

APÊNCICE E – GRÁFICOS DE TEMPO DE ESPERA PARA DESCARGA

Gráfico 1 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 10

Gráfico 2 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 10

Gráfico 3 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 10

Gráfico 4 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 10

Gráfico 5 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 10

Gráfico 6 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 10

Gráfico 7 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 10

Gráfico 8 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 15

Gráfico 9 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 15

Gráfico 10 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 15

Gráfico 11 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 15

Gráfico 12 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 15

Gráfico 13 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 15

Gráfico 14 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 15

Gráfico 15 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 20

Gráfico 16 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 20

Gráfico 17 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 20

Gráfico 18 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 20

Gráfico 19 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33%TT seed 20

Gráfico 20 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25%TT seed 20

Gráfico 21 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20%TT seed 20

Gráfico 22 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 25

Gráfico 23 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 25

Gráfico 24 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 25

Gráfico 25 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 25

Gráfico 26 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33%TT seed 25

Gráfico 27 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25%TT seed 25

Gráfico 28 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20%TT seed 25

Gráfico 29 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 30

Gráfico 30 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 30

Gráfico 31 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 30

Gráfico 32 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 30

Gráfico 33 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33%TT seed 30

Gráfico 34 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25%TT seed 30

Gráfico 35 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20%TT seed 30

Gráfico 36 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 35

Gráfico 37 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 35

Gráfico 38 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 35

Gráfico 39 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 35

Gráfico 40 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33%TT seed 35

Gráfico 41 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25%TT seed 35

Gráfico 42 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20%TT seed 35

Gráfico 43 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 40

Gráfico 44 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 40

Gráfico 45 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 40

Gráfico 46 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 40

Gráfico 47 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 40

Gráfico 48 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 40

Gráfico 49 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 40

Gráfico 50 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 45

Gráfico 51 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 45

Gráfico 52 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 45

Gráfico 53 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 45

Gráfico 54 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 45

Gráfico 55 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 45

Gráfico 56 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 45

Gráfico 57 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 50

Gráfico 58 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 50

Gráfico 59 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 50

Gráfico 60 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 50

Gráfico 61 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 50

Gráfico 62 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 50

Gráfico 63 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 50

Gráfico 64 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 12 dias seed 55

Gráfico 65 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 8 dias seed 55

Gráfico 66 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 4 dias seed 55

Gráfico 67 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 sem buffer seed 55

Gráfico 68 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 33% TT seed 55

Gráfico 69 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 25% TT seed 55

Gráfico 70 - Evolução do tempo de espera para descarga – Programação 1 buffer 20% TT seed 55