

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
BACHARELADO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

LUIZ CLÁUDIO DA SILVA DIAS JUNIOR

**SIMULAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE MULTIPRODUTOS EM UMA LINHA DE
PRODUÇÃO FLOW SHOP DE UMA METALÚRGICA**

PONTA GROSSA

2021

LUIZ CLÁUDIO DA SILVA DIAS JUNIOR

**SIMULAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE MULTIPRODUTOS EM UMA LINHA DE
PRODUÇÃO FLOW SHOP DE UMA METALÚRGICA**

**Simulation of multiproduct sequencing in a metallurgical flow shop production
line**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Yslene Rocha Kachba.

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Jose Ceron Branco.

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

	<p>Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	
---	--	---

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

SIMULAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE MULTIPRODOTOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO FLOW SHOP DE UMA METALÚRGICA

por

LUIZ CLÁUDIO DA SILVA DIAS JUNIOR

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 26 de abril de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O(A)(s) candidato(a)(s) foi(foram) arguido(a)(s) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr(a). Yslene Rocha Kachba
Prof. Orientador(a)

Prof. Dr(a). Fabio Jose Ceron Branco
Membro titular

Prof. Dr(a). Juan Carlos Claros Garcia
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre estiveram torcendo ao meu favor, assim como as pessoas maravilhosas que conheci nesta caminhada, como professores e colegas de classe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que sempre acreditaram e me deram apoio de alguma forma durante a graduação para que fosse possível essa conquista, principalmente os meus pais e familiares.

Meus agradecimentos aos professores e meus orientadores Yslene Rocha Kachba e Fabio Jose Ceron Branco, que me deram a oportunidade de realizar pesquisas científicas e contribuíram para a realização deste trabalho, além de me oferecer sabedoria e conhecimento.

Aos meus colegas e amigos que ingressaram comigo e que conheci ao longo desses anos.

RESUMO

DIAS JUNIOR, L. C. S. **Simulação do sequenciamento de multiprodutos em uma linha de produção flow shop de uma metalúrgica**. 2021. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

A produção de multiprodutos necessita de um planejamento e sequenciamento adequado com a melhor previsão de seus cenários. Este trabalho teve o objetivo de realizar a simulação da produção de peças de ferro fundido a partir do sequenciamento atual da empresa em estudo, a qual apresenta gargalos durante a produção, e assim, com o resultado obtido através da simulação analisou-se as melhorias do processo. O procedimento utilizado para o sequenciamento foi a modelagem de simulação com o auxílio de um *software* em 3D, como estratégia de validação do sequenciamento. Nos resultados obtidos mostrou-se que o cenário simulado apresentou o *makespan* menor, com o gargalo identificado, foi possível direcionar novas estratégias para a redução de ociosidade e para a contribuição de pesquisas futuras envolvendo Planejamento e Controle da Produção e Qualidade de Processos e sugestões na melhoria do processo.

Palavras-chave: Simulação. Planejamento e controle da produção. Sequenciamento. Flow Shop.

ABSTRACT

DIAS JUNIOR, L. C. S. **Simulation of the multi-product sequencing in a flow shop production line of a metallurgical.** 2021. 30 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Production Engineering - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

The production of multi-products requires adequate planning and sequencing with the best forecast of your scenarios. This work aimed to simulate the production of cast iron parts based on the current sequencing of the company under study, which presents bottlenecks during production, and thus, with the result obtained through the simulation, the improvements of the process. The procedure used for sequencing was simulation modeling with the aid of 3D software, as a strategy for validating the sequencing. In the obtained results it was shown that the simulated scenario presented the smallest makespan, with the identified bottleneck, it was possible to direct new strategies for the reduction of idleness and for the contribution of future research involving Production Planning and Control and Process Quality and suggestions in process improvement.

Keywords: Simulation. Production planning and control. Sequencing. Flow Shop.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Prazos, ações e objetivos para o PCP.....	17
Figura 1 – Gráfico de Gantt.....	18
Figura 2 – Relação entre os campos da variável α	20
Figura 3 – Metodologia da simulação.....	23
Quadro 2 – Comparação das pesquisas existentes na literatura.....	25
Figura 4 – Mapeamento da pesquisa.....	28
Figura 5 – Mapeamento do processo.....	31
Quadro 3 – Distribuição de operações por tarefa.....	36
Figura 6 – Layout do setor de moldagem	37
Figura 7 – Gantt do cenário atual	39
Figura 8 – Gantt do cenário programado	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de processamento nas operações (em segundos).....	33
Tabela 2 – Descrição das etapas na moldagem em cura a frio	34
Tabela 3 – Capacidade de produção de moldes produto/turno	35
Tabela 4 – Produção do setor de moldagem em cura a frio	35
Tabela 5 – Programação da produção da semana 30/2019	38
Tabela 6 – Quantidade de moldes produzidos e paradas	39
Tabela 7 – Comportamento do processo no cenário atual.....	40
Tabela 8 – Tempo de produção simulado	42
Tabela 9 – Comportamento do processo no cenário programado	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

FIFO	<i>First In – First Out</i>
LIFO	<i>Last In – Last Out</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PRI	<i>Priority Service</i>
SIRO	<i>Service In Random Order</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CONTEXTUALIZAÇÃO	13
OBJETIVO GERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
JUSTIFICATIVA	14
REFERENCIAL TEÓRICO	16
PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	16
Sequenciamento	18
SIMULAÇÃO DE PROCESSOS	21
Metodologia à Aplicação da Simulação.....	22
Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	24
SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS.....	26
METODOLOGIA	27
CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	27
ETAPAS DA PESQUISA	27
RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO E MAPEAMENTO DO PROCESSO.....	30
COLETA DE DADOS E TRATAMENTO	32
SIMULAÇÃO DO CENÁRIO.....	37
Cenário Atual.....	38
Cenário Programado	41
CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O planejamento dos processos produtivos ganhou atualizações com os avanços tecnológicos na manufatura e a quantidade de informações geradas ao longo do tempo. Assim, é natural que as empresas do setor de serviços e industrial, necessitem de um planejamento e controle da produção (PCP) otimizado e eficiente, independentemente do ambiente de produção, pois os clientes se tornaram cada vez mais volúveis, ou seja, a captação e perda de clientes com maior frequência, e ainda, a subjetividade e demandas individualizadas por produtos. Contudo, acelerou-se a evolução do PCP, obtendo dessa forma, diversas ferramentas para planejar a produção (CHEN; DENG; WANG, 2018), entre elas a simulação.

Segundo Yang et al. (2018), a simulação está sendo vista com mais frequência e oferecendo maior desempenho nos sistemas com o avanço da tecnologia da informação no mundo, gerando uma produção mais inteligente, principalmente, no setor industrial. A finalidade da simulação é de reproduzir um sistema ou prever cenários, no mercado competitivo esta ferramenta é utilizada para manter-se estável e eficiente no mercado, além de conservar a posição no mercado e melhorar a capacidade de produção, adaptando o PCP à modernização.

A falta do planejamento e controle da produção pode tornar a produção mais difícil por conta de todos elementos necessários envolvidos no processo produtivo dos produtos, gerando prejuízos para a empresa, como perda de clientes, por não existir programação ideal para a entrega dos pedidos, falta de planejamento de materiais necessários, custos de estoque, entre outros. Logo, a sua importância é primordial, e traz benefícios que estão ligados diretamente e indiretamente ao bom sequenciamento da produção, como a disposição do *layout*, o qual afeta diretamente na produção e o *setup*, por exemplo, que integra a produção geral, mas que contribui tempo de processamento do produto quando bem planejado.

Quanto às abordagens de modelagem utilizadas para melhorar o PCP, existem os modelos conceituais, modelos analíticos, modelos baseados em Inteligência artificial e modelos de simulação. Em particular, a técnica de modelagem de simulação é uma abordagem considerada adequada, pois é possível de se adaptar a problemas complexos e de longo alcance na fabricação, além disso, a técnica de modelagem de simulação é uma metodologia especial utilizada para representar

configurações complicadas de processo de fabricação ou restrições do sistema de manufatura (JEON; KIM, 2016).

A modelagem de simulação mostra-se útil ao ser aplicada no setor industrial, pois as informações geradas e visualizadas a partir do sistema são previsões dos cenários estabelecidos em questões de logística interna do processo produtivo ou desejados pela organização, logo, a ferramenta se torna uma vantagem competitiva diante dos concorrentes.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A empresa em estudo, uma metalúrgica de grande porte, localizada em Ponta Grossa/PR em seu distrito industrial, apresenta dificuldades quanto ao planejamento da produção dos seus produtos, algumas das dificuldades são: a produção das partes do molde para a fabricação das peças do processo de cura a frio, este processo é a etapa inicial da fabricação, o que gera atrasos no resto da produção.

Além disso, outra dificuldade é no setor de acabamento, ou seja, o polimento das peças que são demoradas por ser realizado de forma manual com ferramentas robustas, sendo um gargalo na produção, a qual não mantém o foco do estudo, e ainda, alguns problemas na gestão da produção dos seus produtos que passam pela mesma linha de produção são as dificuldades iniciais visíveis no sistema e que pode facilmente gerar horas extras de produção desnecessários.

Devido a esses característicos problemas de sequenciamento da produção, eles acabam gerando atrasos na entrega dos produtos, logo prejudica a credibilidade da empresa, sendo assim, uma possível perda de seus clientes. Logo, a simulação do processo produtivo auxilia no melhor planejamento e sequenciamento da produção de acordo com as tendências da estrutura da metalúrgica.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é simular uma linha produtiva de um determinado *mix* de produtos em uma metalúrgica para reduzir o tempo total de processamento destes mesmos, em condições atuais da linha.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para possibilitar a obtenção do resultado esperado no objetivo geral, foram definidos objetivos específicos:

- Mapeamento do processo, por meio, do estudo dos tempos de cada operação;
- Analisar o tempo de processamento, a ociosidade, e outras variáveis do sistema atual da linha em estudo;
- Simular o sequenciamento ideal do processo de produção de ferro fundido por meio de cura a frio, nas condições atuais.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como justificativa a realização de um sequenciamento real da produção e mostrar quais são suas influências no sistema e buscar uma melhoria neste sequenciamento, para otimizar o processo produtivo atual com a ajuda do agendamento da fabricação dos produtos, uma vez que, com a estratégia de programação da produção ideal é possível reduzir significativamente o *makespan* (tempo total de processamento) e aumentar a produtividade.

Segundo Krenczyk et al. (2017), os problemas de planejamento e agendamento da produção consideram os recursos de produção como as únicas restrições dentro de um sistema. Porém, existem outras variantes neste nível operacional, como o *layout* e o sequenciamento ideal.

Pesquisas realizadas anteriormente, utilizam frequentemente a simulação para encontrar o tempo total de processamento, neste caso, complementando ao utilizar a ferramenta de simulação com o sequenciamento ideal e determinando valores probabilísticos para analisar opções de cenários em diferentes níveis de

experimentos, logo que, atualmente, é importante estar preparado para o mercado volúvel e com demandas imprevisíveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção aborda os assuntos discutidos durante o trabalho, para o melhor entendimento do mesmo e para o seu desenvolvimento, relacionados a PCP e simulação de processos.

2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Segundo Russomano (2000), o PCP sustenta a coordenação conjunta das atividades relacionadas à produção, do início ao fim, que oferece apoio para a produção e compras dos materiais que envolvem as atividades para o processamento do produto, através de métodos para atingir este objetivo. Todo processo produtivo possui entradas e saídas, e dentro dessas extremidades é encontrado as operações, o conjunto é dado como um sistema e quando trabalham juntos, este sistema busca um objetivo em comum (CHWIF; MEDINA, 2010).

O planejamento e controle da produção têm um papel fundamental que permite ao fabricante obter visibilidade e controle sobre todos os aspectos relacionados às atividades de fabricação (JEON; KIM, 2016). Ainda, os sistemas, procedimentos e decisões estão ligadas diretamente aos aspectos da oferta e demanda da produção e que precisam ser trabalhados de forma planejada para atingir o objetivo de garantir a eficácia e eficiência de acordo com a necessidade dos consumidores (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Em uma demanda tradicional, a mais conhecida, é comum que os pedidos realizados entram no sistema no $t = 0$, e todos as operações são conhecidas antes do processamento. Hoje, estudos apresentam a demanda *online*, segundo Lee, Zheng e Pinedo (2019), os processos são apresentados no sistema no $t = 0$, a partir de um algoritmo, um de cada vez, como uma lista, ou seja, quando se tornam conhecidos à demanda o algoritmo realiza imediatamente um sequenciamento a ser passado pelas máquinas disponíveis.

Segundo Lanzetta et al. (2016), quando estamos nos referindo a processos e operações, o planejamento da produção exige a definição de tempos de atividade, que são afetadas por algumas variáveis e resultados dentre elas: *layout*; manutenção;

capacidade; tempo de produção; custos, entre outros. Dependendo da condição, o planejamento e controle da produção é mudado ao longo do tempo, como ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Prazos, ações e objetivos para o PCP

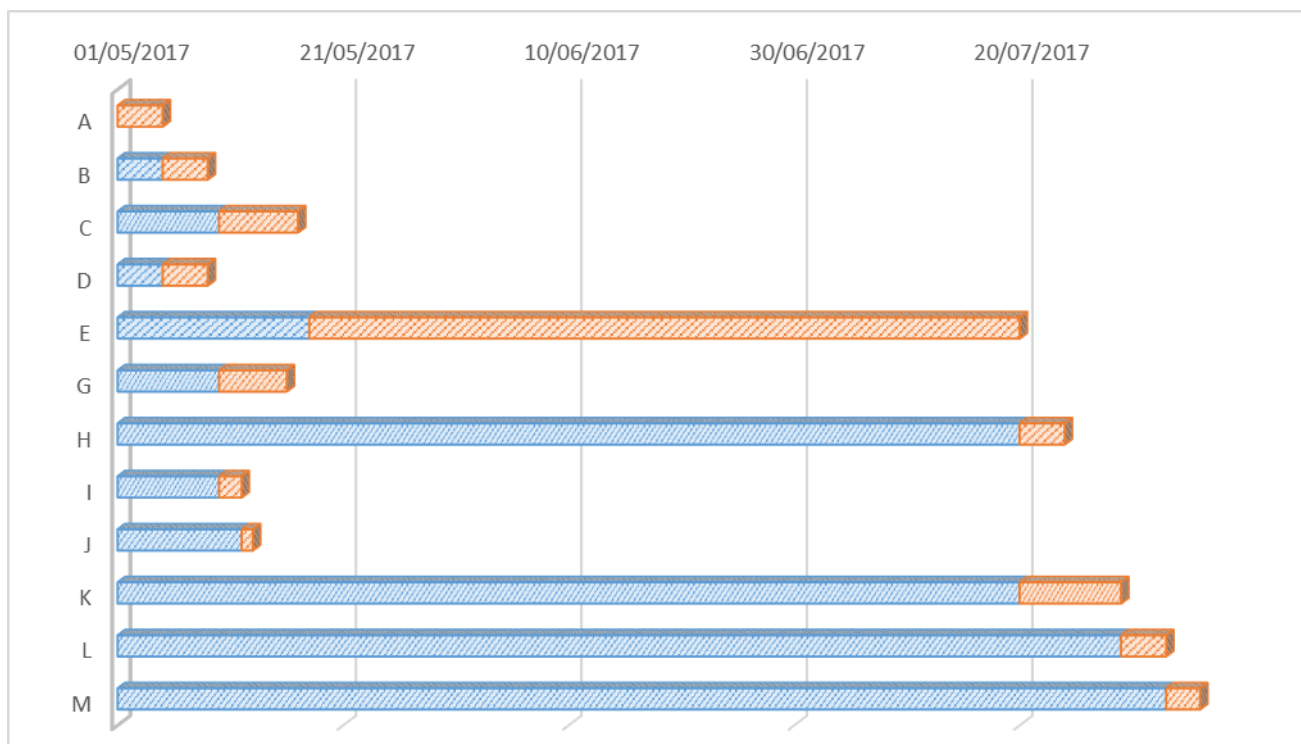
Prazos	Ação	Objetivo
Longo prazo	Prevê	Demanda agregada
	Determina	Recursos
	Estabelece	Termos financeiros
Médio prazo	Prevê	Demanda desagregada
	Determina	Recursos e contingência
	Estabelece	Termos financeiros e operacionais
Curto prazo	Prevê	Demanda desagregada ou real
	Determina	Recursos para corrigir desvios dos planos
	Estabelece	Operacionais (caso a caso)

Fonte: Adaptação de SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON (2009)

A longo prazo, o plano é considerado estratégico, pois é traçado objetivos que serão pretendidos alcançar, preocupando-se com os termos financeiros. Quanto ao médio prazo, segundo o autor, consiste em um planejamento mais detalhado, possuindo uma visão da demanda global, mas com planos de contingência para possíveis mudanças no planejamento. E a curto prazo, uma atividade a nível operacional, na qual, a demanda precisa ser desagregada, ou seja, menos incerta, mas necessária para tentar manter o equilíbrio entre a qualidade e os custos (SLACK; HAMBERS; JOHNSTON, 2009). Neste trabalho, a exploração é a nível operacional, para realizar atividades referentes a uma coleção ou *mix* de produtos dentro de uma linha de produção.

Para complementar, possui o Gráfico de Gantt como uma ferramenta essencial e mais utilizadas no Planejamento e Controle da Produção. Segundo Paiva, Sodré e Castro (2019), utilizado para a elaboração de cronogramas internos e acompanhamento de fabricação, e têm como objetivo a visualização do início e término das tarefas. Além de, possibilitar a divisão das atividades e determinar o tempo de execução, ou seja, o *makespan*. Na Figura 1, o gráfico de Gantt é exemplificado através dos tempos de processamento de determinados produtos.

Figura 1: Gráfico de Gantt



Fonte: Autoria própria

O PCP, possui várias ferramentas que podem ser utilizadas e dentro desse nível, uma das áreas é o sequenciamento da produção, e que é estudado neste trabalho, a fim de reduzir o encontrar o melhor plano para a empresa com a ajuda e auxílio de outras ferramentas para complementar.

2.1.1 Sequenciamento

Programação do agendamento da produção é uma das ferramentas dentre outras existentes no PCP que, segundo Chen, Deng e Wang (2018), é visto comumente em áreas de transporte, fabricação, cuidados hospitalares e outros, com o objetivo de concluir um trabalho ou realizar uma tarefa dentro de um tempo limitado, utilizando a quantidade mínima dos seus recursos, inclusive o tempo. Esta programação presente em sistemas de produção possui classificações de acordo com o fluxo de operações (NAGANO; MOCCELLIN; LORENA, 2004), entre as classificações, elas possuem suas variações, dentre as classificações primarias principais são:

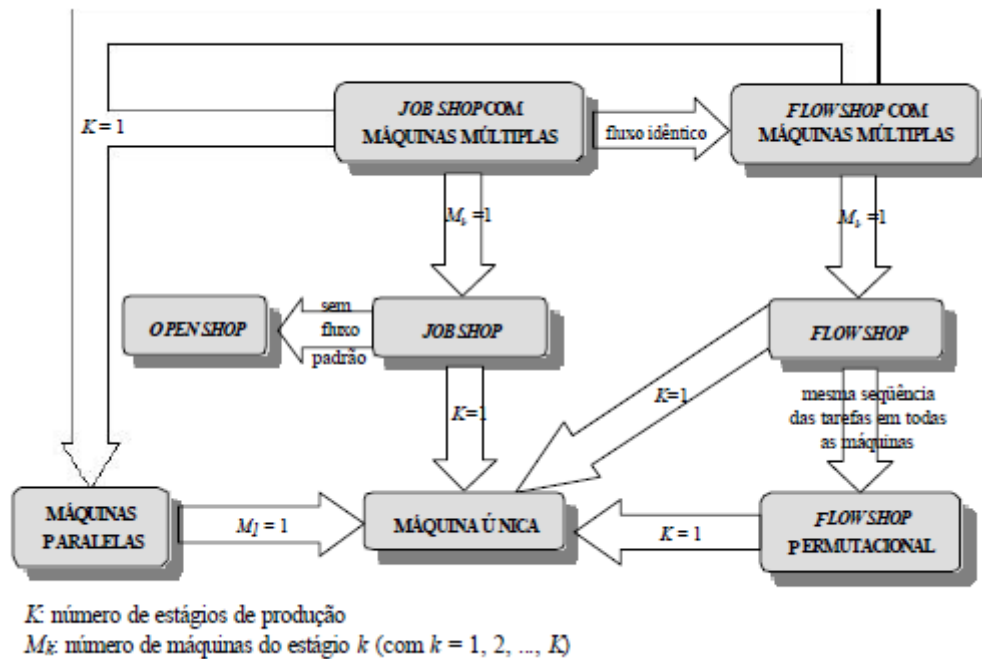
- **Job Shop:** cada item tem sua sequência específica de processamento no conjunto de máquinas;
- **Flow Shop:** todos os itens passam pela mesma sequência de processamento;
- **Open Shop:** não existe uma sequência específica nas máquinas para o processamento dos itens.

Além disso, o agendamento da produção pode ser realizado determinístico ou estocástico, ou seja, quando determinístico refere-se ao número de entradas, saídas, número de tarefa e número de máquinas são finitos, ou seja, existem valores definidos e são conhecidos (PINEDO, 2012), o autor ainda, diferencia outros problemas de programação, no qual, o número de máquinas são finitas e as operações são estabelecidos pela variável α e representa o ambiente das máquinas:

- **Máquina única:** Apenas uma máquina para o processamento das atividades;
- **Máquinas paralelas:** Duas ou mais máquinas em paralelo para a mesma atividade, em que as tarefas podem ser processadas sem interferência;
- **Flowshop com máquinas paralelas:** Semelhante ao *flowshop*, exceto que há mais de uma máquina em cada uma das etapas de produção;
- **Flowshop flexível:** Oriundo dos conceitos de *flowshop* e *flowshop* com máquinas paralelas, o *flowshop* flexível possui máquinas paralelas iguais em cada estágio de produção, dessa forma as tarefas podem ser processadas em qualquer máquina e ter um resultado menor de processamento.
- **Jobshop com máquinas paralelas:** Semelhante ao conceito *jobshop*, porém há mais de uma máquina em cada uma das etapas de produção.

Além disso, e para ser considerado determinístico não deve conter variáveis probabilísticas. A Figura 2, exemplifica a relação entre os diferentes campos da variável α :

Figura 2: Relação entre os campos da variável α



Fonte: (Adaptação apresentada por Moccellin e Nagano, 2003, a partir da figura apresentada por MacCarthy e Liu, 1993).

No estocástico, os valores são conhecidos apenas a partir do processamento, desde o lançamento e até a conclusão, todas as variáveis são aleatórias e probabilísticas. Ainda, com a programação da produção é possível melhorar a produtividade, reduzir o ciclo e custo de produção, maximizando os lucros do empreendimento, teoricamente.

Ainda, é preciso identificar o critério de atendimento, que segundo Flogiatti e Mattos (2007), é estabelecido pelo regime do sistema, tal critério irá determinar a sequência de entrada dos componentes no sistema, dentre os critérios mais notados na literatura são:

- **FIFO**: o primeiro componente a entrar no sistema é o primeiro a ser atendido;
- **LIFO**: O último componente a entrar no sistema é o primeiro a ser atendido;
- **PRI**: o atendimento segue uma ou mais prioridades definidas pelo sistema ou sua gerência;
- **SIRO**: o serviço de atendimento é de ordem aleatória.

As classificações a serem definidas para o sequenciamento, facilita a modelagem de simulação do processo, mesmo sendo abordagens qualitativas. No qual, a seleção do critério auxilia a compreensão o sistema em estudo.

2.2 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Na Matemática, o significado de simulação refere-se à representação de um sistema ou de um processo, com a finalidade de analisar e até mesmo manipular os efeitos gerados com uma prévia do funcionamento do processo a partir da mesma. A simulação está presente em diversos campos de aplicação desde setor de serviços ao industrial, o mesmo tem sido usado para a otimização do desempenho, redução do tempo de ciclo e avaliação do desempenho (SELEIM; ELMARAGHY, 2015). E este trabalho é direcionado especificadamente para o setor industrial.

Dentre os tipos de simulação, eles podem ser computacionais, os que necessitam de *software* e *hardware* para ser realizada a análise, ou não computacionais, que realiza a experimentação direta sem meios digitais ou computacionais, ou seja, podendo ser analisado através de protótipos, por exemplo (CHWIF; MEDINA, 2010).

As computacionais colaboram para a simulação de cenários, utilizado normalmente para testar a melhoria do sistema, pois a mesma consegue reproduzir um sistema com as características e tempos próximos a realidade, assim, podem ser conduzidos considerando a utilização de recursos e otimização da operação (YUANCHENG, et al. 2015).

Segundo Astiazara (2005), através da simulação é capaz de observar o desempenho de um sistema, e ainda, ser utilizado como uma fase de testes para o funcionamento do sistema e assim, comparar diversos cenários a partir de diversas simulações e encontrar a solução ou configuração ideal para o problema atual. Para realizar a simulação computacional, a qual consegue reproduzir a essência de um sistema e à qual será estudada, é necessário saber o tipo de sistema, dentre eles podem ser por simulação de Monte Carlo, contínua ou de eventos discretos.

Na simulação do tipo de método Monte Carlo, o mesmo funciona a partir da aleatoriedade dos valores para simular o sistema, o mesmo é muito utilizado para a

solução de problemas matemáticos e o tempo é uma variável (CHWIF; MEDINA, 2010), o autor defende que o modelo serve para realizar simulações aproximadas com a maioria de possibilidades e combinações desejadas pelo usuário, inclusive o tempo.

Segundo Wang (2017), a possibilidade deste método na sua aleatoriedade é capaz de executar projetos com sucesso com vários cenários de incerteza, com a finalidade de estudar as probabilidades de falha até mesmo independente do tamanho da amostra.

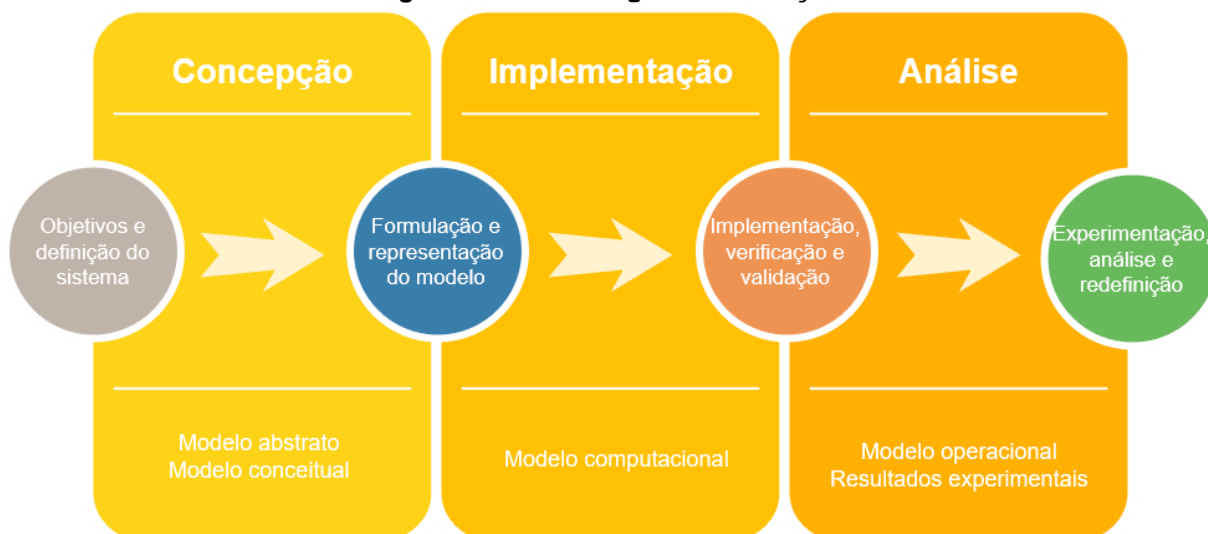
Na simulação contínua, é caracterizado pela mudança de estado do sistema ao longo do tempo, porém o estado varia de maneira contínua em relação ao tempo. De acordo com Taha (2012), os eventos contínuos normalmente apresentam equações diferenciais para apresentar as interações entre os diferentes componentes do sistema.

Nos eventos discretos, este modelo é caracterizado pelo comportamento do sistema ao longo do tempo, no qual as suas variáveis são alteradas no decorrer dos eventos, ou processos (CHWIF; MEDINA, 2010). Os valores são discretos, ou seja, são definidos, podendo ser finitos ou enumeráveis. E ainda, para Taha (2012), tratam principalmente do estudo das filas e esperas dentro de um sistema.

2.2.1 Metodologia à Aplicação da Simulação

A importância de seguir os passos para a aplicação da simulação é relevante, pois ajuda na obtenção de resultados mais confiáveis para a análise final do sistema, segundo Chwif e Medina (2010) existem três etapas para realizar a aplicação de um modelo de simulação, e dentro de cada etapa elas são ramificadas, na Figura 3 são apresentados as etapas da metodologia de simulação.

Figura 3 – Metodologia da simulação



Fonte: Adaptação de Chwif e Medina (2010)

A etapa de concepção é a primeira que precisa ser definida e ser entendida com clareza para definir os objetivos da simulação do sistema, nesta mesma fase são coletados os dados de entrada, e para continuar deve saber o tipo de simulação de processo que será utilizado dentre os citados anteriormente e formular um modelo abstrato. A partir disso, é finalizado esta etapa a fim de gerar um modelo conceitual, o qual dará origem a um modelo conceitual, e as pessoas que estejam envolvidas tenham o entendimento dele.

Na segunda etapa, a implementação, a formulação e apresentação do modelo devem estar bem definidos, o modelo conceitual é transformado em um computacional, por meio de modelagem de simulação com programações específicas ou projeção do sistema real. A última etapa se refere a análise, que a partir do modelo operacional, onde ocorre a execução da simulação será gerado os resultados experimentais. Além disso, é possível compilar a simulação várias vezes e buscar melhorias, podendo ser modificado, logo, este é uma etapa que, dependendo da finalidade do modelo é possível continuar reiniciar o ciclo.

2.2.2 Vantagens e Desvantagens da Simulação

A finalidade da simulação, segundo Frigeri, Bianchi e Backers (2007), é analisar o comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas, usar o modelo para prever comportamentos futuros, independente do período de espaço de tempo, ou seja, resulta em muitos cenários e possíveis resultados para serem estudados, sendo possível dizer que são vantagens de utilizar a simulação.

A simulação pode ser uma eficiente e eficaz ferramenta para apoiar o planejamento e verificação de cronogramas de produção sujeito a limitações de manuseio de matérias (KRENCZYK, et al. 2017), ou seja, os sistemas simulados podem beneficiar os gestores em uma análise rápida, mesmo com suas restrições.

Em contrapartida, a simulação pode ser um grande atraso para os planos, pois dependendo da quantidade de variáveis utilizadas pode ser tornar lenta a sua realização. As principais desvantagens estão relacionadas ao tamanho do modelo, a sua complexidade e o tempo gasto para a sua construção (FRIGERI; BIANCHI; BACKERS, 2007).

Trabalhos anteriores utilizaram a simulação como forma de contribuição para a tomada de decisão para resolver problemas no planejamento e controle da produção nas indústrias, principalmente a curto prazo, como agendamento e manuseio de materiais, o que afeta diretamente no lucro da empresa.

Além disso, segundo Kachba, Dias Junior e Branco (2018), através de métodos é capaz de minimizar o tempo de processamento de diversos produtos em uma linha de produção. No Quadro 2, é apresentado a utilização das ferramentas em estudos encontrados na literatura.

Quadro 2 – Comparação das pesquisas existentes na literatura

Autores	Setor	Objetivo	Método
Yang, et al. (2018)	Produção de aço	Planejamento de cobrança para minimizar o valor do pedido	Algoritmo evolucionário modificado
Chen, Deng & Wang (2018)	Industrial	Plano de agendamento na produção em um ambiente <i>jobshop</i>	Simulação para modelo flexível de <i>job shop</i>
Mousavi, et al. (2017)	Industrial	Reduzir o <i>makespan</i> e minimizar o número da AGV's	Algoritmo GA-PSO
Zhao, et al. (2015)	Serviços	Redução do <i>makespan</i> na detecção de gargalos	<i>Desing of Experiments</i> (DOE)
Frigeri, Bianchi & Backes (2007)	Nenhum	Redução de custos	Simulação
Jeon & Kim (2016)	Industrial	Planejamento da produção	Simulação utilizando o FlexSim
Bányai, Landschütze & Bányai (2018)	Industrial	Modelagem e análise de processos de implantação de recursos humanos	Cadeia de Markov
Chen (2016)	Nenhum	Maximizar a eficiência da utilização dos recursos	Simulação a partir de um algoritmo heurístico
Sampaio & Trevisan (2017)	Nenhum	Levantamento de análise de métodos de predição	Software Arena
Pan, et al. (2014)	Serviços	Redução do tempo de serviço prestado e agendamento de consultas	Simulação de eventos discretos no FlexSim
Carvalho (2014)	Industrial	Prevenção de comportamentos indesejáveis	Simulação de eventos discretos no FlexSim
Carreira, Vieira & Bronzati (2015)	Serviços	Análise de serviços prestados em uma lotérica	Simulação real no FlexSim
Chengming, Ying & Shouqi (2016)	Industrial	Redução do número de operadores, do custo e melhorar a eficiência da produção	Simulação utilizando o FlexSim
Heydarian & Jolai(2018)	Industrial	Orientar na tomada de decisão	Simulação computadorizada fuzzy
Katchasuwanmanee, Bateman & Cheng (2016)	Industrial	Redução do consumo de energia e processos de fabricação	Sistema e-ProMan
Mousavi, et al. (2017)	Industrial	Minimizar o <i>makespan</i> e o número de AGV's	Algoritmo híbrido GA-PSO
Oyebolu, et al. (2019)	Industrial	Auxiliar na tomada de decisões operacionais	Simulação de eventos discretos de bioprocessos contínuos

Fonte: Autoria própria

Observa-se que as pesquisas possuem grande diversidade na utilização da simulação entre os métodos utilizando algoritmos para atingir os seus objetivos, dentre eles, auxílio na tomada de decisão, agendamento da produção, redução do

makespan, entre outros, e ainda, é possível perceber a sua aplicabilidade frequente no setor industrial.

Além dos métodos, existe a programação linear que é uma técnica que presume a interação linear entre as características ou variáveis do problema, buscando a solução ótima para o problema estudado.

2.3 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

A utilização da simulação como ferramenta de validação de processos é ideal para redução de custos, principalmente os evitáveis, segundo Juran (1998), os custos evitáveis poderiam ser reduzidos eficientemente, tais custos podem ser falhas internas como refugo, retrabalho, e externas como devolução de pedidos, perda de clientes. Dentre os segmentos que possuem maior aplicação estão os logísticos e de processos industriais, o qual vem se tornando mais competitivo com a utilização da simulação como um diferencial competitivo para garantir o funcionamento ideal do processo e evitar perdas e aumentar os lucros a longo prazo.

Além disso, a simulação de cenários orienta na análise de estoques, principalmente em campos industriais como o estudo de caso, o qual proporciona através da análise da demanda o *mix* ideal a partir dos materiais em disponíveis em estoque, ou geração de filas durante o processo ou seja um desbalanceamento da linha, mas ainda é possível através da simulação do cenário proporcionar uma visão futura do *lead time* do processo ou do *takt time* e de possíveis ajustes antes de sua implantação.

Os cenários em análise auxiliam na tomada de decisão, o qual faz parte da estratégia da organização, porém, a escolha e peso da tomada conta com fatores humanos e os objetivos que desejam ser alcançados a partir do estudo desses cenários, sendo capaz de concluir incertezas, evitar a utilização de recursos financeiros, melhor aproveitamento de recursos humanos e otimização do processo.

3 METODOLOGIA

Esta seção tem por objetivo expor o tipo de pesquisa que será utilizada, assim como a sua classificação e as etapas dos procedimentos realizados para atingir o principal objetivo estabelecido neste trabalho.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

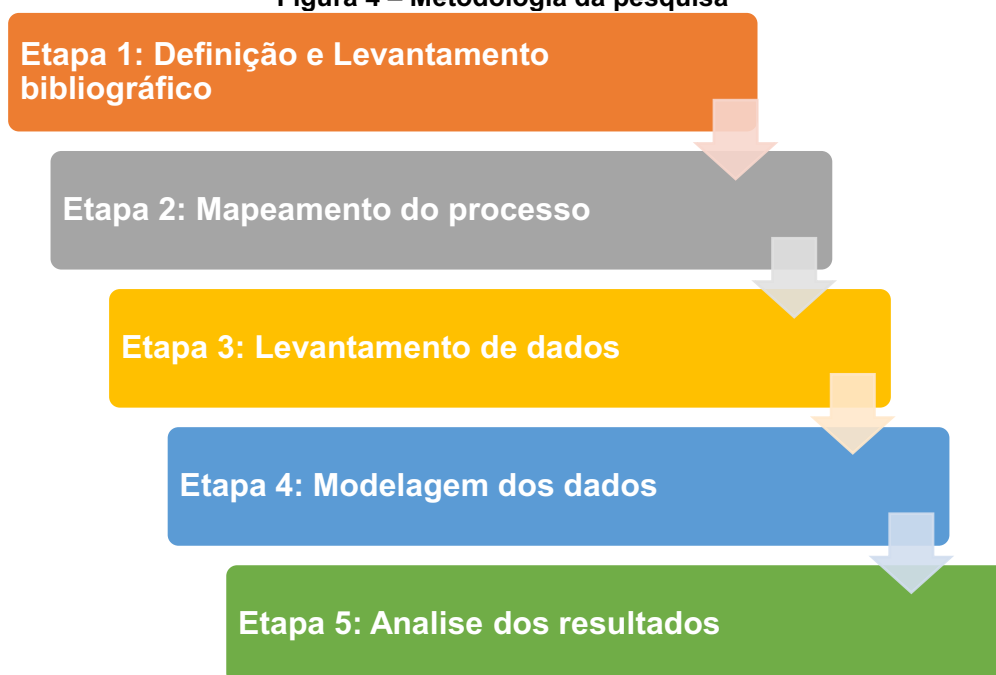
Este trabalho possui a natureza de sua pesquisa como aplicada para atingir os objetivos específicos e gerais presentes na introdução, pois busca gerar conhecimento prático da utilização da simulação em uma determinada linha de produção *flow shop*, dentro do planejamento e controle da produção em forma de análise para encontrar soluções da redução do tempo de produção dos produtos.

Quanto a sua abordagem é classificada como quantitativa, pois, a pesquisa busca analisar a partir dos dados coletados, conduzindo as variáveis da pesquisa por meio de simulação com o objetivo de propor redução do *makespan*. Segundo Miguel et al. (2012), este tipo de abordagem, dentro de uma pesquisa, precisa de métodos apropriados para ser conduzido, logo, na simulação é possível alterar e manipular as variáveis e seus níveis.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado em cinco etapas, apresentados na Figura 4, para atingir os objetivos definidos.

Figura 4 – Metodologia da pesquisa



Fonte: Autoria própria

Na etapa 1, realizou-se a definição do estudo e levantamento bibliográfico, ou seja, o motivo desta pesquisa e a pesquisa das informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, que estão presentes na literatura entre livros, artigos científicos entre outros materiais que abordam o tema. Inicialmente, a definição do assunto foi proposta com o objetivo de utilizar *softwares* específicos dentro do planejamento da produção para reduzir o tempo de produção, um dos problemas frequentemente encontrados no setor industrial e que pode ser resolvido ao ser observado de maneira mais visual e explicativa para os gestores.

Quanto ao levantamento bibliográfico, realizou-se uma investigação das informações necessárias, primeiramente em bases de dados científicos, alguns dos mais relevantes atualmente na área da Engenharia de Produção são o *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*, no período de pesquisa entre 2015 e 2019 e com a utilização das seguintes palavras-chave: "*simulation*", "*manufacturing*", "*scheduling*" e "*optimization*", com o conectivo "AND", selecionando os principais *Journals* da área de pesquisa operacional e planejamento e controle da produção.

A partir dos 325 artigos encontrados, foram exportados para o *software* Zotero, para a filtragem dos artigos, dentro dos filtros foram excluídos os artigos duplicados, os que não tinham relação ao assunto e os que não estavam disponíveis

para visualizar a versão final, respectivamente nesta ordem de pesquisa. Após a refinação, restaram 21 artigos.

Na etapa 2, o mapeamento do processo foi desenvolvido a partir de informações disponibilizadas pelos gestores do setor de Engenharia da empresa em estudo, para o melhor entendimento do processo de produção dos multiprodutos na linha, e assim, realizar a coleta de dados considerados relevantes para a pesquisa.

Na etapa 3, o levantamento de dados foi realizado através de observações e entrevistas desde o setor de PCP até a expedição dos produtos, o estudo focou em um tipo de produção, de cura a frio, o qual é o mais utilizado na empresa e atualmente apresenta a maior quantidade de problemas na linha. Além disso, cada etapa do processo, possui máquinas com tempos de processamento e de espera próprios.

O objetivo do levantamento é de ter uma visão geral do processo produtivo nesta linha para realizar os próximos passos da simulação. Diante da coleta de dados, a empresa possui dois turnos de trabalho no setor produtivo, das 07:10 às 17:00 e das 22:00 às 07:10, exceto o setor de acabamento que funciona das 05:00 as 14:00 e das 15:00 às 22:00, todos com intervalo de 1 hora de intervalo, exceto o processo de moldagem de cura a frio que funciona sem parar nos turnos, e ambos de segunda a sexta, sem contar as horas extras. A metalúrgica possui uma capacidade de 36 itens em média, dependendo do *setup* na troca de peça a ser fabricada, está quantidade média consegue ser atendida em cada turno de produção.

Na etapa 4, para modelagem dos dados foi identificado o melhor modelo para realizar análises a partir dos dados coletados, logo, a simulação de um sistema em 3D é capaz de trazer informações importantes para o estudo, o *software* escolhido foi FlexSim 2019 2.0 versão gratuita, a qual disponibiliza trabalhar com mais variáveis dentro do modelo, porém com o número limitado de objetos de 30 objetos, quanto ao *hardware* utilizado foi o processador Intel (R) Core (TM) i5-7200U CPU @ 2.5GHz 2.71 GHz, com memória RAM de 8,0 GB, sistema operacional de 64 bits

Na etapa 5, os cenários obtidos a partir da simulação é possível encontrar as filas geradas no sistema atual e traçado informações adicionais sobre a visualização dos benefícios que o planejamento irá oferecer, logo, as melhorias propostas para a modelagem serão feitas inserindo a demanda *online* e propondo um novo sequenciamento a cada pedido feito pelo cliente.

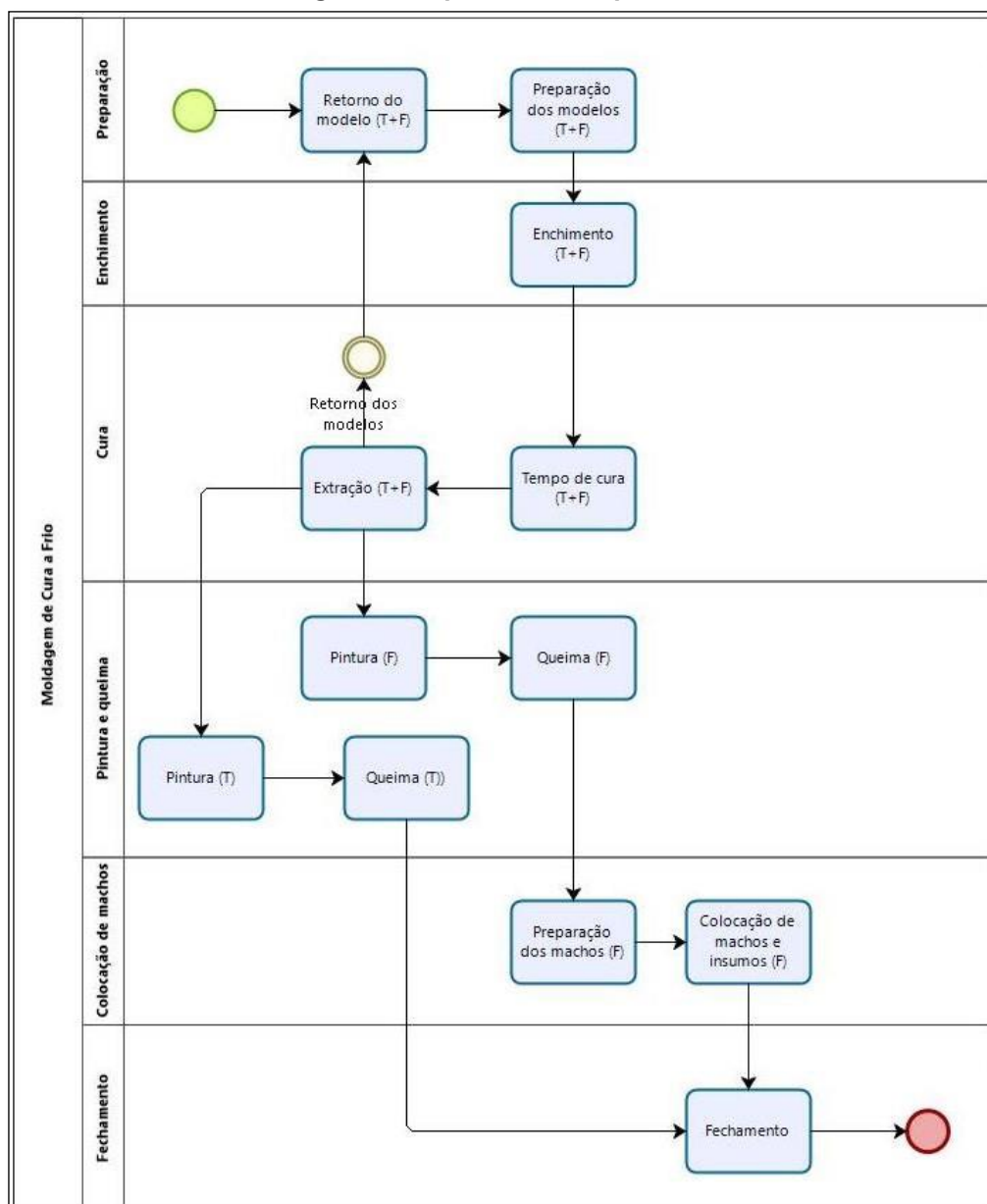
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação da simulação ocorreu partir da programação da produção programada no período em estudo e a produção real, ou seja, que foi realizada. O estudo em questão, foi aplicado na linha de produção já existente de peças metálicas em uma etapa do processo, o qual agrega maior valor ao produto, conhecido como moldagem em cura a frio. A aplicação, foi desenvolvida em quatro etapas, o primeiro, a identificação do cenário em estudo e mapeamento do processo, o segundo, coleta de dados e tratamento, o terceiro, a simulação do cenário e o quarto, a análise do cenário e suas conclusões a partir da simulação.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO E MAPEAMENTO DO PROCESSO

A identificação do cenário foi classificada a partir da importância no processo, por isso definiu-se uma etapa específica, a moldagem, para atingir o objetivo do estudo, além disso, a etapa da moldagem é considerada a que agrega maior valor e atualmente possui o maior controle de apontamentos na fabricação das peças. Diante disto, realizou-se o mapeamento do processo para entender o fluxo da linha e identificar as marcações e operações realizadas neste processo, o mapeamento do processo (Figura 5) foi desenvolvido no Bizagi Modeler versão 3.4.1.068.

Figura 5: Mapeamento do processo



Fonte: Autoria própria

O desdobramento das atividades com o auxílio do *software* foi fundamental para visualizar tempos e a distribuição das atividades no setor de moldagem de cura a frio. Este processo de mapear foi realizado em diferentes horários no período da manhã e tarde, com a ajuda dos colaboradores da fábrica, informando com maiores detalhes técnicos as etapas do processo.

O início desta etapa do processo conta com a preparação dos modelos, que são moldes em ferro para reproduzir cópias das peças que terão o formato desejado com a liga de ferro, podendo ser nodular ou cinzento, que será despejada na próxima

etapa deste processo, os modelos nesta etapa só precisam de pequenos ajustes ou adequação para receber a mistura de areia, pois a preparação de conformidade da peça e alteração de modelo, é preparada na ferramentaria da fábrica e transportada para próximo do processo, em seguida, no enchimento é recebido a mistura de areia, que é despejada no modelo através de uma máquina e manuseada pelos operadores até o preenchimento.

Seguindo sequência no processo, o tempo de cura é uma etapa essencial do processo, pois corresponde ao tempo necessário para o endurecimento do molde para que possa receber a liga de ferro, em seguida é realizado a extração do modelo e segue sequência o molde de areia, enquanto o modelo é retornado para o início do processo e dar origem a um novo molde.

Na etapa de pintura e queima, é feito o processo de pintura por lavagem superficial da tampa e do fundo do molde primeiramente, também conhecido como molhagem dos moldes com um jato a pressão, é utilizado um líquido inflamável para realizar a próxima etapa, a queima dos moldes, e assim, liberar gases e evitar que as peças em ferro fundido apresentem não conformidades na superfície da peça.

Em seguida, algumas peças passam pela colocação de machos, de filtros e outros insumos, para receberem a liga metálica específica para cada tipo de peça, os machos que são posicionados na caixa são utilizados para criar forma na peça como por exemplo, a formação de passagem de canais, passagem de eixos entre outros. A etapa final deste processo de modelagem, é o fechamento dos moldes, neste caso, a tampa e o fundo, eles são posicionados e unidos com uma cola especial para os modelos permanecerem fixados durante a fusão, ou seja, o despejo da liga metálica.

4.2 COLETA DE DADOS E TRATAMENTO

O procedimento da coleta de dados em primeiro momento ocorreu a partir da busca dos dados teóricos na base de dados do setor da engenharia, o mesmo forneceu os dados de processamento de cada item e disponibilizou as operações em cada etapa do processo para manter maior fidelidade no *makespan*.

Na planilha, a qual foi ordenada por sequência de processamento, os itens na tabela foram codificados por letras para manter as informações dos clientes e código interno da empresa, os dados podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 –Tempo de processamento nas operações (em segundos)

Nº	Operação	Produto								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Estirpagem	30	30	30	30	30	30	30	30	30
2	Preparação dos Modelos	475	590	0	0	260	260	209	209	416
3	Preparação dos Modelos	40	40	40	40	40	40	40	40	40
4	Enchimento	374	325	209	205	394	394	177	177	399
5	Enchimento	40	40	40	40	40	40	40	40	40
6	Enchimento	75	61	0	0	44	44	71	71	32
7	Cura	600	600	600	600	600	600	600	600	600
8	Estirpagem	40	40	40	40	40	40	40	40	40
9	Estirpagem	160	160	160	160	160	160	160	160	160
10	Estirpagem	20	20	20	20	20	20	20	20	20
11	Pintura Fundo	141	247	0	0	68	68	55	55	105
12	Pintura Fundo	45	61	40	0	65	65	60	60	56
13	Pintura Fundo	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14	Queima Fundo	197	184	210	0	288	288	390	390	236
15	Colocação de Machos e Insumos	10	10	10	10	10	10	10	10	10
16	Colocação de Machos e Insumos	0	0	0	0	38	38	0	0	0
17	Colocação de Machos e Insumos	480	403	0	0	119	119	180	180	0
18	Fechamento	10	10	10	10	10	10	10	10	10
19	Pintura Tampa	30	30	30	30	30	30	30	30	30
20	Pintura Tampa	114	301	0	0	140	140	76	76	93
21	Pintura Tampa	36	88	36	0	55	55	71	71	72
22	Pintura Tampa	10	10	10	10	10	10	10	10	10
23	Queima Tampa	179	198	238	0	221	221	240	240	304
24	Fechamento	50	50	50	50	50	50	50	50	50
25	Fechamento	262	143	0	0	128	128	120	120	179

Fonte: Autoria própria

A Tabela 1, apresenta o tempo de processamento dos produtos em cada operação, descritos do número 1 ao 25, cada operação possui uma descrição da mesma, que podem ser visualizados na Tabela 2 de descrição de cada operação.

Tabela 2 – Descrição das etapas da moldagem em cura a frio

Nº	Descrição da operação
1	Retorno do Modelo (T + F)
2	Preparação dos Modelos Tampa e Fundo
3	Movimentação para Enchimento Tampa e Fundo
4	Enchimento Tampa e Fundo
5	Movimentação para Cura (T + F)
6	Reguar e Retirar Alívios (T + F)
7	Tempo de Cura
8	Movimentação para Rollover Tampa e Fundo
9	Rollover - Extração do Bolo Tampa e Fundo
10	Movimentação para a Pintura Fundo
11	Preparação Pintura Bolo Fundo
12	Pintura Bolo Fundo
13	Movimentação para Queima Fundo
14	Queima Bolo Fundo
15	Movimentação para Colocação de Machos
16	Preparação de Machos
17	Colocação de Machos e Insumos de Moldagem
18	Movimentação Bolo Fundo para o Fechamento
19	Movimentação para a Pintura Tampa
20	Preparação Pintura Bolo Tampa (manipulador, lixar, furar, limpar)
21	Pintura Bolo Tampa
22	Movimentação para Queima
23	Queima Bolo Tampa
24	Movimentação Bolo Tampa para o Fechamento
25	Fechamento

Fonte: Autoria própria

As operações são apenas do processo de moldagem em cura a frio, o qual é realizado o estudo de sequenciamento. Como o sequenciamento é *flow shop*, ou seja, todos os produtos seguem o fluxo da linha, porém não necessariamente acontece o processamento.

Ainda, existe uma restrição na produção do molde, que são as caixas de moldagem, as quais recebem a mistura de areia e os insumos a formação do molde, estas caixas são limitadas e existem produtos que utilizam a mesma caixa no processo produtivo, a Tabela 3 mostra o limite de caixas de moldagem utilizadas, por turno de trabalho de cada item.

Tabela 3 – Capacidade de produção de moldes produto/turno

Produto	Quantidade de caixas/turno
A	6
B	7
C e D	5
E e F	5
G e H	8
I	8

Fonte: Autoria própria

Em seguida, foi feito o levantamento da produção de moldes realizada na semana do dia 22/07/2019 ao dia 25/07/2019. No qual todos os de A a I foram produzidos nos dois turnos totalizando 220.920 segundos, desconsiderando 3.600 segundos diários de intervalo e os apontamentos de paradas durante o período de produção de 13.200 segundos. Os valores do tempo de produção total foram considerados a partir dos apontamentos realizados diariamente pelo líder produtivo no período analisado, como visualizado na Tabela 4 de tempo real de produção.

Tabela 4 – Produção do setor de moldagem em cura a frio

Dia	Turno	Início	Fim	Horas trabalhadas	Tempo total (segs)
22/07/2019	Dia	07:10	15:58	08:48	31680
22/07/2019	Noite	00:28	08:10	07:42	27720
23/07/2019	Dia	07:10	15:00	07:50	28200
23/07/2019	Noite	00:28	08:10	07:42	27720
24/07/2019	Dia	07:10	15:58	08:48	31680
24/07/2019	Noite	00:28	08:10	07:42	27720
25/07/2019	Dia	07:10	15:58	08:48	31680
25/07/2019	Noite	00:28	08:10	07:42	27720

Fonte: Autoria própria

A produção conta com 10 operadores no turno da manhã e mais 10 operadores no turno da noite, sem considerar o líder que gerencia o setor. Cada operador possui o seu posto de trabalho definido pelo líder, dos setores considerados na tabela 1 e tabela 2, do número 1 ao 25. No Quadro 3, podemos visualizar o posto de trabalho de cada operador.

Quadro 3 – Distribuição de operadores por tarefa

Nº	Posição 3	Posição 5	Posição 8	Posição 10	Posição 13	Posição 15	Posição 18	Posição 19	Posição 22	Posição 24
1	X									
2	X									
3	X									
4		X								
5		X								
6		X								
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8			X							
9			X							
10				X						
11				X						
12					X					
13					X					
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15						X				
16						X				
17							X			
18										
19				X				X		
20								X		
21									X	
22									X	
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24										X
25							X			X

Fonte: Autoria própria

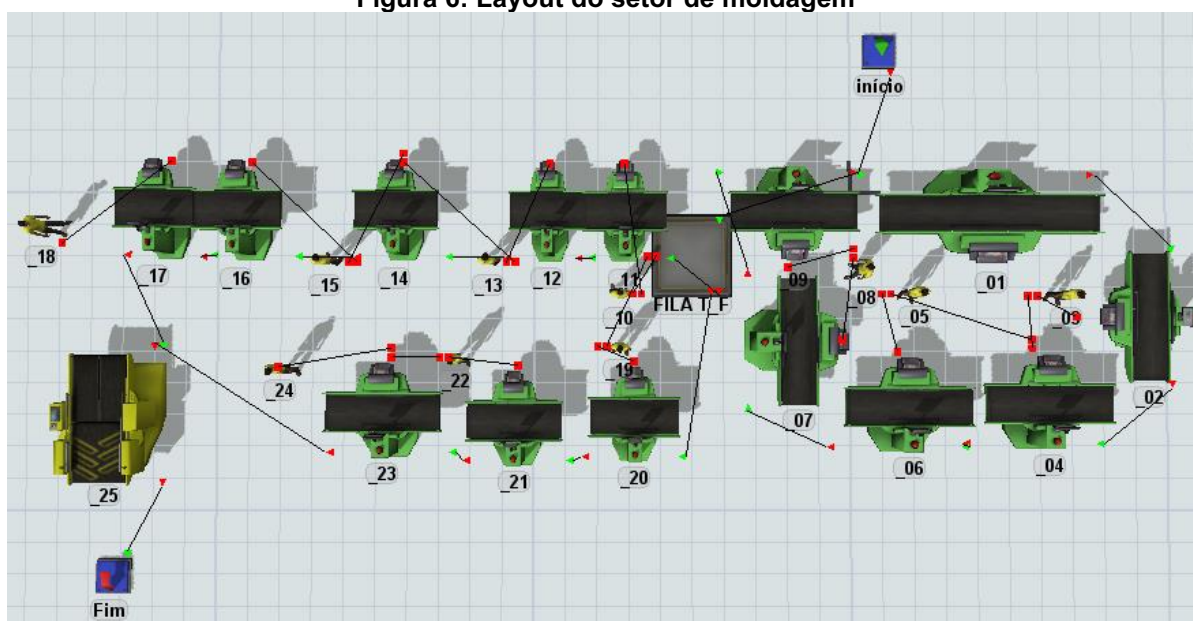
Os operadores são alocados por operações realizadas, considerando a proximidade e o nível de esforço exercido na atividade. A operação número 7, cura do molde, não necessita de operador, logo que o tempo de cura acontece sem a ajuda de operadores, pois é o tempo em que acontece o endurecimento da mistura de areia, para receber a liga metálica sem que o molde se quebre.

As operações 14 e 23, queima do bolo tampa e o fundo, ou seja, a queima da superfície dos moldes antes do fechamento, não necessita de operadores para realizar a queima, pois acontece a combustão até que termine naturalmente, mas cada produto possui uma média que acontece a queima.

4.3 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO

Com a coleta de todas as informações necessárias para a reprodução da simulação, a caracterização dos cenários se originou a partir do cenário real e uma proposta de sequenciamento para reduzir o *makespan*, todos a partir do *layout* definido pelo setor da engenharia de processos da empresa, ou seja a distribuição de maquinário e de recursos humanos no setor de moldagem de peças como na Figura 6.

Figura 6: Layout do setor de moldagem



Fonte: Autoria própria

A distribuição de maquinário foi definida pelo setor da engenharia, a qual acompanhou da forma mais fiel do real, considerando deslocamentos e distribuição de operadores no chão da fábrica. Os números 03, 05, 08, 10, 13, 15, 19, 22 e 24 correspondem a posição dos operadores de acordo com o fluxo da linha, na Tabela 1 é apresentado a movimentação de uma operação para outra.

A simulação de processos possui a flexibilidade de monitorar e analisar em tempo real o comportamento do processo, como filas, capacidade produtiva, *Tack Time*, *layout*, *lead time*, entre outros, facilitando assim, a gestão da produção com o planejamento, ajustando o sequenciamento da melhor forma no cenário em estudo.

4.3.1 Cenário Atual

Diante do cenário atual da empresa, a programação da produção de produtos se tornou necessário para evitar atrasos na entrega de pedidos dos clientes, porém, nem sempre é possível seguir este cronograma, o qual é realizado semanalmente e diariamente, por condições esporádicas ou especiais. Na tabela 5 pode ser visualizado a programação da produção, por produtos a serem produzidos, na semana em estudo, o qual é repassado ao setor produtivo para seguir de acordo com a sequência.

Tabela 5 – Programação da produção da semana 30/2019

Data	22/07/2019		23/07/2019		24/07/2019		25/07/2019	
Turno	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
Produto B	5	5	5	5	5	5		
Produto G							5	5
Produto C	5	5	5	5	5	5		
Produto H							5	5
Produto A	6		6		6		6	3
Produto I			3			5		3
Produto D	14	8	12	8				
Produto F					14	8	14	8
Produto E	4	8		8	4	8	4	8

Fonte: Autoria própria

A programação da produção, durante esta semana em específico não foi fielmente seguida, ocasionando atrasos nas entregas, logo obteve resultados não esperados, o total que deveria ser produzido durante a semana seria de 248 moldes, considerando as restrições utilizadas e sem paradas programadas. Porém, o cenário real, ou seja, a produção realizada não atendeu a programação, e se deu a partir dos apontamentos apresentados pela produção no período em estudo do dia 22/07/2019 ao dia 25/07/2019, sem considerar as paradas e os intervalos de cada turno, obteve-se um tempo de produção de 151.282 segundos e a produção de 233 moldes completos de um total de 248 moldes que deveriam ter sido produzidos.

Na Tabela 6 é possível visualizar a quantidade de moldes produzidos, os moldes bons que se tornaram peças, perdidos, os que foram descartados, e as paradas mecânicas e administrativas realizadas durante a semana em estudo.

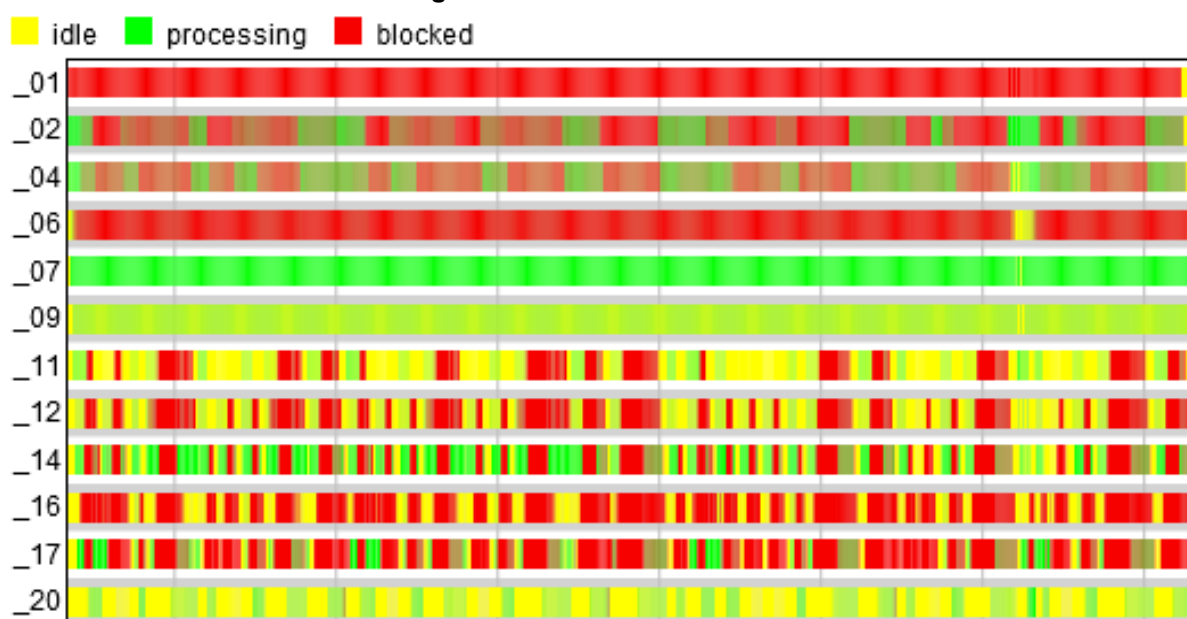
Tabela 6 – Quantidade de moldes produzidos e paradas

Dia	Quantidade de moldes produzidos (un)	Moldes perdidos (un)	Paradas (seg)
22/07/2019	57	5	0
23/07/2019	55	1	6000
24/07/2019	60	5	3600
25/07/2019	61	1	3600

Fonte: Autoria própria

O levantamento do cenário foi desenvolvido de acordo com a quantidade produzida nos determinados dias e no mesmo período, desconsiderando as paradas programadas e não programadas, e sem contar com os eventos esporádicos ou adversos.

A partir da simulação do estudo através das variáveis analisadas e ao gerar os resultados, foi obtido o seguinte gráfico de Gantt, da figura 7, para ilustrar o comportamento da produção dos moldes ao longo do processo produtivo e a partir disso tirar conclusões sobre o processo, a implementação dos dados foram manipulados para gerar os resultados de forma contínua na simulação sem considerar as paradas de turno.

Figura 7: Gantt do cenário atual

Fonte: Autoria própria

No gráfico obtido através da simulação dos dados, considerando três variáveis importantes no processo de moldagem que devem ser analisadas em cada operação que são: ociosidade; processamento; e bloqueado. Pode-se visualizar que existe grande diferença no comportamento de uma máquina para outra, como por exemplo na operação _01 a qual permanece por grande parte bloqueada, o motivo se da pela capacidade da operação que são de 03 moldes a cada 15 segundos para uma parte do molde. Quanto na operação _07 a maior parte do processo está em ocupação, pelo motivo de ser etapa mais demorada e sem capacidade determinada, ou seja, os moldes estão realizando a cura da areia para a liga metálica e não haver o desmanche do molde. E na próxima operação, a qual é de se esperar, acontece o processo com grande tempo de ociosidade, na operação _09, pois o processo anterior é o processo mais demorado, ou seja, o gargalo. Em dados podemos visualizar a partir da Tabela 7.

Tabela 7: Comportamento do processo no cenário atual

(continua)

Operação	Status	Tempo (seg)
01	<i>blocked</i>	141296
	<i>processing</i>	6990
	<i>idle</i>	15
02	<i>processing</i>	50231
	<i>waiting for transport</i>	9855
	<i>blocked</i>	88687
	<i>idle</i>	12268
04	<i>processing</i>	66295
	<i>waiting for transport</i>	9325
	<i>blocked</i>	61239
	<i>idle</i>	125697
06	<i>processing</i>	12714
	<i>blocked</i>	10860
	<i>idle</i>	1012
07	<i>processing</i>	139200
	<i>waiting for transport</i>	9322
	<i>idle</i>	112454
09	<i>processing</i>	37280
	<i>blocked</i>	42116
	<i>idle</i>	91482
11	<i>processing</i>	15555
	<i>blocked</i>	64345
	<i>idle</i>	69761
12	<i>processing</i>	12457
	<i>waiting for transport</i>	2775

**Tabela 7: Comportamento do processo no cenário atual
(conclusão)**

Operação	Status	Tempo (seg)
14	<i>blocked</i>	54723
	<i>idle</i>	36255
	<i>processing</i>	55996
	<i>waiting for transport</i>	2745
16	<i>blocked</i>	9477
	<i>idle</i>	53770
	<i>processing</i>	1406
17	<i>blocked</i>	94011
	<i>idle</i>	20758
	<i>processing</i>	31172
	<i>waiting for transport</i>	3474
20	<i>blocked</i>	441
	<i>idle</i>	121618
	<i>processing</i>	19181
	<i>waiting for transport</i>	7100
	<i>blocked</i>	7266
21	<i>idle</i>	125479
	<i>processing</i>	13445
	<i>waiting for transport</i>	2505
	<i>blocked</i>	2780
23	<i>idle</i>	80290
	<i>processing</i>	54164
	<i>waiting for transport</i>	12061
25	<i>idle</i>	18738
	<i>processing</i>	28961
	<i>colleting</i>	101897

Fonte: Autoria própria

Os dados apresentados na tabela apresentam quatro variáveis pertinentes no processo como *blocked*, ou seja, quando a máquina não está ocupada, *processing*, o momento em que a máquina está em atividade, *idle*, na ocasião em que a máquina apresenta ociosidade, *waiting for transport*, refere-se no instante que a está no aguardo de transporte, neste caso, o transporte feito na empresa é através do manuseio do molde/peça por empilhadeira ou talha industrial.

4.3.2 Cenário Programado

O principal motivo do desenvolvimento da programação da produção é de evitar atrasos aos clientes e o seu sequenciamento, e atingir a meta de produtividade inserida no setor para atender a demanda produtiva e da capacidade de produção. Por isso, a partir do *software FlexSim* versão 2020, simulou-se o cenário programado para visualizar diversas variáveis, além do tempo de produção, o comportamento das máquinas no setor produtivo. Na Tabela 8 é possível visualizar o tempo de produção que levaria para produzir os moldes de acordo com a programação, ou seja, o ideal, como da Tabela 5, porém, depois de realizar a simulação.

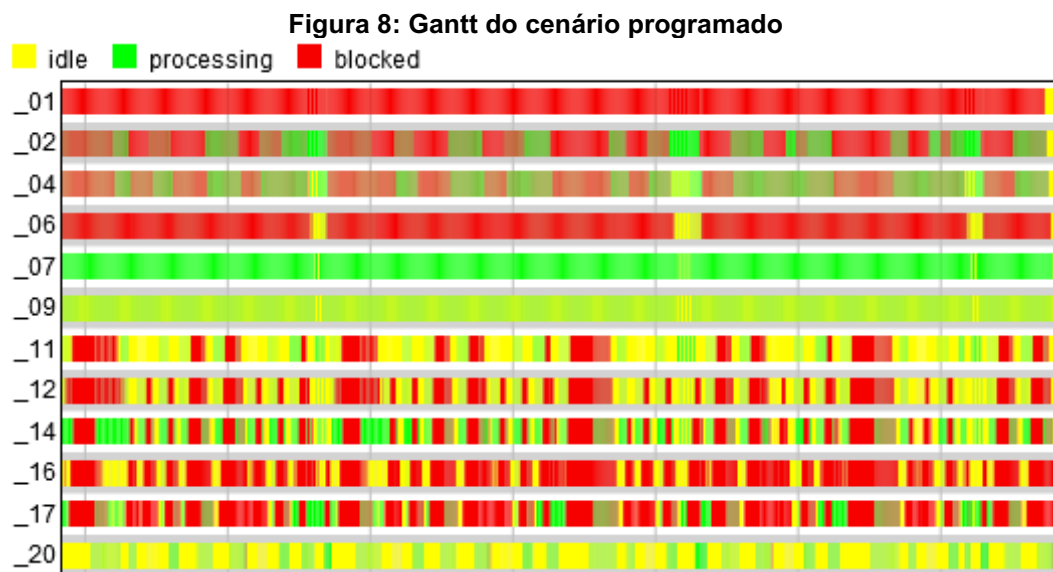
Tabela 8 – Tempo de produção simulado

Dia	Quantidade de moldes programados (un)	Tempo de produção simulado (seg)
22/07/2019	60	39714
23/07/2019	57	38283
24/07/2019	65	43985
25/07/2019	66	44138

Fonte: Autoria própria (2021)

Como pode-se perceber o tempo de produção programado é inferior ao tempo de produção disponível, o total simulado apenas com processo seria de 166.120 segundos de um total disponível de 220.920 segundos, considerando as paradas apontadas no período seria um total de 179.320 segundos, ou seja, redução do tempo disponível em 18,8%. Existem diversos motivos de paradas que ocorrem durante o processo produzido, principalmente por ser uma linha com a maior parte das operações precisarem de mão de obra disponível.

Para atender a demanda produtiva de acordo com o programado, é necessário que a produção siga um sequenciamento e permitir que os tempos sejam respeitados. Na Figura 8 é possível visualizar o comportamento do Gantt ao realizar o programado.



Fonte: Autoria própria

O comportamento do gráfico, é semelhante ao do anterior, pois as operações e os tempos possuem suas restrições nas mesmas condições, porém, desta vez atendendo a programação programada, sempre extraindo dados apenas com as máquinas do processo. Por meio de dados é possível ter uma análise mais concreta e assertiva dos resultados através da Tabela 9.

**Tabela 9: Comportamento do processo no cenário programado
(continua)**

Operação	Status	Tempo (seg)
01	<i>Blocked</i>	152256
	<i>Processing</i>	7440
	<i>Idle</i>	15
02	<i>Processing</i>	57945
	<i>waiting for transport</i>	10714
	<i>Blocked</i>	91342
04	<i>Idle</i>	16426
	<i>Processing</i>	72130
	<i>waiting for transport</i>	9924
06	<i>Blocked</i>	61835
	<i>Idle</i>	18000
	<i>Processing</i>	11846
07	<i>Blocked</i>	130769
	<i>Idle</i>	2213
	<i>Processing</i>	148800
09	<i>waiting for transport</i>	9922
	<i>Idle</i>	121335
	<i>Processing</i>	39680

**Tabela 9: Comportamento do processo no cenário programado
(conclusão)**

Operação	Status	Tempo (seg)
	<i>Blocked</i>	41346
11	<i>Idle</i>	100323
	<i>Processing</i>	18594
	<i>Blocked</i>	66250
12	<i>Idle</i>	78129
	<i>Processing</i>	13310
	<i>waiting for transport</i>	2942
	<i>Blocked</i>	60003
14	<i>Idle</i>	41615
	<i>Processing</i>	56427
	<i>waiting for transport</i>	2942
	<i>Blocked</i>	105079
16	<i>Idle</i>	54743
	<i>Processing</i>	1520
	<i>Blocked</i>	100234
17	<i>Idle</i>	20175
	<i>Processing</i>	37633
	<i>waiting for transport</i>	3668
	<i>Blocked</i>	444
20	<i>Idle</i>	130556
	<i>Processing</i>	22617
	<i>waiting for transport</i>	7626
	<i>Blocked</i>	8284
21	<i>Idle</i>	136158
	<i>Processing</i>	14494
	<i>waiting for transport</i>	2644
	<i>Blocked</i>	3914
23	<i>Idle</i>	88123
	<i>Processing</i>	57007
	<i>waiting for transport</i>	12892
	<i>Idle</i>	21919
25	<i>processing</i>	30832
	<i>colleting</i>	109311

Fonte: Autoria própria

Com a simulação do processo de acordo com o programado, foi possível obter os dados com as mesmas variáveis a serem analisadas no próximo tópico, além dos dados apresentados para cada máquina, existe também o *colleting* ou mais conhecido como a finalização do processo, o qual significa o tempo em que levou para concluir os moldes, ou seja, em horas corridas representa 30,3 horas. Diante do estudo, foi

encontrado a solução ótima, na qual corresponde a melhor solução, ou seja, um melhor resultado possível.

5 CONCLUSÃO

O PCP em sua função na elaboração do planejamento requer decisões e escolhas de forma estratégica, mas além disso é indispensável seguir o planejamento da produção o qual garante atender a demanda dos pedidos em carteira, evitando atrasos e mantendo a credibilidade no processo, além disso, a sustentabilidade da empresa. Porém, é visível que a falta do sequenciamento ideal na prática está intrínseca no processo, ou seja, precisando de uma readequação do processo, logo que a qualidade do processo, não garante o comprimento do sequenciamento ideal.

Além do mais, o processo inteiro precisa estar em harmonia e organização para que não deixe de faltar nenhum dos componentes necessários para a produção dos moldes, como materiais, modelos, machos, entres outros, e assim garantir a produção do sequenciamento, nas mesmas condições e capacidades determinadas pelo processo produtivo.

A metodologia do estudo contribuiu para o mapeamento adequado do processo, assim como para o levantamento dos dados, atingindo resultados fiéis do processamento. Porém o tempo disponível de produção, não foi realizado de acordo com a programação da produção o que causou atrasos e ociosidade de mão de obra. A simulação aplicada, foi para um projeto de adequação da linha e assim realizar a análise da viabilidade do seu aproveitamento, considerando os tempos de processamento padrão para cada tipo de peça produzida.

Sendo assim, atingindo os objetivos específicos para o mapeamento do processo e a simulação para validar ou invalidar um processo. Logo, pode se perceber que se não houver qualidade nos processos, não haverá sequenciamento real adequado para atingir as metas e reduzir os atrasos. A partir do sequenciamento é possível realizar o levantamento de onde ocorre as maiores perdas durante o processo e de ociosidade.

Sendo assim, é necessário utilizar-se ferramentas para averiguar e identificar os maiores motivos das perdas para a adequação do processo, antes mesmo de mudar o *layout*. Logo, para futuros trabalhos, sugere-se a aplicação de ferramentas adequadas para o ajuste do processo como, de controle de qualidade de processos e análise dos sistemas de medição.

REFERÊNCIAS

ASTIAZARA, M. V. *Protótipo de simulador de elevadores*. 2005. Monografia (Bacharelado em Sistemas da Informação) – Universidade Luterana do Brasil, campus Canoas, Rio Grande do Sul.

BÁNYAI, T.; LANDSCHÜTZER, C.; BÁNYAI, Á. Markov-Chain simulation-based analysis of human resource structure: how staff deployment and staffing affect sustainable human resource strategy. **MDPI: Sustainability**. 2018.

CARREIRA, M.F.; VIEIRA, T. V. G.; BRONZATI, W. B. Aplicação do software FlexSim na análise e simulação de dados de uma lotérica. **Revista Produção Industrial & Serviços**, Universidade Estadual de Maringá - UEM Campus Sede - Paraná – Brasil. v. 02, n. 01: p. 32-44, 2015.

CARVALHO, F. S. *Um estudo sobre simulação de eventos discretos*. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

CHEN, Q.; DENG, L. F.; WANG, H. M. Optimization of multi-task job-shop scheduling based on uncertainty theory algorithm. **International Journal of Simulation Modelling**. p. 2-3, 2018.

CHEN, Y. X. Integrated optimization model for production planning and scheduling with logistics constraints. **International Journal of Simulation Modelling**. 2016.

CHENGMING, C.; YING, C.; SHOUQI, C. Work hours and sorting balancing study of one auto mixed line. **MATEC Web of Conferences**. 2016.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2010.

FLOGIATTI, M. C.; MATTOS, N. M. C. **Teoria de filas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

FRIGERI, J. A.; BIANCHI, M.; BACKES, R. G. Um estudo sobre o uso das técnicas de simulação no processo de elaboração e execução dos planejamentos estratégico e operacional. **ConTexto**, Porto Alegre, v. 7, n. 12, 2º semestre 2007.

HEYDARIAN, D.; JOLAI, F. Simulation optimization of operator allocation problem with learning effects and server breakdown under uncertainty. **Production & Manufacturing Research**. v. 6, n. 1, p. 396–415, 2018.

JEON, S. M.; KIM, G. A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC). **Taylor & Francis online: Production Planning & Control**. v. 27, n. 05, p. 360–377, jan. 2016.

JURAN, J.M. et al. Quality control handbook. 4.ed., Singapore, McGraw-Hill, 1988.

KACHBA, Y. R.; DIAS JUNIOR, L. C. S.; BRANCO, F. J. C.. Simulação e sequenciamento da produção de diversos tipos de queijos. In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, MACEIO/AL. **Anais... XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2018.

KATCHASUWANMANEE, K.; BATEMAN, R.; CHENG, K. Development of the Energy-smart Production Management system (eProMan): A Big Data driven approach, analysis and optimization. **Journal of Engineering Manufacture**. 2016.

KRENCZYK, D.; et al. Production planning and scheduling with material handling using modelling and simulation. **MATEC Web of Conferences**. 2017.

LANZETTA, M.; et al. Modeling activity times by hybrid synthetic method. **Taylor & Francis online: Production Planning & Control**. p 4-6, fev. 2016.

LEE, K.; ZHENG, F.; PINEDO, M. L. Online scheduling of ordered flow shops. **Elsevier: European Journal of Operational Research**. 2019.

MIGUEL, P. A. C.; et al. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MOUSAVI, M.; et al. Multi-objective AGV scheduling in an FMS using a hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization. **Plos one**. 2017.

NAGANO, M. S.; MOCCELLIN, J. V.; LORENA, L. A. N. Programação da produção flow shop permutacional com minimização do tempo médio de fluxo. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2004.

OYEBOLU, F. B.; et al. Dynamic scheduling of multi-product continuous biopharmaceutical facilities: a hyper-heuristic framework. **Computers and Chemical Engineering**. 2019.

PAIVA, J. S.; SODRÉ, R. B.; CASTRO, A. O. The use of management tool as facilitator of the industrial maintenance plan. **Itegam**. Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications. 2019.

PAN, C.; et al. Patient flow improvement for an ophthalmic specialist outpatient clinic with aid of discrete event simulation and design of experiment. **Springer Science: Business Media**, New York, 2014.

PINEDO, M. L. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. 4. ed. New York: Springer, 2012.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SAMPAIO, M. G.; TREVISAN, F. Z. *Análise e estudo da aplicação de softwares de modelagem e simulação industrial e de processos*. 2017. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

SELEIM, A.; ELMARAGHY, H. Generating max-plus equation for efficient analysis of manufacturing flow lines. **Elsevier: Journal of Manufacturing Systems**. 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2009.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

WANG, Z. Piecewise point classification for uncertainty propagation with nonlinear limit states. **Structural and Multidisciplinary Optimization**. 2017.

YANG, J.; et al. Optimal charge planning model of steelmaking based on multi-objective evolutionary algorithm. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute**. Basel (SWI), p. 2-3, jun. 2018.

ZHAO, Y.; et al. Bottleneck detection for improvement of emergency department efficiency. **Business Process Management Journal**. v 21 p. 564-585, 2015.