



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ESTUDO DO ARRANJO FÍSICO EM SETOR DE EMPACOTAMENTO  
DE BENEFICIADORA DE GRÃOS POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE  
EVENTOS DISCRETOS**

Jonas Lopes de Vargas

Lajeado, junho de 2018

Jonas Lopes de Vargas

**ESTUDO DO ARRANJO FÍSICO EM SETOR DE EMPACOTAMENTO  
DE BENEFICIADORA DE GRÃOS POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE  
EVENTOS DISCRETOS**

Monografia apresentada na disciplina de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia de Produção, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof.Me. William Jacobs

Lajeado, junho de 2018

## RESUMO

O arranjo físico adequado é fundamental para o aumento de eficiência do sistema produtivo de uma empresa, consiste na organização dos recursos que influencia diretamente no fluxo das operações, com objetivo de organizar os centros de trabalho, máquinas, equipamentos, etc. O presente estudo tem por objetivo analisar uma alternativa de reestruturação do arranjo físico para um setor da empresa de beneficiamento de grãos, por meio da simulação de eventos discretos. Desenvolve a criação de um cenário produtivo, conservando a interação lógica do processo real em um ambiente virtual, onde busca propor melhorias por meio da simulação, que permite identificar as oportunidades do sistema estudado. A metodologia deste estudo é classificada como dedutiva, quantitativa, descritiva e do tipo experimental e estudo de caso. Com o cenário alternativo o estudo expõe um desempenho produtivo superior ao atual, maximizando os recursos e minimizando a movimentação desnecessária. Assim, este trabalho exhibe a simulação de eventos discretos, como uma grande aliada no planejamento das instalações dos recursos, otimizando os processos e gerando informações críticas para a tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Arranjo físico. Simulação de eventos discretos. Processo.

## **ABSTRACT**

The appropriate physical arrangement is fundamental to increase the efficiency of the system, it is the organization of resources that directly influence the flow of operations, with the goal of organizing work centers, machines, equipment, etc. This study aims to analyze an alternative of restructuring the physical arrangement for a sector of the grain processing company, through the simulation of discrete events. The creation of a productive scenario is developed, preserving the logical interaction of the real process in a virtual environment, where it seeks to propose improvements through the simulation, that allows to identify the opportunities of the system. The methodology of this study is classified as deductive, quantitative, descriptive, and type-tested and case study. With the alternative scenario, the study exposes a productive performance higher than the current one, maximizing the resources and minimizing the unnecessary movement. Thus, this work shows the simulation of discrete events, as a great ally in the planning of the implementation of the resources, optimizing the processes and generating critical information for decision making.

**Keywords:**Physical arrangement.Simulation of discrete events.Process.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação volume-variedade e tipo de processo apropriado.....	19
Figura 2 - Arranjo físico por produto.....	21
Figura 3 - Arranjo físico por processo .....	23
Figura 4 - Arranjo físico de posição fixa .....	25
Figura 5 - Arranjo físico celular .....	27
Figura 6 - Arranjo físico misto.....	28
Figura 7 - Entradas e Saídas em beneficiadora de grãos (arroz).....	30
Figura 8 - Relacionamento dos componentes da simulação .....	34
Figura 9 - Sequência de passos para o projeto de simulação.....	37
Figura 10 - Métodos de pesquisa.....	44
Figura 11 - Planejamento do método de pesquisa .....	46
Figura 12 - Agroindústria .....	49
Figura 13 - Macroprocesso de beneficiamento de arroz em casca.....	50
Figura 14 - Fluxograma do setor de empacotamento .....	55
Figura 15 - Armazenamento a granel .....	56
Figura 16 - Peneira e vibro ar.....	57
Figura 17 - Máquina de empacotar 1 .....	58
Figura 18 - Máquina de empacotar 2.....	58
Figura 19 - Máquina de enfardar Raumak .....	59
Figura 20 - Esteira e máquina de enfardar .....	60
Figura 21 - Planta baixa.....	61
Figura 22 - Modelo conceitual técnica IDEF -SIM .....	64
Figura 23 - Modelo computacional construído.....	72

Figura 24 - Total de peças que saem do setor diariamente .....	74
Figura 25 - Gráfico dos locais de capacidade múltipla cenário atual .....	75
Figura 26 - Gráfico de utilização de recurso operador.....	76
Figura 27 - Planta do cenário proposto .....	79
Figura 28 - Modelo computacional proposto .....	80
Figura 29 - Gráfico dos locais de capacidade múltipla cenário proposto .....	81
Figura 30 - Total de peças que saem do setor diariamente .....	81
Figura 31 - Estados dos recursos .....	83

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Tempo de processamento da máquina de empacotar 01 .....	69
Gráfico 2 - Tempo de processamento da máquina pré-limpeza.....	69
Gráfico 3 - Tempo de processamento da máquina de empacotar 02.....	70
Gráfico 4 - Tempo de processamento da máquina de enfardar 01 .....	70
Gráfico 5 - Tempo de processamento da máquina de enfardar 02.....	71

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens de arranjo físico por produto .....	21
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens de arranjo físico por processo.....	23
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens de arranjo físico por posição fixa.....	26
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens de arranjo físico celular.....	27
Quadro 5 - Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM .....	39
Quadro 6 - Dados do sistema .....	65
Quadro 7 - Comparativo antes e após alteração do arranjo físico.....	83

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tempos de operação (em segundos).....	67
Tabela 2 - Distribuições probabilísticas utilizadas para os processos .....	68
Tabela 3 - Indicadores .....	73
Tabela 4 - Indicador de produção mensal .....	82

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Problema.....	12
1.2 Tema.....	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo geral.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificativa.....	13
1.5 Delimitação do estudo.....	14
1.6 Estrutura do trabalho.....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 Projeto de arranjo físico.....	16
2.1.1 Tipos de arranjo físico.....	17
2.1.1.1 Arranjo por produto.....	20
2.1.1.2 Arranjo físico por processo.....	22
2.1.1.3 Arranjo físico por posição fixa.....	24
2.1.1.4 Arranjo físico celular.....	26
2.1.1.5 Arranjo físico misto.....	28
2.2 Processo produtivo e arranjo físico em beneficiadora de grãos.....	29
2.3 Simulação de eventos discretos.....	32
2.3.1 Simulação computacional como meio de experimentação de projetos de arranjo físico.....	35
2.3.2 Metodologia da simulação.....	37
2.3.3 Concepção.....	38
2.3.4 Implementação.....	42
2.3.5 Análise.....	42
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>43</b>
3.1 Método de pesquisa.....	43
3.1.1 Classificação do estudo quanto à natureza.....	44
3.1.2 A pesquisa quanto aos objetivos.....	44
3.1.3 A pesquisa quanto ao modo de abordagem.....	45
3.1.4 A pesquisa quanto aos procedimentos técnicos.....	45
3.2 Planejamento da pesquisa.....	46

<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 Recebimento .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Secagem .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Armazenamento.....</b>	<b>51</b>
<b>4.4 Beneficiamento .....</b>	<b>51</b>
<b>4.4.1 Limpeza .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.2 Descasque.....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.3 Separador de marinho.....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.4 Separador dessimétrico.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.5 Brunimento .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.6 Polimento .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.7 Separador de perfil .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.8 Separação de quebrados .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.9 Seleção eletrônica.....</b>	<b>54</b>
<b>4.5 Empacotamento .....</b>	<b>54</b>
<b>4.6 Arranjo físico da Empresa.....</b>	<b>60</b>
<b>4.7 Etapa de concepção .....</b>	<b>62</b>
<b>4.7.1 Objetivos e definição do sistema .....</b>	<b>62</b>
<b>4.7.2 Técnica IDEF – SIM modelo conceitual .....</b>	<b>63</b>
<b>4.7.3 Validação do modelo conceitual.....</b>	<b>64</b>
<b>4.7.4 Coleta dos dados .....</b>	<b>64</b>
<b>4.8 Modelagem dos dados de entrada.....</b>	<b>68</b>
<b>4.9 Implementação .....</b>	<b>71</b>
<b>4.9.1 Construção do modelo computacional.....</b>	<b>71</b>
<b>4.9.2 Validação do modelo computacional .....</b>	<b>72</b>
<b>4.9.3 Validação do modelo operacional .....</b>	<b>73</b>
<b>4.10 Análise .....</b>	<b>74</b>
<b>4.11 Geração de um cenário alternativo.....</b>	<b>77</b>
<b>4.11.1 Descrição da alternativa proposta .....</b>	<b>77</b>
<b>4.11.2 Simulação do cenário proposto.....</b>	<b>79</b>
<b>4.11.3 Análise do cenário proposto.....</b>	<b>80</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arranjo físico de produção deve alocar de forma otimizada os centros de trabalho, fazendo com que o caminho feito pelo produto, desde seu ponto de início até seu término, seja concluído de maneira eficaz, mantendo o melhor fluxo de trabalho, economizando em custos, perdas e, dessa forma, obtendo uma alta produtividade (MAXIMIANO, 2004).

Gonçalves Filho (2001 apud TIBERTI; GONÇALVES, 2004), afirma que um sistema de produção eficiente deve compatibilizar alguns fatores, como: tecnologia de fabricação, arranjo físico otimizado, mão de obra treinada e gerência de produção adequada. Ou seja, a organização do arranjo físico é um procedimento fundamental para obter redução das perdas e custos, dispondo de maior flexibilidade, planejamento e controle da produção.

Nesse sentido, a literatura mostra diversos métodos e algoritmos para o desenvolvimento e análise de projeto de arranjo físico. No entanto, torna-se uma atividade complexa, pois apresenta uma gama de arranjos que podem ser formados com os diversos elementos. Tiberti (2001) afirma que a simulação de eventos discretos leva as empresas à alternativa de testarem, avaliarem e decidirem sobre a melhor opção de arranjo físico que satisfaça seus objetivos, pois possibilita trabalhar com uma grande variabilidade do sistema testando a correlação entre as variáveis.

Nesse contexto, as empresas de beneficiamento de grãos, com ênfase no setor de empacotamento, buscam por meio do planejamento do arranjo físico otimizar os processos, alocando os recursos produtivos de modo que o produto flua do início ao fim, sem interrupções que ocasionem desperdícios e conseqüentemente perda de eficiência produtiva.

No entanto, o estudo de arranjo físico por meio da técnica de simulação de eventos

discretos permite avaliar o cenário produtivo sem custos de implantação, pois não tem interferência física no processo. Desta forma, o estudo visa a adequação do arranjo físico atual da empresa objeto, que maximize a produção.

## **1.1 Problema**

É essencial para as diferentes organizações a definição do arranjo físico adotado. Tê-la em conta é fundamental para eliminar a movimentação desnecessária de pessoas, materiais, melhorar as condições de trabalho, além de evitar investimentos desnecessários, aumentar a qualidade e flexibilidade (CORRÊA; CORRÊA, 2009).

A empresa em estudo utiliza um arranjo físico que não atende à demanda esperada, pois com o crescimento, foram adquiridas novas tecnologias, máquinas e equipamento, que buscam expor uma produtividade superior, porém ambas foram alocadas em células produtivas, entretanto sem a sincronização do arranjo físico, tornando uma célula ociosa e outra sobrecarregada.

Dessa forma, qual a alternativa de arranjo físico no setor de empacotamento de produtos que maximizam a produção?

## **1.2 Tema**

O tema abordado na presente monografia é o estudo do arranjo físico em processo de beneficiamento de arroz por meio da simulação de eventos discretos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo do presente estudo consiste em mensurar uma diferente alternativa de arranjo físico para um processo de beneficiamento de arroz, com apoio da simulação de

eventos discretos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

A partir do objetivo geral foram desdobrados os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o processo produtivo da empresa objeto de estudo;
- Elaborar um modelo de simulação do atual arranjo físico;
- Modelar o arranjo físico alternativo por meio da simulação de eventos discretos;
- Investigar as causas das perdas de produtividade no processo por ineficiência do arranjo físico;
- Comparar os resultados obtidos na simulação da alternativa com o cenário atual.

### 1.4 Justificativa

Segundo Maximiano (2004), o arranjo físico tornou-se uma ferramenta estratégica que auxilia no fluxo contínuo das operações, pois afeta os custos e a eficácia geral da produção, de tal forma que o desempenho produtivo seja medido em custo de produção.

A escolha do melhor arranjo físico é uma atividade complexa, pois o número de arranjos que podem ser formados com os elementos é grande. A literatura apresenta métodos e algoritmos que auxiliam na análise e no projeto da reorganização do arranjo físico. Logo, a simulação de eventos discretos é uma alternativa que reproduz um sistema real, testando, decidindo e avaliando, sobre qual forma satisfaz os objetivos da empresa (TIBERTI, 2001).

Desta forma, Longo *et al.* (2006) afirmam que utilizar a simulação de eventos discretos é favorável, pois possibilita a modelagem de um sistema virtual observando detalhes dos sistemas reais, discutindo os resultados e testando os mais diversos cenários sem custos altos.

A simulação computacional é utilizada como ferramenta de auxílio aos projetos de arranjo físico. Pode ser vista, por exemplo, em Boblitz (1991), que focou nos estudos para a

aquisição de novas máquinas e a reestruturação de arranjo físico de células de manufatura para uma linha de produção contínua e, em Lopes (1999), que utilizou a simulação para analisar a capacidade de fluxo em um sistema de armazenagem.

Sendo assim, a utilização da simulação em projeto de arranjo físico ou reestruturação do mesmo, possibilita maiores resultados em curto prazo, diminuindo custos, aumentando flexibilidade de análise, sem realizar as mudanças na organização, que causam as paradas indesejadas devido às movimentações desnecessárias (LAW; KELTON, 1991).

A empresa em estudo vem crescendo ao longo dos anos e, por isso, torna-se necessário a aquisição de máquinas e equipamento que atendem a necessidade de produção estabelecida, porém no setor de empacotamento de produtos não houve um projeto de arranjo físico produtivo para a localização dos equipamentos. Com este estudo busca-se a otimização do arranjo físico, através da simulação de eventos discretos, visando reduzir a movimentação desnecessária de recursos e, com isso, aumentar a produtividade.

Assim justifica-se a reestruturação do arranjo físico no setor supracitado, pois é uma alternativa essencial para maximizar a produção e minimizar as perdas produtivas no processo, simulando uma alternativa de cenário com ênfase no aumento de produtividade.

## **1.5 Delimitação do estudo**

As delimitações do estudo são relatadas a seguir:

- Na revisão de literatura, devido à amplitude dos conceitos, alguns serão analisados de forma sucinta. Diante disso, os conceitos pertinentes a arranjo físico e simulação de eventos discretos são abordados com maior ênfase e atenção.
- O trabalho limita-se apenas a estudar uma opção de arranjos físicos, juntamente com suas características, abordando a simulação como uma técnica que auxilia a reestruturação, no entanto, sem abordar fatores inerentes a custos.
- O projeto de arranjo físico desenvolvido é apenas uma proposta para a empresa em questão.

## **1.6 Estrutura do trabalho**

Para a organização das informações e a compreensão das atividades desenvolvidas no presente trabalho, ele foi estruturado em cinco capítulos.

No primeiro capítulo é apresentado o tema norteador deste estudo, seguido por uma visão geral dos objetivos e os seus desdobramentos, ainda, o problema, a justificativa e a delimitação da monografia.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica a respeito dos conceitos inerentes ao arranjo físico, abordando definições e técnicas dos diversos tipos, bem como suas importâncias para o sistema. Também, a simulação de eventos discretos e as etapas de simulação: concepção, análise e implantação.

O terceiro capítulo versa sobre a metodologia a ser utilizada para o desenvolvimento deste estudo e o cronograma das atividades.

O quarto capítulo apresenta as definições da empresa em estudo, os processos produtivos, bem como os fluxos de operações. Traz as discussões e análises dos resultados da simulação do cenário atual, por meio das etapas de concepção, implementação e análise. Através dos dados e informações obtidos foi possível propor uma melhoria no arranjo físico atual, dessa forma representando a geração de um cenário alternativo com base na simulação, propondo melhorias e analisando um cenário para a reorganização do atual arranjo físico.

O quinto capítulo, a conclusão do estudo, apresenta uma análise das atividades, bem como as considerações finais desta monografia.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta um referencial bibliográfico no qual são apresentadas as definições comparadas por diversos autores sobre o projeto de arranjo físico, bem como as características dos seus diversos tipos, o processo produtivo e arranjo físico em beneficiadoras de grãos, a simulação computacional como meio de experimentação de projeto de arranjo físico. Além disso, também são abordados os conceitos de simulação de eventos discretos, metodologia da simulação, concepção, implementação e análise. Tais fundamentos são apresentados como ferramentas que buscam avaliar um cenário proposto para um projeto de arranjo físico viável.

### **2.1 Projeto de arranjo físico**

Arranjo físico refere-se à disposição de equipamentos em uma determinada área, tendo em vista o equilíbrio entre a movimentação, produção e ambiente, otimizando as condições de trabalho, impedindo assim os investimentos desnecessários e permitindo o aumento da qualidade, assim como da flexibilidade (STEVENSON, 1999).

Para a elaboração do fluxo produtivo que é caracterizado por arranjo produtivo, são necessárias as informações de características do produto, quantidades, sequências de operações, espaço do equipamento e movimentação para transportes (MARTINS; LAUGENI, 2006). Deste modo, planejar um arranjo físico provoca implicações práticas e estratégicas na organização, pois tem como objetivo a utilização de recursos, mão de obra e a redução dos investimentos desnecessários, garantindo otimização dos custos (GAITHER; FRAZIER, 1999).

Segundo Corrêa e Corrêa (2009), um bom planejamento de arranjo físico deverá apoiar a estratégia competitiva da operação, entretanto, pode não atingir excelente desempenho em toda a operação simultaneamente, contudo é capaz de elevar os níveis de eficiência e eficácia das mesmas.

Desse modo, o arranjo físico contribui para melhorar os processos, auxiliando nas estratégias competitivas da organização de diversas maneiras: otimização do fluxo do processo; redução de riscos aos trabalhadores; aumento da satisfação dos clientes e das vendas e a ampliação da eficiência dos equipamentos (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

Os objetivos do planejamento do arranjo físico contemplam tornar mais acessível e prático o fluxo de trabalho, pessoas e materiais, por meio do sistema (MOREIRA, 2002). Slack *et al.* (2009) destacam alguns dos objetivos primordiais do arranjo físico, como as identificações das saídas de emergência, as quais devem ser definidas e sinalizadas juntamente com áreas de circulações contribuindo com a redução da distância percorrida pelos recursos, canalizando o fluxo de informação materiais e clientes.

O mesmo autor afirma ainda que o arranjo físico tem como responsabilidade o posicionamento dos recursos de transformação rearranjando-os de forma simples. Dessa maneira, serão apresentados os tipos de arranjos físicos, suas características e aplicações nos sistemas.

### **2.1.1 Tipos de arranjo físico**

Segundo Moreira (2002), as diversas formas de disposição de postos de trabalho dentro das organizações correspondem aos tipos de arranjos. A escolha de arranjo físico compara-se principalmente ao tipo de processo em que é ditado pela característica de volume-variedade da operação. Nesse contexto, quanto mais importante for a redução de custo na operação, mais o processo estará voltado para alto volume e baixa variedade (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

As características de volume-variedade não só determinam o tipo de processo apropriado à atividade, ou seja, processos de projeto, de *jobbing*, em lotes ou bateladas, de produção em massa ou processos contínuos, ou ainda, os processos de operação de serviços

(serviços profissionais, lojas de serviços ou serviços de massa), como também definem o tipo de arranjo físico, com base no fluxo.

De acordo com Slack *et al.* (1999):

Quando o volume é baixo e a variedade é relativamente alta, o “fluxo” não é uma questão central. Por exemplo, em operações de manufatura de satélites de comunicação, a maior probabilidade é que um arranjo físico posicional seja utilizado porque cada produto é diferente dos outros e porque produtos fluem através da operação muito pouco frequentemente. Sob essas condições, simplesmente não vale a pena arranjar os recursos de forma a minimizar o fluxo através da operação. (SLACK *et al.*, 1999, p. 170).

Porém, se a variedade for insignificante e o volume é alto Slack *et al.*(1999, p.170) explica que “com volumes maiores e variedade menor, o fluxo dos recursos transformados torna-se uma questão mais importante que deve ser tratada pela decisão referente a arranjo físico”. O autor esclarece ainda que:

À medida que o volume aumenta, a importância de tomar a decisão certa quanto ao fluxo aumenta. À medida que a variedade é reduzida, torna-se crescentemente possível arranjar os recursos transformadores de acordo com as necessidades de processamento do produto ou serviço. A variedade de diferentes configurações de um satélite de comunicação ou as diferentes necessidades de clientes de uma biblioteca, na realidade eliminam a possibilidade de um fluxo regular e previsível. (SLACK *et al.*, 1999, p. 170).

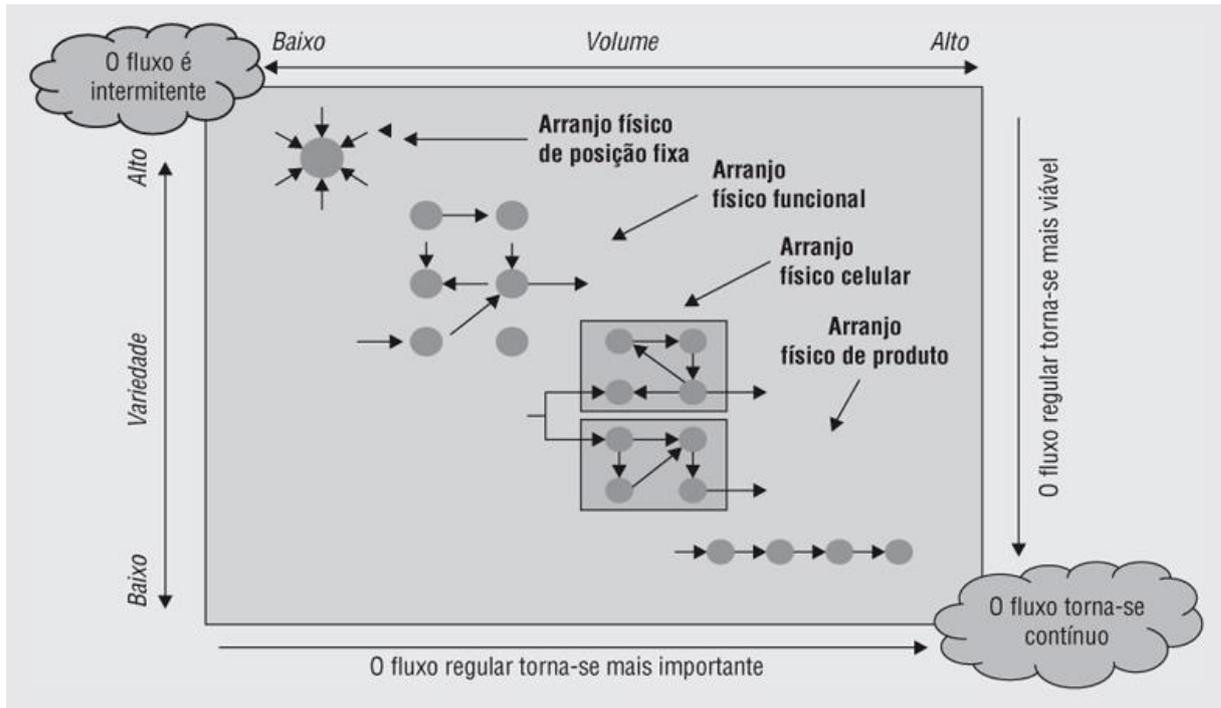
As operações de baixo volume, em geral, têm alta variedade de produtos e serviços e as operações de alto volume têm, normalmente, baixa variedade de produtos e serviços.

Os tipos básicos de arranjos físicos se agrupam em: Arranjos Clássicos – posicional; por processo e por produto e Arranjos Híbridos – celular–e também podem ser mistos, com mais de um arranjo em um mesmo projeto. No entanto, devido às características de volume-variedade do processo, a escolha do arranjo físico será reduzida a uma ou duas opções. Considera-se ainda, que esta decisão também será influenciada pela análise dos custos e das vantagens e desvantagens de cada tipo de arranjo (SLACK *et al.*, 1999).

Conforme apresentado na Figura 1, a posição do processo volume-variedade influencia seu arranjo físico e, conseqüentemente, o fluxo dos recursos transformados.

Além dos aspectos de volume-variedade e o fluxo correspondente a eles, o planejamento do arranjo físico também implica em avaliar a questão de custo unitário para implantação e operação de cada tipo de arranjo físico.

Figura 1 - Relação volume-variedade e tipo de processo apropriado



Fonte: Adaptado de Slack *et al.*(1999).

Esses custos, classificados como fixos ou variáveis, vão impactar positiva ou negativamente na escolha do cenário físico. Corrêa e Corrêa (2009) analisam a diferente participação do custo fixo nos custos totais de acordo com o tipo de arranjo físico, sendo assim, o arranjo físico posicional apresenta um menor custo fixo, uma vez que não exige nem mesmo a construção de um prédio apropriado para abrigar a operação, em contrapartida, o arranjo físico por produto necessita de investimentos grandes inicialmente, pois utiliza até máquinas que são customizadas para a operação.

Segundo o mesmo autor, os custos variáveis envolvem energia elétrica, mão de obra, matéria-prima e todos os itens necessários para produzir um determinado produto. Sendo assim, quanto maior o volume de produção, maior o custo variável. Explica ainda que os custos variáveis em arranjos físicos variam em que o arranjo posicional apresenta maior custo variável para o produto menor (CORRÊA; CORRÊA, 2009).

Slack *et al.* (1999) compartilhavam a mesma análise de custos, em que o custo fixo para estabelecer um arranjo físico posicional é menor comparando com outras formas de se produzir. Entretanto o custo variável de se produzir cada produto é relativamente alto comparado com outras formas de arranjo. Os custos fixos tendem a aumentar passando do arranjo físico posicional para os de processo e celular, até chegar no arranjo por produto.

Entretanto os custos totais de cada tipo de arranjo são guiados pelos volumes de produtos ou serviços produzidos.

O mesmo autor alerta que a decisão sobre o arranjo físico raramente se baseia na consideração de custo, uma vez que não se podem prever com certeza, os custos operacionais de cada tipo de arranjo, pois dependerão de inúmeros fatores difíceis de quantificar. Sendo assim, a decisão tende a ser avaliada por meio da análise de vantagens e desvantagens (SLACK *et al.*, 1999).

Um arranjo físico mal elaborado trará consequências desastrosas para a organização, podendo causar grandes prejuízos e inviabilizar o negócio, seja pelo desperdício de tempo na operação, pela perda de clientes insatisfeitos ou, até mesmo, pela ocorrência de acidentes de trabalho, que podem ser gerados por condições inseguras do arranjo inadequado, por doenças decorrentes de má postura dos colaboradores devido à falta de análise ergonômica. Problemas de produtividade ou baixa qualidade dos produtos podem ter origem na falta de iluminação adequada ou conforto térmico. Esses são alguns fatores que demandam custos altos, mas que não podem ser desprezados, dependendo da estratégia empresarial (SLACK *et al.*, 1999).

Diante disso, Peinado e Graeml(2007) garantem a existência de alguns tipos básicos de arranjo físico que se agrupam aos itens conforme sua natureza de procedimento de fabricação. São eles: Arranjo por produto, por processo, por posição fixa e celular.

Afirmam, ainda, que é possível utilizar mais do que um modelo. Essa junção em um projeto gera o chamado arranjo físico misto, de forma que cada modalidade deverá ser analisada, identificando as características, vantagens e desvantagens de cada espécie, auxiliando na escolha que melhor se enquadra (PEINADO; GRAEML, 2007).

### **2.1.1.1 Arranjo por produto**

Arranjo por produto é geralmente utilizado por organizações de prestação de serviços e indústrias. As atividades seguem uma sequência pré-definida formada por uma linha de produção, por exemplo, as indústrias alimentícias e montadoras de veículos (PEINADO; GRAEML, 2007).

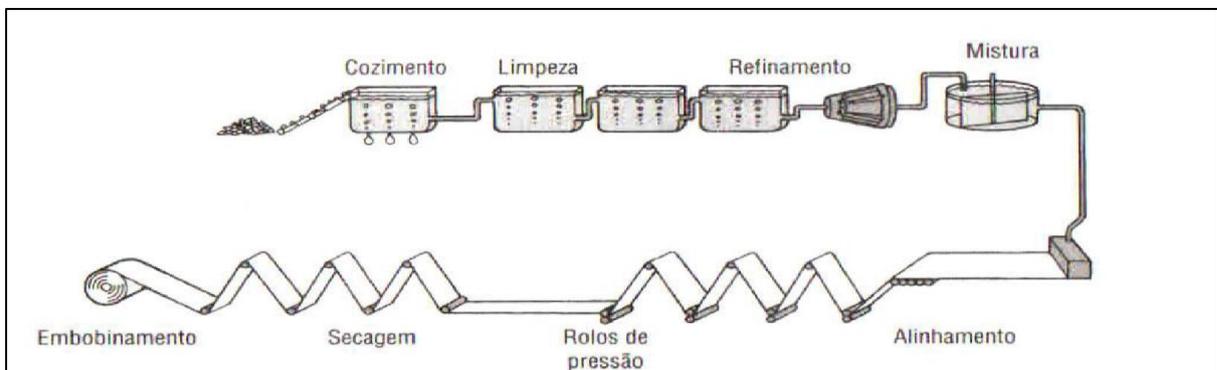
Segundo Slack *et al.* (2002), cada material, produto e informações seguem um fluxo

anteriormente determinado, que coincide com a sequência em que os processos foram alocados fisicamente. Além disso, Moreira (2002) afirma que os maquinários são específicos para a produção dos itens, tornando-se frequente a existência de mais de uma máquina do mesmo modelo, que busca equilibrar o processo.

Torna-se viável a utilização deste arranjo físico quando as operações processam grandes volumes com baixas variedades de produtos ou que possuam volumes altos de clientes que utilizam a mesma sequência de etapas no processo (CORRÊA; CORRÊA, 2009). Slack *et al.* (2009) defendem que o arranjo físico normalmente é escolhido devido à sua uniformidade dos requisitos do produto ou serviço na operação.

Considerando o custo benefício que traz esta espécie de arranjo físico, Peinado e Graeml (2007) explicam que o custo fixo se mantém alto na organização, entretanto, o custo variável por produto produzido é consideravelmente baixo. Conforme a Figura 2, os formatos de linha reta de produção podem tornar-se um problema quanto ao seu comprimento para as organizações, deste modo, a solução viável são os formatos S e U.

Figura 2 - Arranjo físico por produto



Fonte: Slack; Chambers e Johnston (2009).

Na Figura 2 é ilustrada a sequência de processos na manufatura de papel, que mesmo com variedades de diferentes tipos de papéis fabricados na operação, todos requerem a mesma sequência do processo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON 2009).

Segundo Peinado e Graeml (2007), no Quadro 1 são apresentadas as vantagens e as desvantagens deste tipo de arranjo físico.

Quadro 1–Vantagens e desvantagens de arranjo físico por produto

Vantagens	Desvantagens
Probabilidade de alcançar um alto rendimento com a produção em massa, pois a produtividade da mão de obra é elevada visto que a atividade é repetitiva, com baixo grau de dificuldade e alta automação;	Possibilidade de desmotivação dos operadores porque, geralmente, as operações de montagem são monótonas, pobres e repetitivas devido ao alto grau de divisão do trabalho;
Fluxo do processo constante e com utilização de matéria de forma contínua havendo equilíbrio devido ao mesmo tipo de produto ser fabricado;	Há necessidade de um grande investimento de capital em maquinários, pois utiliza a automação em grande escala;
Controle de produtividade mais fácil de administrar, pois em uma linha de produção o controle de velocidade está sob supervisão da administração podendo direcionar a agilidade aumentando o grau de produtividade ou ainda a reduzir.	Necessita de um tempo maior para se amplificar ou diminuir a produção, tornando os tempos de setup longos.

Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

Conforme Slack *et al.* (2009), uma técnica para projetar um arranjo físico por linha é o balanceamento de linha, que serve para nivelar produção com relação aos tempos, determinando o número necessário de postos de trabalho, distribuindo igualmente a mesma demanda de trabalho para as pessoas e máquinas. Dessa forma, anula os gargalos de produção e elimina as esperas, ou seja, no projeto de arranjo físico se estabelece a técnica de balanceamento de linha para compreender as variações dos tempos de cada tarefa e desta forma equilibrar o processo.

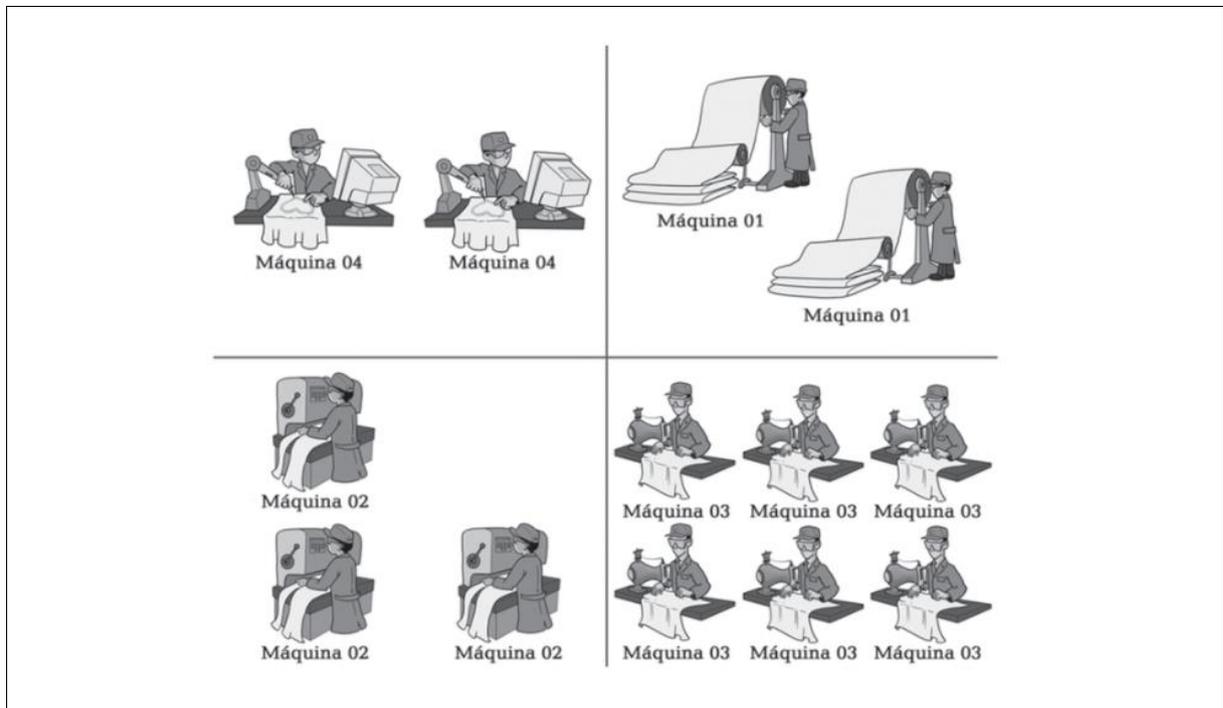
### 2.1.1.2 Arranjo físico por processo

Arranjo físico por processo tem como objetivo organizar os recursos e processos similares, construindo um fluxo de produção intermitente (produção por lotes ou encomendas), agrupando com função ou processo semelhante, desta forma os recursos movem-se de um centro de produção para outro conforme a necessidade (CORRÊA; CORRÊA, 2009). Posto isso, torna-se conveniente para a operação manter as informações, produtos e cliente, percorrendo as mesmas atividades, beneficiando os recursos transformadores (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

O arranjo físico por processo é capaz de lidar com diferentes roteiros, na Figura 3 as operações comuns são agrupadas e necessitam atender diversos clientes ou produzir produtos distintos (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009). De outra forma, os fluxos intensos fazem com que os mesmos se cruzem, ocasionando baixa eficiência e aumento no tempo de atravessamentos dos fluxos (CORRÊA; CORRÊA, 2009).

Slack *et al.*(2009) demonstram que se pode encontrar arranjo físico por produto em diversas organizações, em geral, as mesmas agrupam seus produtos conforme sua função.

Figura 3 - Arranjo físico por processo



Fonte: Seleme; Seleme(2008).

A Figura 3 mostra uma indústria de confecções, na qual é reunida cada máquina em uma área determinada, onde é alocada conforme o processo sendo ele corte, costura e bordado, deste modo ilustra um arranjo físico por processo (SELEME; SELEME. 2008).

Segundo Peinado e Graeml(2007), no Quadro 2 são apresentadas as vantagens e desvantagens deste tipo de arranjo físico.

Quadro 2– Vantagens e desvantagens de arranjo físico por processo

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Flexibilidade para atender as mudanças posicionadas pelo mercado: de maneira menos específica, sem considerar eventuais gargalos, adotar o arranjo por processo, basta alterar o fluxo que garante a duração de sua fabricação;	Longos fluxos dentro das fábricas: torna difícil o gerenciamento das atividades, pois há necessidade de deslocamento por maiores distâncias, como são organizados de forma funcional, não estão posicionados na melhor sequência;
Motivação em nível alto: geralmente trabalha-se com mão de obra especializada e qualificada, contando com produtos únicos, diminui a monotonia por não existir produção repetitiva;	Diluição de custo fixo em função de menor expectativa de produção: dificilmente a empresa consegue obter o conhecimento antecipadamente do que se vai produzir, logo, necessita de uma série de recursos disponíveis;
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>

Atende vários produtos em quantidades variáveis: permite, com a mesma planta fabril processar mais de um modelo de produto simultaneamente, deste modo enquanto um produto está sendo fabricado em determinado local, é possível que outro diferente esteja recebendo um outro processamento.	Dificuldade de balanceamento: costuma gerar estoque em processos, pois há uma dificuldade em programar e balancear o trabalho devido à grande alteração de produtos.
---	--

Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

Moreira (2002) seleciona algumas técnicas essenciais para a formação de um arranjo físico por processo. São elas: a formação de uma rede entre os fluxos que atenda a necessidade de passagem de cada produto, pelos centros de trabalho, a adaptação de uma linha variada de produtos ou prestação de diferentes serviços, que, comparada com o arranjo físico por produto, apresenta uma taxa de produção relativamente baixa.

Slack *et al.* (2009) refere-se à ferramenta *Systematic Layout Planning* (SLP) como um importante aliado na projeção de um arranjo físico funcional, auxiliando nas decisões. Quanto ao melhor posicionamento de máquinas, pessoas e equipamento no processo, estando dividida sua elaboração em quatro fases: localização, arranjo físico geral, detalhado e implementação. O mesmo autor estabelece que na primeira fase está direcionada a localização da área produtiva, a segunda busca a identificação das posições relativas entre as áreas diversas, a terceira envolve a localização específica de cada equipamento e máquina e na última fase é planejada a implementação, incluindo o deslocamento de equipamentos, máquinas e recursos, com o objetivo de acompanhar o proposto.

### 2.1.1.3 Arranjo físico por posição fixa

Conforme Slack *et al.* (2009), o arranjo físico de posição fixa é o qual os recursos transformadores como máquinas, equipamentos e pessoas se movem ao redor do recurso transformado, sendo assim, quem sofre o processamento, não se movem ou têm mobilidade baixa, se mantêm em estado estacionário. Esse arranjo tem alta utilização quando o produto for pesado, de difícil mobilidade, ou quando não se pretende movimentá-lo, tornando a única solução possível a posição fixa (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

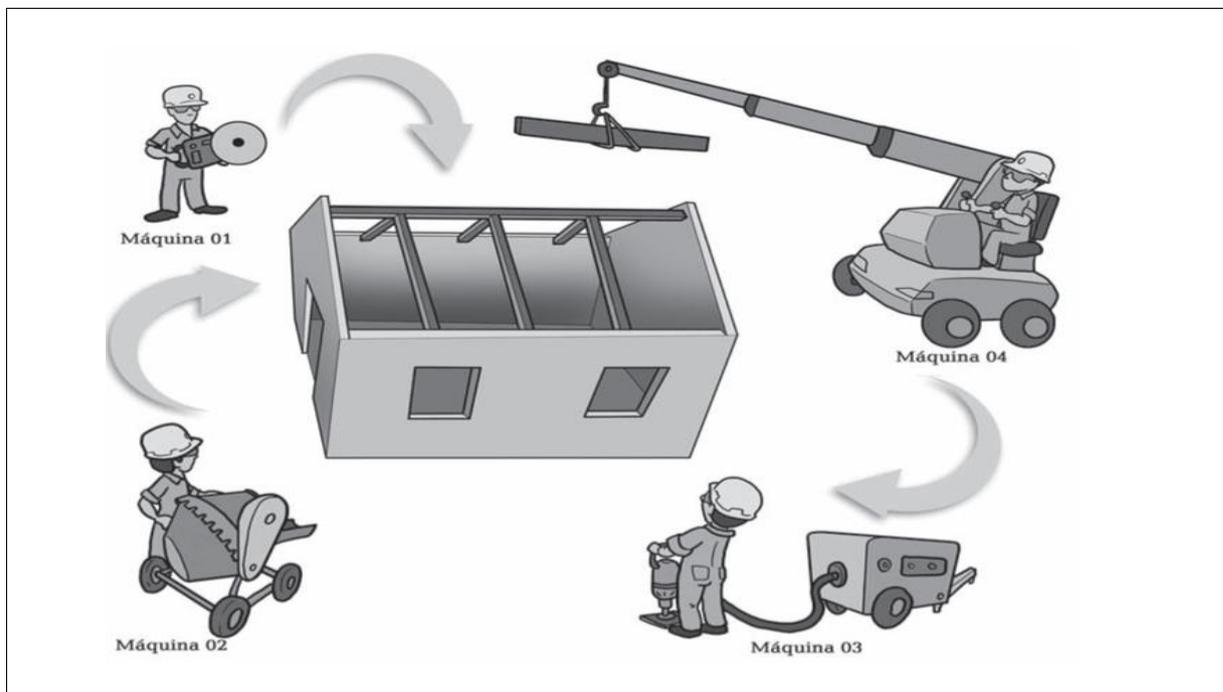
Para Moreira (2002), o arranjo físico de posição fixa se relaciona normalmente a projetos com produtos sazonais e com níveis de produção baixos, em razão de que o recurso transformado interfere na imobilidade referindo-se ao tamanho e ao formato deles. Corrêa e Corrêa (2009) afirmam que por obter uma baixa movimentação de produtos e uma alta

flexibilidade, permitem uma customização em grau máximo, em contrapartida resulta em movimentação de pessoas, equipamento, baixa produção e grande dificuldade em controle de produção e planejamento.

Para Peinado e Graeml (2007), o arranjo físico de posição fixa segue a mesma linha do apresentado acima, sendo que o material a ser transformado se mantém estacionário em uma determinada posição e os recursos de transformação se deslocam executando as operações necessárias.

Na Figura 4, um grande exemplo desse arranjo físico é a construção civil, pois é impossível fazer um edifício e mover-se entre as etapas de processamento, da mesma forma, entre os exemplos mais típicos estão os aviões de grande porte, os estaleiros, as unidades de terapias intensivas. Geralmente esse tipo de arranjo físico mantém uma eficiência relativamente baixa, possuindo a necessidade de terceirizar algumas partes das etapas de agregação de valor, entretanto o grau de customização é máximo, uma vez que os produtos que utilizam esse arranjo físico normalmente são únicos ou em mínimas quantidades (CORRÊA; CORRÊA, 2009).

Figura 4 - Arranjo físico de posição fixa



Fonte: Seleme; Seleme(2008).

Na Figura 4 encontra-se um exemplo de arranjo físico de posição fixa o qual representa o processo de construção de uma casa, tendo o recurso transformador se movendo

ao redor do recurso transformado (SELEME; SELEME 2008).

Segundo Peinado e Graeml (2007), no Quadro 3 são apresentadas as vantagens e desvantagens deste tipo de arranjo físico.

Quadro 3–Vantagens e desvantagens de arranjo físico por posição fixa

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Baixa movimentação do produto;	Dificuldade no controle de mão de obra, de matéria-prima e ferramentas;
Possibilidade de terceirizar o projeto com os prazos previamente fixados;	Torna-se necessário um local específico para a submontagem, armazenamento de matérias e ferramentas e a construção de abrigos para funcionários;
Possibilita a utilização de técnicas de programação.	Produtos com baixa padronização, realizando uma escala pequena de produção.

Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

Na maior parte dos casos, a eficiência produtiva desse tipo de arranjo físico pode ser comprometida, havendo a necessidade de terceirizar grande parte do processo que agrega valor ao produto. A construção civil é um exemplo clássico em que se observa claramente a imobilidade do recurso transformado, ou seja, não há possibilidade de mover-se entre etapas de um processo ao outro (CORRÊA; CORRÊA, 2009).

#### **2.1.1.4 Arranjo físico celular**

A categoria de arranjo físico celular busca as características do arranjo físico por processo e por produto, isto é, a locomoção dos materiais percorre um fluxo em linha, no entanto, a localização dos equipamentos na qual será utilizada na transformação da matéria-prima em produto, do início ao fim, está alocada em um único lugar, conhecido como célula ou “mini linhas de produção” (PEINADO; GRAEML, 2007). Este processo é feito com o intuito de buscar flexibilidade, alcançando o objetivo de produzir várias famílias de itens.

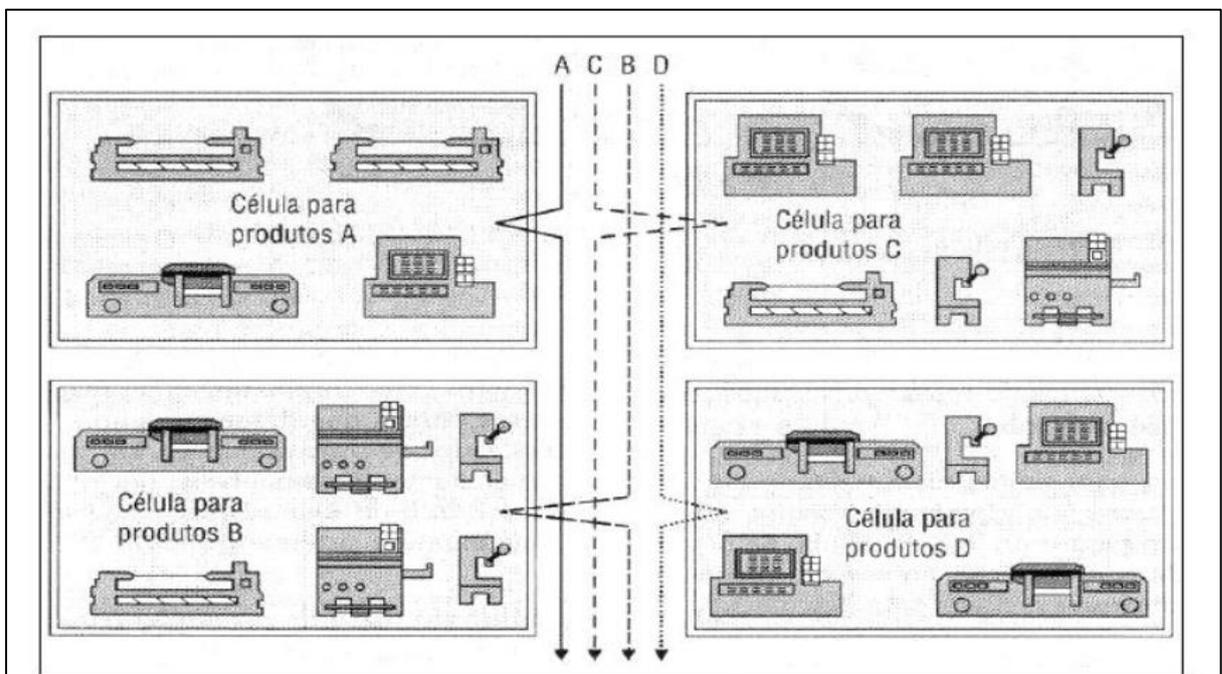
No arranjo físico celular, os recursos são agrupados de forma que consigam processar uma família de produtos que requerem etapas de processos similares (CORRÊA; CORRÊA, 2009).

No entendimento de Slack *et al.* (2009), os recursos que serão transformados são selecionados e encaminhados para uma célula, na qual encontram-se os recursos necessários

para o seu processamento. Conforme a Figura 5, cada recurso transformado passa de uma célula a outra até chegar no objetivo final, ou seja, encaminhando os recursos transformados para a célula onde estão os recursos transformadores.

Para Corrêa e Corrêa (2009), o arranjo celular busca aumentar a eficiência encontrada em arranjo físico funcional, utilizando sua flexibilidade necessária, geralmente focada em um grupo de itens, buscando otimização na velocidade do fluxo, através dos recursos posicionados em distâncias menores, contribuindo para produzir uma família inteira de um item e não apenas uma etapa do processo, para atingir um melhor controle dos processos.

Figura 5 - Arranjo físico celular



Fonte: Peinado; Graeml(2007).

Na Figura 5 é exemplificado um modelo de empresa que trabalha com famílias de produtos, sendo cada uma processada em uma célula, já que os produtos de processo e montagem seguem a mesma linha, sendo assim, os processos são similares em cada célula.

No Quadro 4 são apresentadas as vantagens e desvantagens, segundo Peinado e Graeml (2007), desse tipo de arranjo físico.

Quadro 4–Vantagens e desvantagens de arranjo físico celular

Vantagens	Desvantagens
-----------	--------------

Flexibilidade no tamanho dos lotes por produto: reduz o tempo de setup de acordo com o modo que as máquinas e equipamentos são posicionados nas células. Com a redução é possível diminuir o tamanho dos lotes, atingindo a flexibilidade desejada;	Específico para uma família de produto: pode haver ociosidade na célula, pois é preparada para um único tipo ou família de itens;
Diminui a movimentação de material: com a proximidade das células, busca-se reduzir as distâncias percorridas;	Sua elaboração é mais complexa quando comparado com outros tipos de arranjos físicos.
Estoques reduzidos: com lotes de produtos menores, obtém-se um estoque médio do produto fabricado reduzido, conseguindo através da redução do tempo de espera do item em processo, diminuir o estoque de processo;	

Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

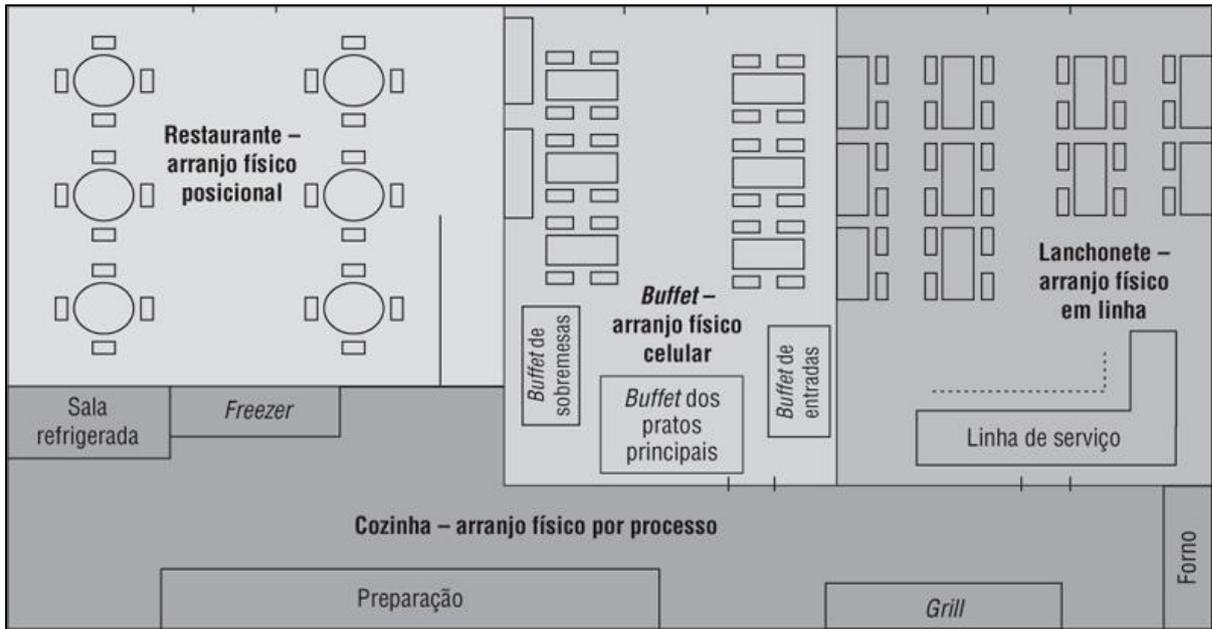
Krajewski (2010) explica que uma das técnicas utilizadas para projetar um arranjo físico celular é a identificação das famílias de produtos, agrupando os recursos para processar os itens da mesma família. Considera-se como uma família de produtos um grupo de produtos que realizam os mesmos processos anteriores, estando não só vinculados às características geográficas do produto, mas também com sua forma de fabricação. Entretanto, a identificação do grupo proporciona um arranjo físico celular pela junção dos recursos, otimizando o processo.

### 2.1.1.5 Arranjo físico misto

Combinar elementos e técnicas de dois ou mais tipos de arranjos físicos em diferentes partes da operação de uma organização, de forma pura, torna esta combinação, o denominado arranjo físico misto (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Conforme a Figura 6, na busca por usufruir das vantagens dos modelos de arranjos físicos as organizações priorizam por combinar os arranjos por produto, processo e celular (PEINADO; GRAEML, 2007).

De acordo com Slack *et al.* (2006), o arranjo físico misto é implementado normalmente quando o sistema utilizado apresenta gargalos e eventualidades prejudiciais. Introduzindo outro arranjo físico somado ao existente pode-se obter uma sequência de diversos arranjos físicos, contribuindo para otimizar a produtividade, de acordo com a necessidade de organização.

Figura 6 - Arranjo físico misto



Fonte: Peinado e Graeml(2007).

Na Figura 6 é retratado um sistema que utiliza os benefícios de quatro tipos de arranjos físicos diferentes em um restaurante. A cozinha é formada por um arranjo celular, no qual estão os processos – pratos–necessários para os clientes se servirem conforme suas necessidades. No restaurante tradicional o arranjo físico encontrado é o posicional, em que os clientes permanecem em suas mesas enquanto que a comida é levada até eles. Lanchonete, ou restaurante por quilo conta com um arranjo físico em linha, considera o roteiro cujos clientes passam para se servirem e sempre o mesmo (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Nas palavras de Peinado e Graeml(2007, p.228), “o arranjo físico misto é utilizado quando se deseja aproveitar as vantagens dos diversos tipos de arranjo físico conjuntamente. Geralmente é utilizada uma combinação dos arranjos por produto, por processo e celular”.

## 2.2 Processo produtivo e arranjo físico em beneficiadora de grãos

Segundo Gonçalves (2000), o conceito utilizado para processo é amplo, pois todo produto ou serviço ofertado por uma empresa passa por um processo, desta forma, empresas e processos estão correlacionados. É um conjunto de atividades que busca o mesmo objetivo: transformar insumos (entradas), agregando valor por meio dos procedimentos em bens ou serviços (saídas) que devem atender as necessidades do cliente (CRUZ, 2003).

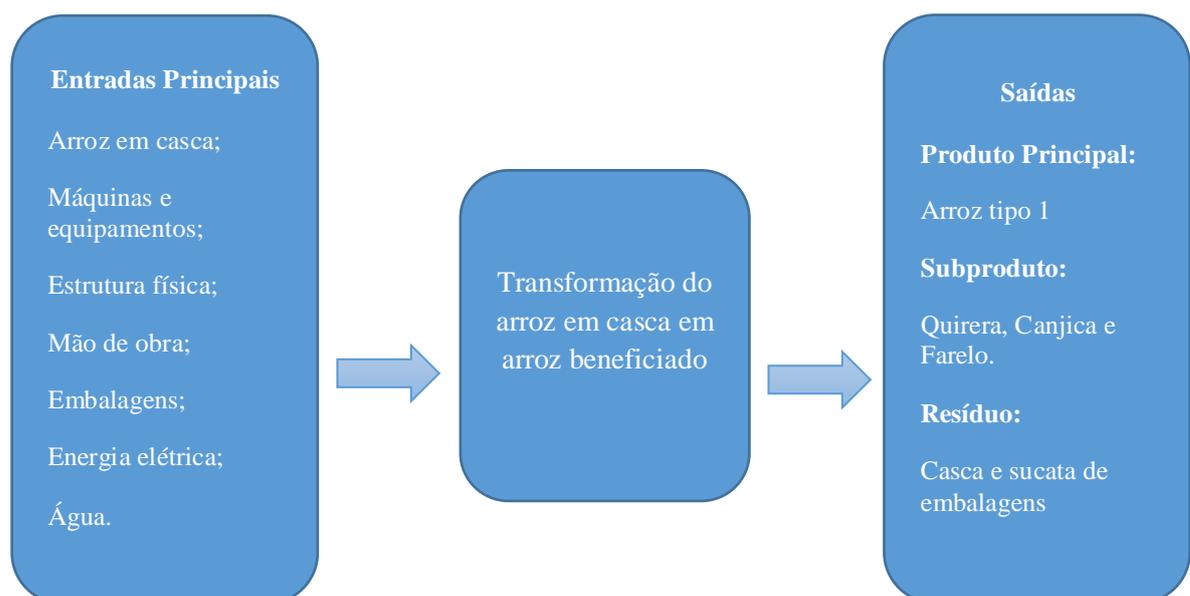
Pereira *et al.* (2012) explicam que o processo produtivo de uma beneficiadora de grãos

– arroz – inicia no período de safra em que a empresa recebe o produto da lavoura com alto grau de umidade, seguido por um processo de limpeza e secagem dos grãos, a fim de levá-lo a nível ideal para o beneficiamento. O produto entra na indústria com casca, passa por diversas etapas, como: limpeza, que retira todas as matérias estranhas; na sequência o processo de transformação, em que é retirada a casca do produto por meio do atrito realizado grão a grão. Após passar para o processo de fricção, que elimina a película de farelo do grão, é classificado, ou seja, há uma seleção dos grãos bons e ruins, e por fim é realizado o empacotamento do produto.

Pereira *et al.* (2012) apresentam as entradas (*inputs*) como, normalmente, sendo a matéria-prima arroz em casca, em beneficiadoras de grãos, e os recursos transformadores (máquinas, mão de obra, entre outros), já que o processo de transformação, no qual os *inputs* serão transformados, é constituído de diversas operações como descasque, polimento, separação, classificação e empacotamento, chegando na saída (*output*), que são os resultados da transformação dos *inputs*, ou seja, o produto final, depois de concluído o processo de transformação, já está pronto para ser fornecido ao consumidor.

Assim, Pereira *et al.* (2012), representam, na Figura 7, as entradas e saídas de uma beneficiadora de grãos, de forma macro.

Figura 7 - Entradas e Saídas em beneficiadora de grãos (arroz)



Fonte: Adaptado pelo autor de Pereira *et al.*(2012).

Moreira (2002) contribui que as operações que seguem um fluxo ininterrupto, nos

quais as máquinas mantêm uma sequência de processamento utilizando um sistema contínuo, com baixa variedade e alta quantidade, possibilita abordar as etapas como uma programação da produção, normalmente otimiza a produção utilizando o arranjo físico por produto.

Desse modo, Guiné (2013) afirma que empresas beneficiadoras de grãos utilizam normalmente este arranjo físico, permitindo a produção em grandes quantidades, e os produtos (grãos) seguem um fluxo de operações (descasque, polimento, classificação, seleção e empacotamento) sem grandes interrupções, mantendo alta produtividade.

Slack *et al.* (1999) complementam que a aplicação de arranjo físico por produto mantém altos volumes de produção e baixas variedades de produtos. Desta maneira, a indústria de beneficiamento de grãos se enquadra na categoria, em razão que beneficia grandes volumes da mesma variedade de produtos.

Para Peinado e Graeml (2007), a instalação de um arranjo por produto em beneficiadoras de grãos requer normalmente equipamentos especializados e automatizados, apresentando custos fixos altos. No entanto, Guiné (2013) menciona que para indústria os custos fixos se dissolvem, pois a otimização da mão de obra e dos recursos em formato de linha de produção proporcionam baixo custo variável por unidade, já que as tarefas são altamente repetitivas e o grau de automatização elevando mantém uma escala de produção que otimiza os custos.

Slack *et al.* (1999) afirmam que é possível controlar a carga de máquina e o consumo do material ao longo da linha, potencializando a produção controlando a ociosidade dos recursos, alcançando um balanceamento da linha, uma vez que está sendo fabricado o mesmo tipo de produto, a qualquer momento. No entanto, Pereira *et al.* (2012) demonstram que existe uma grande fragilidade no processo, dado que o sistema flui de uma etapa a outra, tal como acontece em elos de uma corrente, basta uma operação deixar de funcionar que todo o beneficiamento para, ou seja, o produto segue um fila de operações, se uma para, as outras conseqüentemente paralisam junto.

Slack *et al.* (1999) explicam ainda que, não necessariamente, o arranjo físico por produto deve atender o formato de linha retilínea, a mesma tende a ficar longa e ocupa grande área. Já Pereira *et al.* (2012) expõem que para o beneficiamento de grãos o posicionamento pode ser em formato de “S” vertical, em que as primeiras operações como descasque do produto estão localizadas na parte superior, seguindo com o benefício da gravidade para as

outras operações.

Entretanto, a implantação de um arranjo físico em uma beneficiadora de grãos requer a utilização de técnica de balanceamento de linha que busca otimização dos postos de trabalho contribuindo para eliminação de “gargalos” que se formam no decorrer da linha. Distribuindo as tarefas conforme a necessidade, eliminando sobrecargas em algumas etapas e ociosidade em outras (GUINÉ, 2013).

Pereira *et al.* (2012) apresentam que para a indústria de beneficiamento de grãos a utilização de arranjo físico por produto contribui com a organização otimizada das máquinas, equipamento e mão de obra, minimizando os custos, obtendo um ganho em escala de produção, onde as linhas balanceadas reduzem a ociosidade e de forma ampla contribui com o aumento da produtividade eficiente.

### **2.3 Simulação de eventos discretos**

A simulação de sistemas de eventos discretos refere-se aos sistemas em que as variáveis se alteram apenas em instantes discretos de tempo. Banks *et al.* (2004) mencionam que os modelos analisados operam com métodos numéricos e não analíticos, onde os métodos analíticos empregam a matemática para encontrar uma solução para o problema, entretanto os numéricos utilizam procedimentos computacionais.

Para Banks *et al.* (2004), compreender um sistema é essencial, determinar os limites entre o sistema e o ambiente que está inserido, ou seja, estabelecer o que faz parte do sistema e o que é parte do ambiente, esta distinção pode depender de diversos fatores como: o propósito do estudo e a complexidade e dificuldade de encontrar as informações sobre alguns aspectos. O mesmo autor afirma que é necessária a elaboração de um histórico do sistema, envolve a observação e manipulação de dados, para estabelecer as interferências que podem ser demonstradas em um sistema real.

Segundo Law e Kelton (1991), os estudos dos sistemas estabelecem diferentes formas de abordagem, uma delas é a interferência nas rotinas operacionais que promovem a implantação e ou alteração de procedimentos, até encontrar as condições ideais. Portanto, essa decisão requer experiência e estudos preliminares do tomador de decisão para que não diminuam a eficiência do sistema. O mesmo autor estabelece que os sistemas podem ser

estudados de duas formas, com a utilização de experimento junto ao sistema real e experimento com o modelo, promovendo as abordagens para os sistemas relacionados.

Banks *et al.* (2004) mencionam que os estudos de sistemas são realizados por meio de representações denominadas como modelo, que é definido por uma simplificação do sistema, incluindo os elementos, que por sua vez, afetam o problema do estudo, contando com os detalhes suficientes para possibilitar a validação das conclusões realizadas.

Pidd (2002) afirma que a simulação manipula modelos que reproduz um sistema de interesse para investigar alteração ou encontrar efeitos com a utilização de diferentes políticas, proporcionando uma análise sem a interferência direta no processo. Portanto, para o mercado globalizado a utilização desta ferramenta é grande aliada na busca por melhorias no sistema, como por exemplo, a implantação e alteração de arranjo físico, que contribui com a diminuição de perdas, análise do impacto na variação do tamanho do lote de fabricação e várias outras situações em que importa a realidade para um ambiente controlado.

Para Sargent (2010), a eficiência de um modelo de simulação se dá pelo desenvolvimento de uma proposta específica, sendo que para sua validade, deve estar de acordo com a proposta inicial da modelagem, quando não há existência de um sistema real, a simulação assume papel de ferramenta cognitiva, sendo que não há a possibilidade de comparação dos resultados obtidos com o sistema real.

Segundo Harrelet *al.* (2000), por meio da simulação são explorados diversos valores para variáveis controladas e modificadas pelo projetista, são citadas pelo autor: tempo de processamento, índice de utilização dos recursos, tempo de movimentação dentre outras, que oportunizam o controle dos resultados de saída, obtendo a comparação entre modelos. Segundo Banks *et al.* (2005), um dos grandes benefícios com a simulação em ambientes é a oportunidade de conseguir visualizar o processo geral (macro) do efeito de mudanças pequenas (micro) no sistema.

Da mesma forma que acontecem as mudanças nas variáveis de estado de um modelo, classifica-se em sistema de eventos contínuos ou discretos, os modelos contínuos. Conforme Pidd (2002), as variáveis de estado variam continuamente com o tempo, descritas através das equações diferenciais. Entretanto, nos modelos discretos as variáveis de estados se mantêm por intervalo de tempo inalteradas, seus valores se modificam pela ocorrência de eventos, no entanto este modelo utiliza as funções probabilísticas, geralmente, destina-se a representar

sistemas mais complexos (SARGENT, 2006).

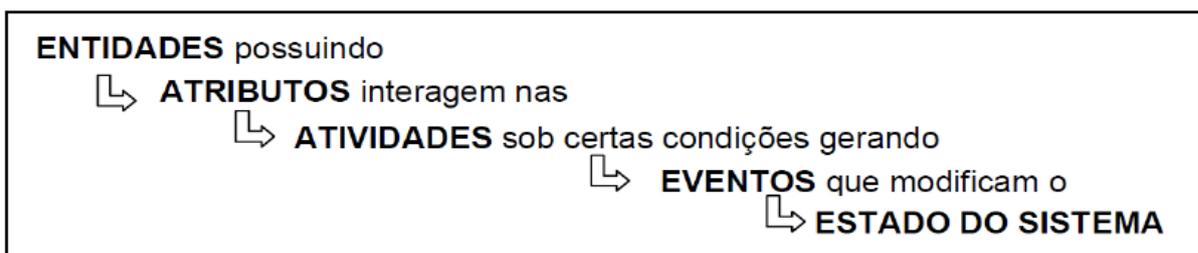
Banks *et al.* (2005) citam alguns outros benefícios da simulação de eventos discretos como aumento de produtividade, redução do tempo em que as peças ficam no sistema, redução dos estoques em processo e a garantia de que o projeto do sistema proposto vai operar conforme o esperado.

Law e Kelton (1991) afirmam que a grande vantagem de modelar um sistema é a possibilidade de realizar análises virtuais tridimensionais, discutindo os resultados e analisando com especialistas, gestores e com os próprios operadores, testando diversos cenários operatórios, garantindo a economia de tempo e a diminuição dos custos.

Banks *et al.* (2004) estabelecem alguns conceitos importantes na simulação, como as variáveis de estado, que é conjunto de variáveis que por meio dos valores determinam o estado de um sistema, os eventos que são acontecimentos instantâneos que alteram o estado do sistema e as entidades, que é qualquer objeto ou componente envolvido no modelo com representações explícitas dinâmicas ou estáticas, sendo estas entidades definidas por um conjunto de características próprias chamadas atributos, que influenciam de alguma forma.

Na Figura 8, a seguir, é representada a relação dos componentes que interagem no sistema de simulação.

Figura 8 - Relacionamento dos componentes da simulação



Fonte: Sargent (2010).

Segundo Longo *et al.* (2006) a simulação de eventos discretos é uma ferramenta bastante eficiente, que mostra a realidade de diferentes formas para analisar o desempenho do processo, obtém uma capacidade de incorporar soluções estocásticas para atingir as soluções viáveis e de ótima qualidade. Um modelo pode ser determinístico caso não apresente variáveis probabilísticas, ou estocástica quando a simulação do modelo possui incertezas, uma ou mais variáveis podem assumir valores aleatórios discretos ou contínuos, desta forma são tratadas com a teoria de probabilidade, com ênfase na determinação de função distribuição de

probabilidade.

Dentre os softwares de simulação de eventos discretos, o ProModel representado pela empresa Belge, desenvolvido para o sistema operacional Windows, conta com uma tecnologia avançada que auxilia na tomada de decisão através da simulação de eventos discretos, atinge resultados rápidos para planejar, projetar e melhorar novos processos ou reestruturar os mesmos, possibilitando reproduzir a complexidade de sistemas reais em um sistema virtual, desta forma, facilita a análise de variabilidade e interdependências, otimizando os indicadores (BELGE CONSULTORIA, 2010).

O software é bastante utilizado em dimensionamento de linhas e células; planejamento de arranjo físico ou reestruturação, implantação de ferramentas como *kaizen*, *kanban* e *leanproduction*; controle de estoques; aumento de produtividade com utilização dos recursos próprios, entre outras aplicações que buscam otimizar o processo sem geração de custos (BAIRD; LEAVY, 1994).

Banks *et al.* (2004) completam que o simulador foi desenvolvido inicialmente para aplicações em sistemas de manufatura, mas com a flexibilidade programação alcançada, possibilitou estender suas aplicações para diversos tipos de operações tais como cadeias de suprimento, sistemas industriais variados, disponibiliza funcionalidades, como a programação por meio de uma interface simples, as noções de turnos de trabalho, o avanço do tempo e os resultados estatísticos para análises.

### **2.3.1 Simulação computacional como meio de experimentação de projetos de arranjo físico**

A reorganização do arranjo físico exige, na sua grande maioria, disponibilidade de tempo, flexibilidade, parando a produção por longos períodos devido à movimentação desnecessária e realocação dos recursos. Durante a mudança, faz com que as organizações não consigam cumprir o cronograma de produção, ocasionando em entregas atrasadas e insatisfação dos clientes. Bósoli *et al.* (2009) julgam o projeto de arranjo físico como de suma importância para as organizações, pois tem como objetivo reduzir os custos de manuseio e transportes.

Tiberti (2001) exemplifica que na maioria dos casos determinar o melhor arranjo físico

para a organização pode se tornar uma atividade complexa, visto que são formados de diversos elementos para chegar em um ponto certo, desta forma, estabelece que a simulação computacional é uma das alternativas que testam e avaliam de modo geral, apresentando os resultados que auxiliam na tomada de decisão.

Bósoli *et al.* (2009) consideram a ferramenta de simulação para analisar as mudanças realizadas no arranjo físico, assim, iniciou com um modelo computacional do atual arranjo, e através dos dados coletados avaliou-se diversos cenários produtivos. A comparação dos modelos é feita por meio dos indicadores, como: tempo médio por lote e quantidade média de lotes produzidos, resultando na análise que verifica a eficiência do arranjo proposto.

Tiberti (2001) explica ainda que o modelo de simulação bem feito representa alto grau de confiabilidade, em que a simulação permite alterações no sistema virtual que mostram as consequências no sistema real. A partir disso, Bósoli *et al.* (2009) desenvolveram o modelo representando o arranjo atual de cinco áreas distintas: a de produção, a de carregamento, o estoque de matéria-prima, o estoque de embalagens vazias e o estoque de produtos finalizados.

Bósoli *et al.* (2009) usam o mesmo modelo de simulação do arranjo físico atual para propor o arranjo físico que melhor se enquadra, mudando os tempos de deslocamento das entidades que diminuiriam devido à proximidade entre os centros de trabalho, nos quais os tempos de deslocamento das entidades no sistema, após a reorganização, foram propostos com base nas distâncias antes e depois das alterações.

Segundo Harrel *et al.* (2000), quando utilizada para validar projetos de arranjos físicos, a simulação reduz custos e tempos desnecessários, uma vez que apresenta os resultados das alterações feitas sem a necessidade de parar a produção. Dessa forma, Bósoli *et al.* (2009) simulam nos dois casos, antes e depois do rearranjo, um período de um turno (8 horas) e reaplicado durante 30 vezes. Obteve os resultados sem interferência na produção, otimizando custos e tempo.

No primeiro modelo, o atual da empresa, o tempo médio de produção para cada lote foi de 61,34 min, com uma produção de 21,93 lotes. Comparando com o segundo modelo de simulação, já com a reestruturação do arranjo físico, obteve os seguintes dados: o tempo médio reduziu para 58,33 min, e foram fabricados 23,43 lotes. Com isso, Bósoli *et al.* (2009) concluíram que com as análises da simulação a proposta de novo arranjo físico

diminuirá os tempos de produção de cada lote, aumentando a produção.

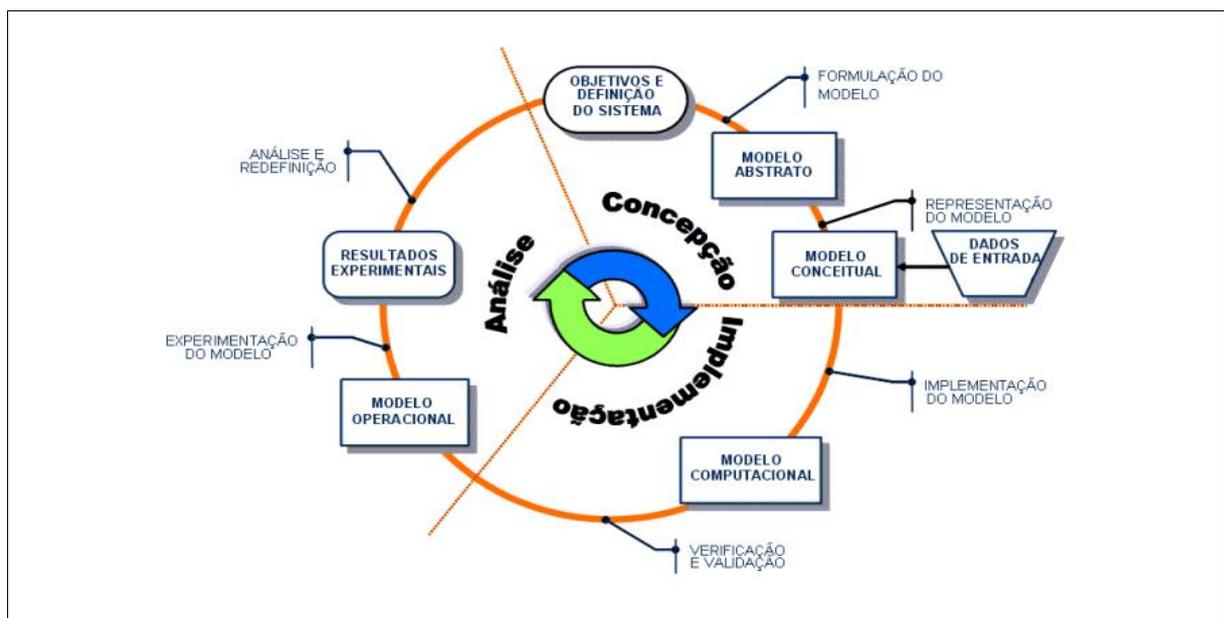
Bósoli *et al.* (2009) concluíram que a partir da simulação é possível identificar os gargalos existentes, auxiliando de diversas maneiras para que eles sejam eliminados. Dessa forma, em seu estudo obteve a melhora dos gargalos apresentados no arranjo físico por produto, avaliando 3 cenários que visam minimizar o tempo total percorrido por todas as peças dentro do fábrica.

Netto (2009) explica que através da simulação como ferramenta de apoio e tomada de decisão, pode-se observar uma grande evolução dos resultados, comparando os cenários até encontrar um arranjo físico que otimiza o processo, entretanto se faz necessário estudos que demonstrem em que situação os arranjos são mais vantajosos.

### 2.3.2 Metodologia da simulação

Chwif (1999) afirma que para análise do sistema é necessário definir a simulação que melhor se aplica, devendo seguir algumas etapas para obter um estudo de simulação bem sucedido, sendo estes passos conhecidos como metodologia de simulação ou ciclo de vida de um modelo de simulação, conforme a Figura 9.

Figura 9 - Sequência de passos para o projeto de simulação



Fonte: Chwif e Medina (2007).

Sendo assim, conforme pode ser identificado na Figura 9, são essas as três fases:

concepção, implementação e análise. Na primeira, concepção, os pesquisadores devem conhecer o processo a ser simulado, determinam o sistema, informando os objetivos, o escopo e os detalhes para o modelo, sendo a primeira fase a parte mais difícil do processo de desenvolvimento de modelos de simulação (ROBINSON, 2008).

A segunda fase, conhecida como implantação, em razão de que é construído o modelo computacional utilizando software para o desenvolvimento (SARGENT, 2010). E por fim, a terceira fase é a análise, na qual tem os diversos resultados dos cenários simulados, e assim consegue realizar recomendações e melhorias para o sistema em questão (CHWIF; MEDINA, 1999).

Chwif (1999) afirma que as etapas dispostas não necessariamente devem ser interpretadas em uma sequência linear, podendo haver mudanças dependendo do estudo prático. No entanto, Paulo *et al.* (2003) mencionam que os procedimentos podem não obter sucesso se no início da modelagem os problemas não forem bem entendidos, identificados e os objetivos traçados, levando assim a resultados da simulação errôneos.

### **2.3.3 Concepção**

Para Nonaka (1991), na fase da concepção acontece a criação do conhecimento do sistema, interações contínuas e dinâmicas entre os modos de conhecimento, desta forma serão apresentados os níveis utilizados em cada atividade de cada etapa do projeto de simulação.

Obter os objetivos e definir o sistema, o analista da simulação realiza diversas entrevistas com os especialistas responsáveis pelo sistema, a fim de conhecer os detalhes do processo, considerando esta etapa uma das mais complexas, pois requer maior atenção para que a formulação do modelo conceitual represente de forma correta o sistema a ser simulado (CHWIF; MEDINA 2009).

Segundo Nonaka (2000), além das entrevistas e reuniões com especialistas do sistema, os analistas também podem buscar o conhecimento do processo a partir dos documentos formalizados pela empresa em estudo.

Para a construção do modelo conceitual os especialistas utilizam técnica de mapeamento, ou seja, eles transformam as informações e conhecimento adquiridos em

documento, em modelos. Segundo Pinho *et al.* (2009), para obter a modelagem conceitual deve ser representado pelo analista de acordo com algumas técnicas de representação, afim de torná-lo mais próximo ao sistema real, de forma que as outras pessoas consigam compreender.

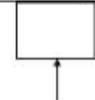
Algumas técnicas apresentadas na literatura para métodos de representação de modelo conceitual classificaram-nas em duas formas, métodos formais e descritivos. Nos métodos formais pode-se citar as Redes de Petri, DEVS (*Discrete Event System Specification*), *State Charts*, *Activity Cycle Diagrams* (ACD), dentre outras (CHWIF; MEDINA 2009).

Chwif (1999) utilizou representação em relação a vários critérios (entendimento e uso, representação dos objetivos, e a representação gráfica, se possui ou não), constatando que o ACD é uma das formas simples de se utilizar. Quanto aos métodos descritivos, pode-se citar o IDEF0 (*Integrated Definition for Function Modeling*), RAD (*Role Activity Diagrams*) e o Diagrama de Estados e de atividades da UML.

Dentre todos os métodos disponíveis, Nonaka (1991) afirma que a técnica de representação de modelo conceitual mais utilizada é o fluxograma e, em alguns casos, descrições textuais.

Leal *et al.*(2008) propuseram a técnica de modelagem conceitual, denominada de IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods - Simulation*), utiliza-se dos elementos lógicos para formalizar as técnicas de modelagem, proporcionando assim a elaboração de modelo conceitual com informações necessárias ao modelo computacional. Por meio desta técnica é permitido atingir benefícios como minimizar o tempo utilizado na modelagem computacional.

O IDEF-SIM combina diferente elementos de outras técnicas de modelagem como: *Business Process Modeling* (BPM), o IDEF0 e IDEF3. Dessa maneira, os símbolos utilizados e as aplicações fazem com que a interpretação do modelo seja mais rápida e fácil. O Quadro 5 apresenta a função de cada elemento utilizado nesta técnica (LEAL *et al.* 2008).

Elementos	Simbologia	Técnica de origem	
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)	
Funções		IDEF0	
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3	
Recursos		IDEF0	
Controles		IDEF0	
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E	IDEF3
	 X	Regra OU	
	 O	Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma	
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3	
Fluxo de entrada no sistema modelado			
Ponto final do sistema			
Conexão com outra figura			

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008).

- Entidade: elemento a ser processado no sistema, matéria-prima, pessoa, produtos, entre outros;
- Funções: são os locais onde as entidades passam por alguma ação, como os postos de trabalho, as esteiras, filas, posto de atendimento;
- Fluxo da entidade: encaminhamento da entidade no modelo;
- Recursos: Utilizados para realizar a movimentação das entidades e realizar as funções, normalmente representados por pessoas ou equipamentos;
- Controles: regras utilizadas no modelo, como sequenciamento, programação, entre outras;
- Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3;
- Movimentação: é deslocamento que representa um efeito importante sobre o

modelo;

- Informação explicativa: objetivo de facilitar o entendimento do modelo, se insere uma explicação;
- Fluxo de entrada no sistema modelado: estabelece as entradas ou criação das entidades;
- Ponto final do sistema: define o final do caminho modelado;
- Conexão com outra figura: utilizada para dividir o modelo em figuras diferentes.

Nonaka (1991) afirma que após realizar o modelo conceitual através da técnica é muito importante a validação do modelo junto como os especialistas do processo, apresentar o que foi construído, para que possam expor suas críticas, e a partir deste ponto realizar proposições, correções e sugestões. Chwif (2010) considera a validação do modelo de suma importância, visto que é a partir do modelo conceitual que todo o sistema é simulado.

Entretanto a busca pela modelagem e coleta dos dados que irão alimentar o modelo computacional é realizada através das visitas no processo que está sendo estudado, e cronometragem de tempos necessários para o modelo, podendo ser extraído também de algum banco de dados disponível pela empresa (NONAKA; TAKEUCHI, 1997).

Banks *et al.* (1996) afirmam que o processo de coleta de dados é uma das etapas da construção do modelo com influência no sistema a ser simulado, para que os resultados fornecidos mantenham veracidade. Segundo Pereira e Liyanage (2000), um dos motivos para não obter sucesso em um modelo de simulação é a ineficiência e demora na coleta dos dados, em razão de que esta atividade normalmente é realizada manualmente.

Chwif e Medina (2010) afirmam que a coleta de dados inicia a partir da identificação adequada das variáveis de entrada do sistema, observando minuciosamente o que são dados de entradas (os valores fornecidos ao modelo) e dados de saídas (os valores obtidos do modelo).

### **2.3.4 Implementação**

Segundo Nonaka (1991), a fase de implementação utiliza os assuntos tratados da concepção como modelo conceitual, dos dados coletados e tratados para inserir em modelo computacional. O mesmo autor afirma que é importante o conhecimento explícito do analista na programação do software de simulação, para junto com o conhecimento tácito adquirido no desenvolvimento do projeto, construir o modelo computacional coerente.

Desta forma a validação de um modelo assegura que todas as informações inseridas no modelo computacional foram corretas. Chwif (2010) menciona que esta avaliação pode ser realizada através dos recursos do software de simulação, analisando também a lógica do modelo comparado como modelo conceitual e verificando as possíveis divergências e corrigindo-as.

### **2.3.5 Análise**

Conforme Nonaka (1991), na fase de análise os analistas do projeto devem definir os cenários a serem simulados, o número de repetições necessárias, quais são as variáveis que serão alteradas, em quais níveis, quais são as alterações implementadas no modelo atual, entre outras modificações a partir do modelo computacional construído.

Nesta etapa, Chwif (2010) afirma que o modelo de simulação se torna operacional, pois está pronto para realizar diferentes experimentos estatísticos no processo de análise do comportamento do sistema, resultando em diversos dados. Assim, considera os aspectos importantes que foram determinados no início da simulação.

O mesmo autor menciona que o processo de análise dos resultados geralmente é menos dispendioso que as etapas anteriores, portanto é o momento de o modelo trabalhar, simulando diversos cenários.

## **3 METODOLOGIA**

O presente capítulo expõe a definição de pesquisa quanto ao método, a natureza de pesquisa, o objetivo da pesquisa, o modo de abordagem, os procedimentos técnicos e por final o planejamento geral da pesquisa.

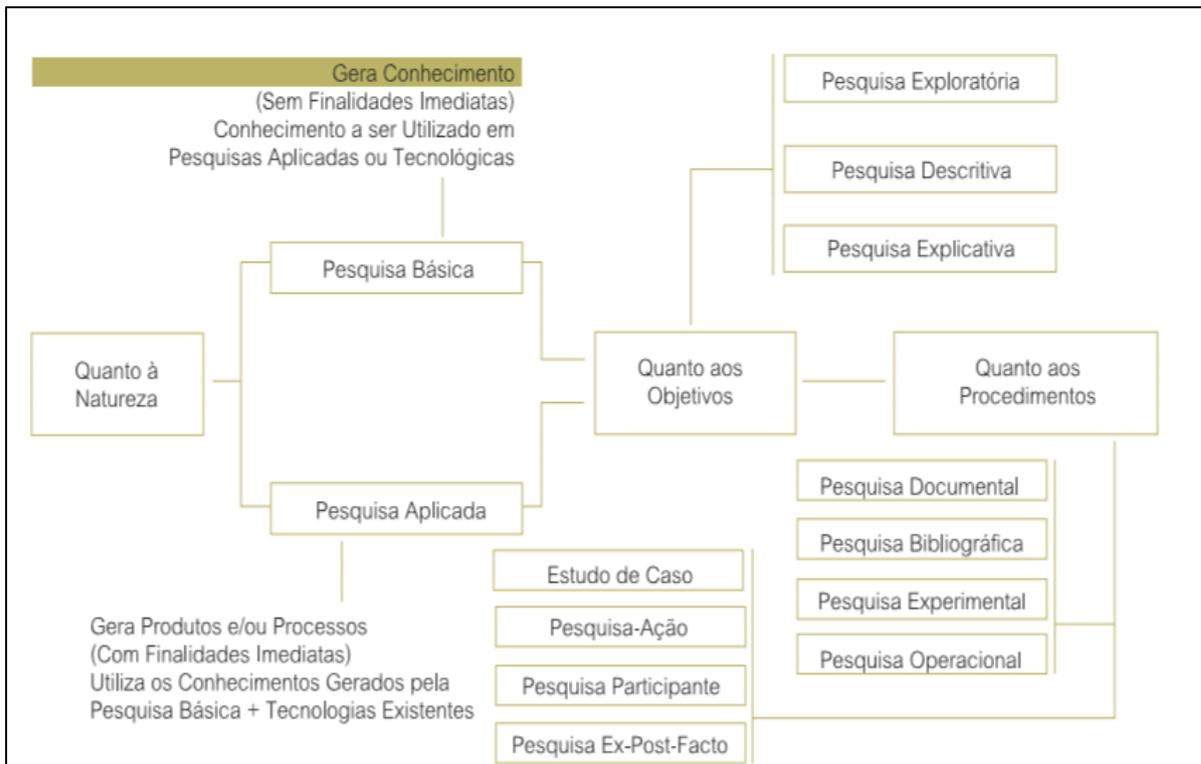
### **3.1 Método de pesquisa**

Gil (2008) menciona que para desenvolver uma pesquisa utiliza-se conhecimentos, métodos, técnicas e procedimentos científicos, entretanto fica dividido em diversas fases, do início da formulação do problema até a apresentação dos resultados, fazendo-se necessário um conjunto de informações e dados que esclareçam a problemática dos objetivos propostos.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), métodos são os procedimentos que auxiliam a chegar em um determinado fim, desta forma os métodos e abordagem proporcionam aos pesquisadores um entendimento para enquadrar a sua pesquisa, conforme a Figura 10.

Conforme Gil (2008), a pesquisa é desenvolvida mediante a escolha dos conhecimentos disponíveis e a utilização dos métodos e técnicas. Desta forma, o presente trabalho utilizará o método dedutivo. De acordo com a teoria de Prodanov e Freitas (2013), o método dedutivo é que torna a base do raciocínio lógico, atingindo conclusões formais, fundamentadas na lógica.

Figura 10 - Métodos de pesquisa



Fonte: Prodanov e Freitas (2013, p.51).

### 3.1.1 Classificação do estudo quanto à natureza

Quanto à natureza dos resultados, classifica a pesquisa como aplicada, de modo que envolve gerar conhecimentos com possibilidade de aplicação prática, direcionada à solução de problemas específicos de interesses locais, entretanto a pesquisa básica envolve verdades e interesses universais, gerando conhecimentos que são utilizados neste tipo de pesquisa (GIL, 2002; PRODANOV; FREITAS, 2013).

O estudo apresenta uma pesquisa de natureza aplicada, a qual será realizada em um setor de empacotamento de produtos, desta forma há um interesse local, o conhecimento adquirido tem proposta de melhorias que visam resultados mais eficazes na organização do arranjo físico.

### 3.1.2 A pesquisa quanto aos objetivos

A pesquisa quanto aos objetivos é classificada como exploratória, descritiva e

explicativa. De modo que Prodanov e Freitas (2013) salientam que a pesquisa descritiva observa, registra, analisa, classifica e interpreta fatos sem a interferência dos pesquisadores. Gil (2008) complementa que a pesquisa descritiva tem como objetivo estabelecer a relação entre fatores, utilizando técnicas padronizadas de coleta de dados.

O estudo apresenta uma pesquisa do modo descritivo, que, conforme Gil (2008), traz uma característica de arranjo físico, simulação de eventos discretos para explicar o cenário utilizado, e com as técnicas padronizadas de simulação, apresentar um cenário alternativo.

### **3.1.3 A pesquisa quanto ao modo de abordagem**

Segundo Prodanov e Freitas (2013), o modo de abordagem em uma pesquisa pode ser classificado como qualitativo ou quantitativo, desta forma a abordagem quantitativa mensura o estudo traduzindo-o em números, busca medir (quantidade, frequência e intensidade) e analisar as relações entre as variáveis. Já a pesquisa qualitativa destaca o processo e seu significado além de interpretar o fenômeno sem a utilização de números e considerar a relação entre o sistema real e os objetivos do estudo.

Esse estudo apresenta uma pesquisa quantitativa, pois busca mensurar em números (quantidades e intensidade) a melhoria da proposta no arranjo físico.

### **3.1.4 A pesquisa quanto aos procedimentos técnicos**

Os procedimentos técnicos utilizados no estudo são uma pesquisa de levantamento do tipo experimental e estudo de caso, pois quando o objetivo é determinado, selecionam-se as variáveis que têm influência no sistema, determinando as formas de controle e observação dos efeitos que as mesmas provocam no objeto. Com o estudo de caso busca identificar, coletar e analisar as informações de um fato, ou uma família e grupo, a fim de estudar os aspectos variados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

O mesmo autor afirma que a pesquisa experimental juntamente com o estudo de caso busca fazer com que o pesquisador refaça as condições de um fato a ser estudado, utilizando instrumentos de medição com precisão, a fim de demonstrar o modo e a causa pelos quais os

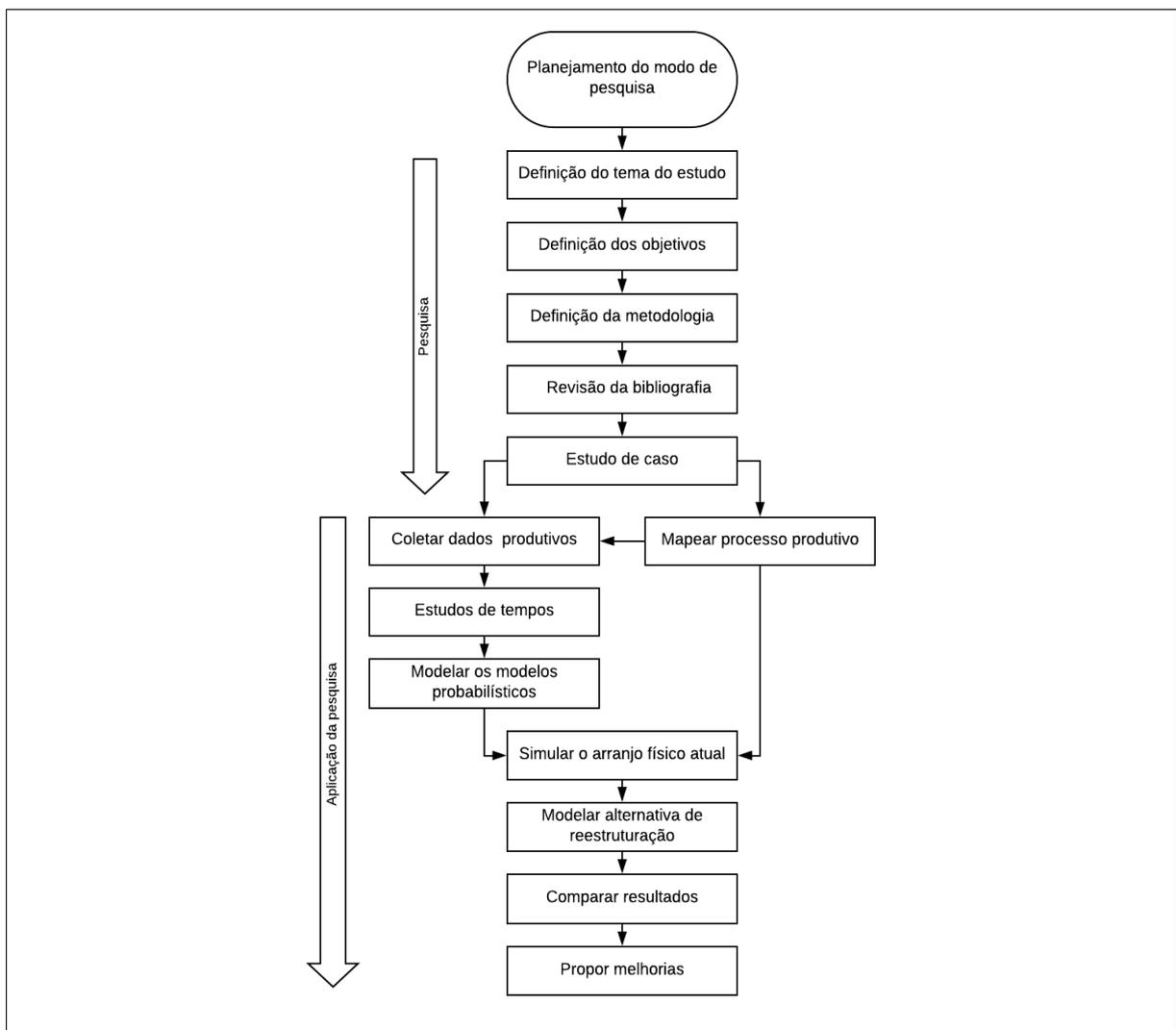
fatos são produzidos, proporcionando um estudo de causas e efeitos.

Dessa forma o estudo aplica a pesquisa experimental e estudo de caso, no qual será testado e mensurado um cenário alternativo. Assim, a simulação demonstra com precisão os modos de causas e efeitos que correm no sistema simulado, podendo controlar as alterações provocadas na empresa objeto de estudo.

### 3.2 Planejamento da pesquisa

Para obter um melhor entendimento da pesquisa, buscando alcançar os objetivos propostos pelo presente estudo, elaborou-se um fluxograma que garante o alinhamento dos processos, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Planejamento do método de pesquisa



Fonte: Do autor (2018).

Nas etapas descritas como pesquisa foi definido o estudo a ser realizado, os objetivos da pesquisa, os meios mais adequados aos fins da pesquisa e a metodologia para criar o embasamento teórico necessário. Já as etapas descritas na aplicação da pesquisa definem quais os passos que serão seguidos para a aplicação do estudo.

Inicia-se com a descrição da empresa objeto do estudo, a qual busca conhecer as atividades juntamente com as alternativas de aplicação. Em seguida coleta-se os dados referentes ao tempo de produção de cada etapa, quantidade de fardos produzidos em um turno, entre outros, busca modelar os modelos probabilísticos. No mesmo seguimento busca-se mapear o processo, identificando toda cadeia de valor da empresa, mapeando os objetivos e os processos específicos.

Na próxima etapa se realizará o desenvolvimento do modelo de simulação que representa o arranjo atual das áreas de objetivo, a fim de analisar o processo e o arranjo físico utilizado. Dessa forma, busca-se gerar a alternativa de arranjo físico que otimiza o sistema de produção, utilizando-se da simulação para testar e validar seu cenário.

Através dos resultados adquiridos com a simulação, torna-se possível analisar a alternativa de cenário, comparando com o atual, levando em consideração o indicador de quantidade de fardos produzidos por turno.

Dessa maneira, conclui-se o estudo apresentando a proposta de reestruturar o arranjo físico, na qual objetiva-se maximizar a produção reduzindo perdas de movimentação desnecessárias.

## 4 ESTUDO DE CASO

A empresa objeto de estudo é localizada no município de Taquari, estado do Rio Grande do Sul, a qual deu início as suas atividades no ano de 1992, atuando no beneficiamento de grãos de arroz. Destaca-se pelas marcas com 20 anos de tradição no mercado.

A empresa atua em diferentes setores, sendo eles: agroindústria, agroveterinárias e serviços elétricos. A agroindústria é um importante segmento da cooperativa, tendo mais de 20 anos de mercado mantém um diferencial em seus produtos, estabelecendo uma rastreabilidade em sua matéria-prima (arroz em casca), pois todos os fornecedores de grãos são associados na cooperativa e recebem visitas técnicas que garantem a confiabilidade quanto à sua procedência.

O processo produtivo da agroindústria compreende todas as etapas do processamento (recebimento, amostragem, descarga, pré-limpeza, secagem e armazenagens dos grãos), beneficiamento e empacotamento do arroz polido.

Como pode ser visto na Figura 12, a empresa possui uma área total de aproximadamente 5.000 m<sup>2</sup>, sendo que a parte construída corresponde a 3.700 m<sup>2</sup>, dispõe de espaço específico para processamento, beneficiamento, empacotamento, e locais de armazenagem de matéria-prima, por meio de silos metálicos e em armazém graneleiro.

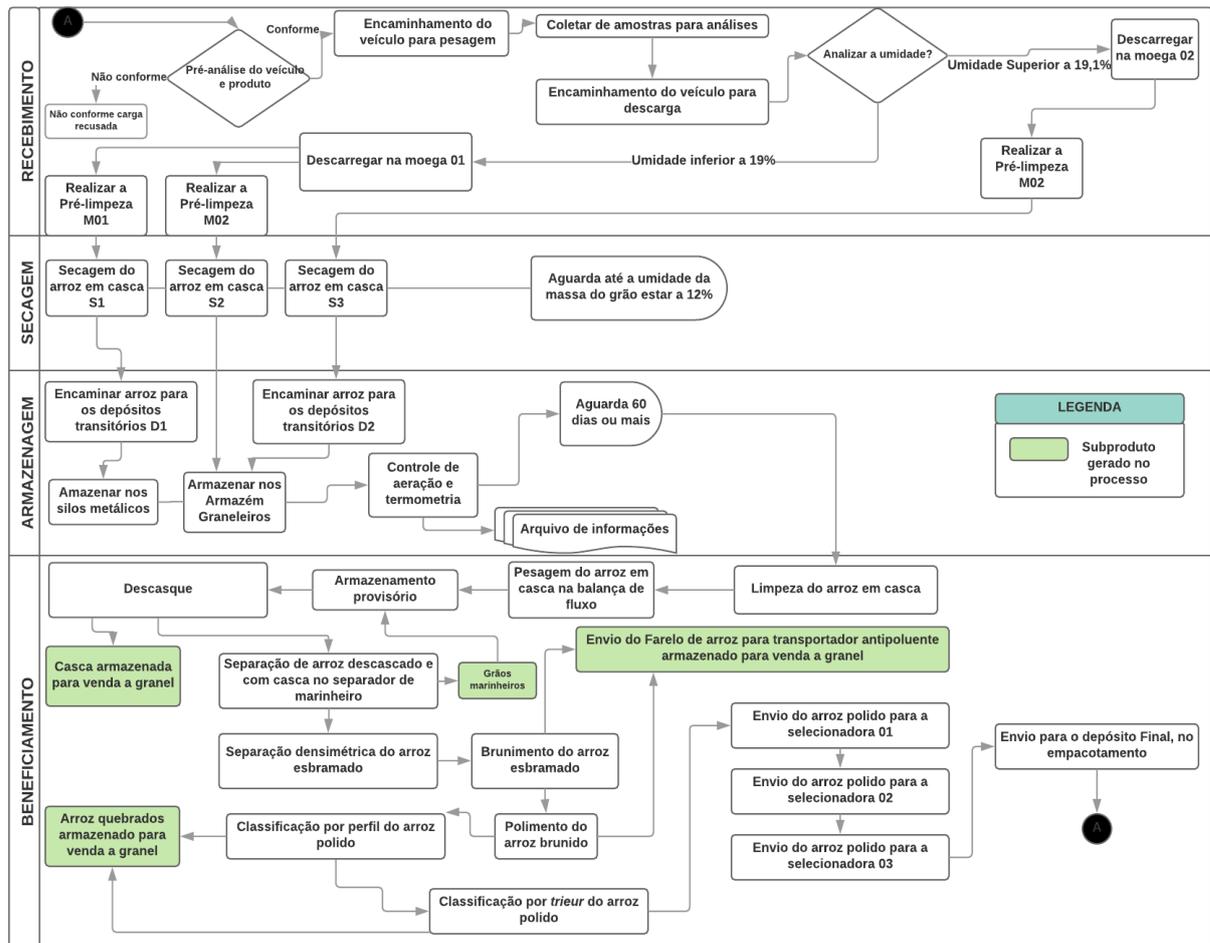
Figura 12– Agroindústria



Fonte: Arquivo da empresa (2016).

Já na Figura 13 é possível conferir um fluxograma do macroprocesso da empresa, subdividido em etapas, como: recebimento, secagem, armazenagem e beneficiamento, desta forma, aponta integração dos diversos processos seguindo um fluxo interativo entre os mesmos. Compreende a etapa de recebimento, secagem e armazenagem, fazendo parte do processo de entradas, o beneficiamento, como o processo de transformação, no qual os *inputs* serão transformados por meio de diversas operações.

Figura 13 – Macroprocesso de beneficiamento de arroz em casca



Fonte: Do autor (2018).

#### 4.1 Recebimento

No recebimento são inspecionadas visualmente as condições do veículo transportador e da matéria-prima, caso seja identificado algo fora da conformidade no veículo são tomadas medidas corretivas imediatamente. Antes do descarregamento nas moegas, é feita a coleta para análise de qualidade e percentuais de umidade através de caladores, o número de pontos de amostragem é conduzido de acordo com estabelecido pela normativa específica.

A moega 01, com capacidade de 30t, possui em seu fundo um transportador helicoidal que direciona o arroz até o pé do elevador que dará a sequência do processo, por sua vez, a moega 02, com capacidade de 25t, é projetada para que os grãos sejam encaminhados até o pé do elevador responsável para encaminhar a carga para a próxima etapa.

A operação subsequente de pré-limpeza reduz consideravelmente o percentual de

impurezas nas cargas recebidas, diminuindo o risco de incêndio. Dessa forma, a empresa dispõe de três máquinas de pré-limpeza, sendo duas com  $30\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$  (máquina de pré-limpeza 01 e 02) e uma com  $10\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$  (pré-limpeza 03).

## **4.2 Secagem**

A secagem por sua vez é realizada em secadores à lenha que aquecem a massa do grão até a temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ . Para baixar a umidade o processo é realizado em três secadores com capacidade de 37,5t, 15t 25t(secador 01, 02 e 03).

O arroz em casca permanece no secador até atingir o grau de umidade de 12,5%, padrão estabelecido pela empresa. Porém, algumas vezes, para desafogar o fluxo em épocas de safra, quando a massa do grão atinge 18% de umidade no secador 01 é transferida para os silos que possuem seca areação, caso não atinja o valor desejável, em outro momento retorna ao secador.

A unidade apresenta apenas dois silos pulmão para grãos secos, dessa forma, o arroz proveniente de um dos secadores (secador 02) é direcionado diretamente para o armazenamento, enquanto os demais encaminham os grãos a esse silo com o objetivo de reduzir a temperatura do produto antes de estocá-lo definitivamente.

## **4.3 Armazenamento**

A cooperativa mantém uma capacidade estática de armazenamento 9.000t, conta com 2 silos metálicos que armazenam 2.000t, e 7.000t de arroz são armazenadas em armazém graneleiro com 8 septos, ambos com sistema de termometria e aeração, o que mantém a garantia da qualidade dos grãos por um período de um ano.

## **4.4 Beneficiamento**

Depois de armazenado nas condições adequadas e controladas, o arroz é direcionado para o beneficiamento conforme a necessidade de produção. Para esta etapa a empresa dispõe

de uma estrutura específica com capacidade para produzir por turno 1200 fardos (30kg) de arroz beneficiado polido.

#### **4.4.1 Limpeza**

O beneficiamento de arroz inicia pela limpeza. Essa etapa reduz as impurezas finais da massa do grão que ainda permanecem mesmo após a pré-limpeza. Por ser uma operação terminal a unidade trabalha para que o índice de impurezas não seja superior a 1%.

É realizada por uma máquina de limpeza (ar e peneira) com capacidade de  $15\text{t.h}^{-1}$ , a qual possui três peneiras com perfuração de diferentes formatos (redondos e ablogos) e tamanhos. Após a limpeza, o arroz passa por uma balança de fluxo com capacidade de  $12\text{t.h}^{-1}$ , onde é direcionado para os depósitos transitórios até ser encaminhado para o descasque.

#### **4.4.2 Descasque**

O processo de descasque é realizado por um descascador conjugado com câmara de casca e sua capacidade é de  $5\text{t.h}^{-1}$ . Nesse processo, um fluxo de grãos é dosado e conduzido através de um alimentador vibratório que, por meio de um condutor, os grãos passam por dois roletes de borracha que giram em sentido contrário e com rotação diferente. Essa rotação aliada a uma pressão radial sobre os roletes produz um esforço de cisalhamento sobre o grão provocando o rompimento da casca, que se desprende.

O subproduto gerado nesta etapa é a casca de arroz, a qual é encaminhada ao depósito específico e comercializada a granel.

#### **4.4.3 Separador de marinheiro**

Os grãos de arroz que não perderam a casca ou que contêm fragmentos de casca são chamados de marinheiros. Logo, essa etapa objetiva separá-los do grão integral, pois somente a parcela integral interessa ao processo seguinte.

Para essa operação, a unidade possui um separador de marinheiro com capacidade de

$5t.h^{-1}$ . O princípio de funcionamento empregado nesse equipamento considera a diferença de tamanho dos grãos de arroz e a diferença de densidade, pois aqueles com casca são mais leves.

#### **4.4.4 Separador dessimétrico**

Essa etapa visa separar as impurezas que são mais pesadas do que os grãos, como pedras, fragmentos de vidro ou metais etc, as quais eventualmente não saíram na máquina de limpeza ou até mesmo que surgiram no processo. A empresa opera com o separador dessimétrico circuito fechado, com capacidade de  $4t.h^{-1}$ , cuja operação evita contaminação por perigos físicos garantindo maior segurança.

#### **4.4.5 Brunimento**

Seguindo o fluxo de produção, os grãos são direcionados ao brunidor com objetivo de retirada parcial da película de tegumento e o germe dos grãos de arroz através da ação abrasiva. A cooperativa conta com um brunidor vertical com capacidade de  $3,6t.h^{-1}$ .

Nessa operação surge o subproduto farelo de arroz gordo, cujo encaminhamento se dá para o transportador antipolvente, pois será ensacado e comercializado.

#### **4.4.6 Polimento**

O polimento é uma sequência do tratamento da superfície do grão que, para tal operação, a unidade utiliza o polidor de arroz com micro aspensão de água com capacidade produtiva de  $3,6t.h^{-1}$ .

#### **4.4.7 Separador de perfil**

O separador de perfil classifica o arroz por espessura, separando o arroz gessado, rejeitado, impurezas maiores e quirera. Esses subprodutos são encaminhados para o depósito

de quebrados para serem comercializados a granel e ensacados. Para isso a empresa utiliza um classificador cilíndrico rotativo com capacidade de  $3,6t.h^{-1}$ .

O equipamento consiste em telas com pequenas aberturas por onde o arroz é separado de acordo com a sua espessura, de tal forma que os grãos maiores do que a abertura da tela se deslocam pelo interior do cilindro até a sua extremidade, sendo direcionados para uma saída, enquanto aqueles que passam pelas telas têm outro destino.

#### **4.4.8 Separação de quebrados**

Nessa etapa os grãos quebrados são separados dos inteiros por um cilindro rotativo que tem sua superfície interna formada por pequenas cavidades denominadas alvéolos. Durante o processo, os grãos quebrados entram nessas cavidades ficando presos em seu interior devido à combinação do formato dos alvéolos e à rotação do cilindro, dentro dele existe uma calha que coleta os grãos quebrados que ficam presos nos alvéolos. Esse processo é realizado pelo classificador *Trieur* com capacidade produtiva de  $6,3t.h^{-1}$ .

#### **4.4.9 Seleção eletrônica**

A operação de seleção eletrônica visa realizar uma última separação, porque apesar de já terem passado por várias etapas, os grãos ainda podem apresentar algum defeito. Essa máquina acompanha uma programação baseada na coloração para retirada dos grãos defeituosos.

Os grãos passam por dentro de uma câmara e são “vistos” por sensores ópticos cuja função é detectar os que são considerados imperfeitos. Esses sensores enviam um sinal eletrônico para uma válvula que efetua um jato de ar comprimido no momento que os grãos com problemas passam na frente do bico ejetor, expulsando-os.

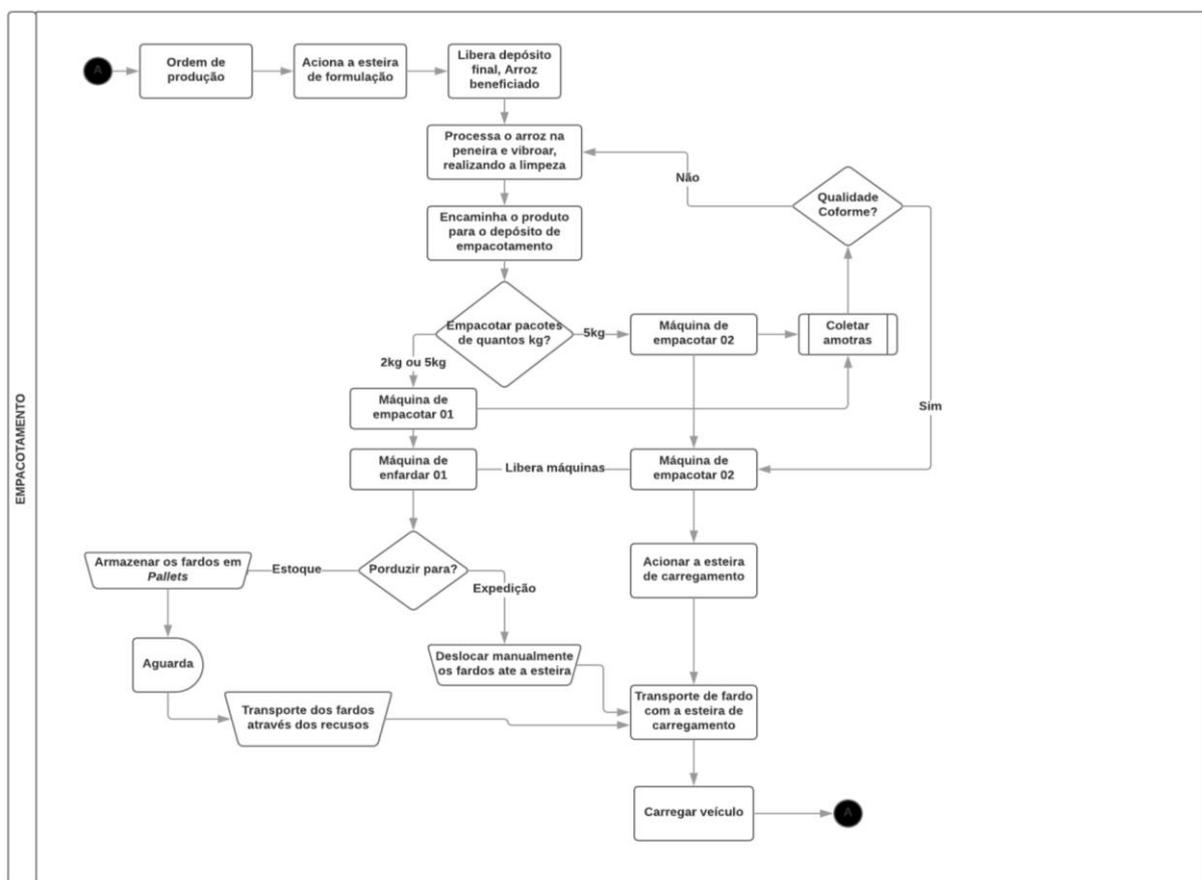
### **4.5 Empacotamento**

O empacotamento e o enfardamento são, praticamente, etapas do final do processo de

produção. Nessa operação o arroz irá para as embalagens plásticas, as quais deverão garantir a integridade do volume de arroz vendido ao consumidor. A empresa comercializa arroz em pacotes de 2kg e 5kg, sendo o maior volume de vendas os pacotes de 5kg.

Na figura abaixo (FIGURA 14) é possível observar o fluxograma que representa o processo de empacotamento da empresa, iniciando pela ordem de produção de empacotamento, que especifica a coordenadas a produção como a marca a utilizar, quais os tipos de produtos que serão comercializados.

Figura 14 - Fluxograma do setor de empacotamento



Fonte: Do autor (2018).

O setor está localizado junto à expedição, fazendo a empresa trabalhar sob a forma de pedidos dentro de um sistema sob encomenda, ou seja, a maior parte do estoque é semiacabado e armazenado a granel em silos metálicos encontrados no setor e quando é aberta uma ordem de produção, empacota-se o produto conforme a necessidade do cliente e, em seguida, é expedido para o veículo de entrega, resultando em um índice baixo de estoque de produtos acabado por não contar com um amplo espaço físico.

Inicialmente o produto arroz polido é armazenado a granel em caixas metálicas,

conforme a Figura 15, compostas por 6 repartiamentos, com um total de armazenagem de 100.5t. Esse tipo de armazenamento conserva a qualidade do produto que, posteriormente, será empacotado com embalagens plásticas, as quais já mencionadas anteriormente, mas vale ressaltar que essas garantem a integridade do produto até a entrega aos clientes e consumidores.

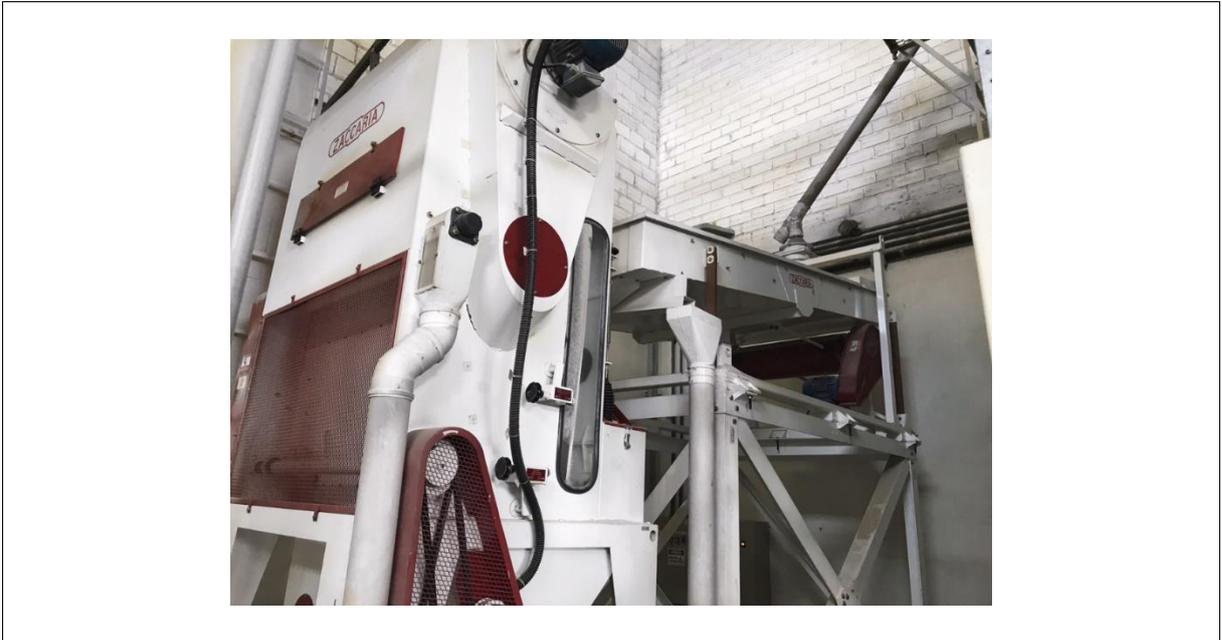
Figura 15 - Armazenamento a granel



Fonte: Do autor (2017).

Na próxima etapa, o arroz destinado a ser empacotado passa pela esteira de formulação cuja finalidade é transportar de forma uniforme os grãos para uma peneira vibrar (FIGURA16), a qual está posicionada antes das máquinas de empacotar e tem como função realizar a limpeza dos grãos, retirando impurezas como farelo, poeira e matérias estranhas.

Figura 16 - Peneira e vibro ar

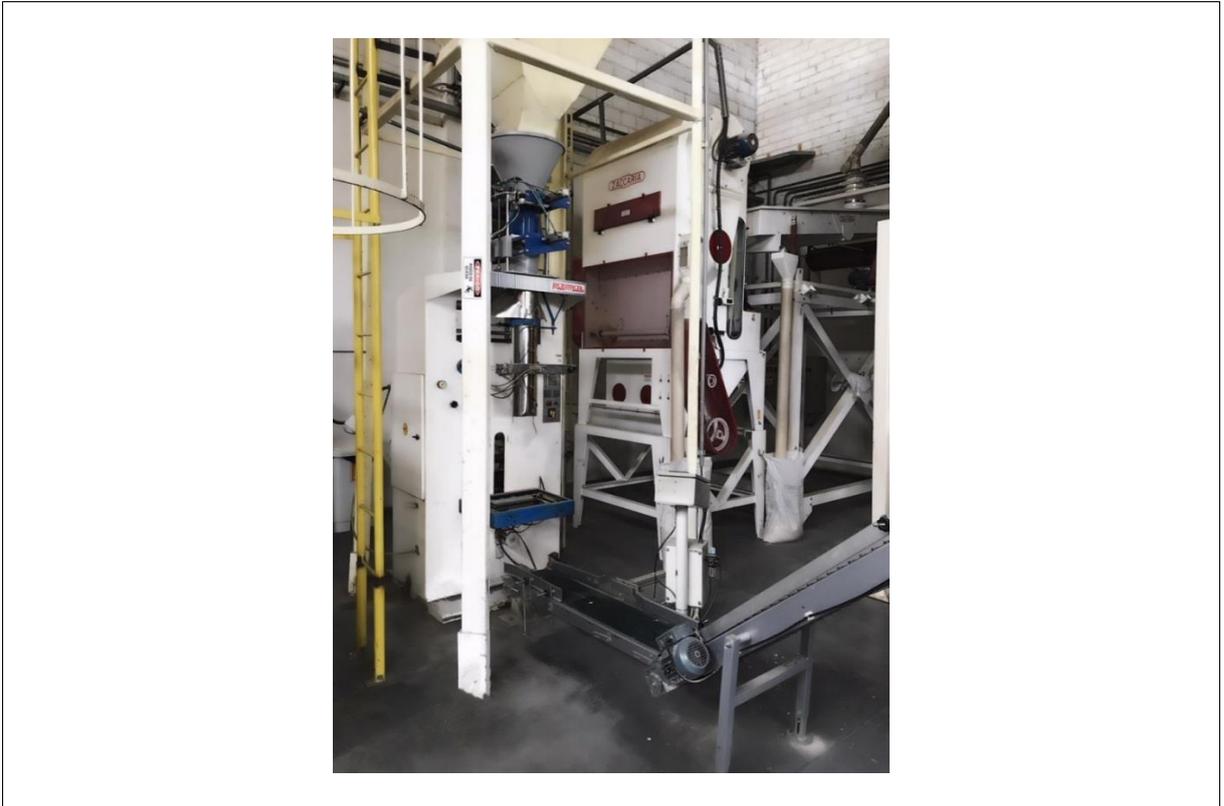


Fonte: Do autor (2017).

Após a homogeneização e limpeza dos grãos, o arroz é encaminhado para um depósito de empacotamento de forma a controlar as cargas enviadas para as máquinas de empacotar, que apresenta uma capacidade de 30t. Conforme estatística, 10% desta quantidade é enviada para uma máquina e 90% para a outra.

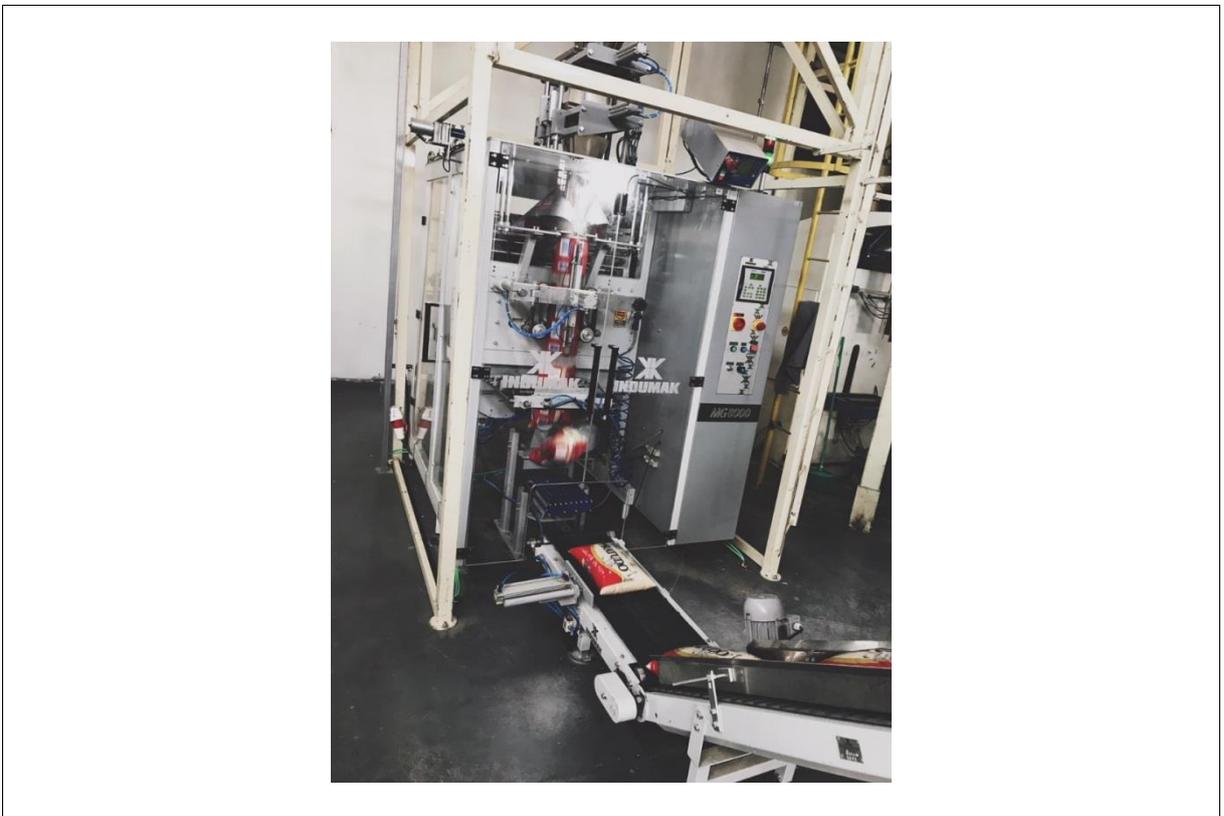
A empresa embala o arroz em pacotes de 5kg, para isso conta com duas máquinas empacotadoras. A primeira da marca Raumak, com capacidade produtiva de  $19,5 \text{ pc.mim}^{-1}$ , conforme Figura 17. E a segunda da marca Indumak, com capacidade produtiva  $40,2 \text{ pc.mim}^{-1}$ , (FIGURA 18). As mesmas possuem balança de fluxo integrada, que garante o controle de peso dos pacotes.

Figura 17 - Máquina de empacotar 1



Fonte: Do autor (2017).

Figura 18 - Máquina de empacotar 2



Fonte: Do autor (2017).

Após o empacotamento em ambas as máquinas, os pacotes seguem para as enfardadeiras automáticas. A agroindústria conta com duas máquinas de enfardar, a primeira da marca Raumak modelo Multiboler 300 que possui uma capacidade produtiva  $3,5 \text{ fd.mim}^{-1}$ , conforme (FIGURA19).

A segunda, Indumak modelo 600, conforme Figura 20, com capacidade de  $6,68 \text{ fd.mim}^{-1}$ , sendo 52% mais produtiva que a anterior, pois conta com uma tecnologia mais avançada.

Figura 119 - Máquina de enfardar Raumak



Fonte: Do autor (2017).

A enfardadeira Raumak enfarda os pacotes e, manualmente, o operador os empilha em pallets (lotes de 40 fardos), os quais ficam estocados para ser encaminhados ao transporte em algum prazo. Já com a enfardadeira Indumak, o fluxo dos fardos é encaminhado à esteira de transporte, a qual é conectada a este conjunto, conforme a Figura 20, facilitando o carregamento direto ao transporte.

Figura 20 - Esteira e máquina de enfardar



Fonte: Do autor (2017).

Desta forma, a célula 2 (empacotadeira e enfardadeira) se torna mais produtiva, além de poder receber uma carga maior, uma vez que sua capacidade produtiva é 52% a mais que a célula 01, está a ele conectada a esteira de carregamento, não necessitando de interferência manual no processo, ou seja, diferente da célula 01 que utiliza recursos manuais para o transporte da entidade arroz em fardo de 30kg, a célula 2 não utiliza.

#### **4.6 Arranjo físico da empresa**

A empresa em estudo está inserida no mercado há 25anos, no decorrer deste tempo o setor de empacotamento mudou de local algumas vezes dentro da mesma estrutura física até

se estabelecer em um espaço fixo no ano de 2005.

A partir desta data, o grupo administrativo da cooperativa elaborou o arranjo físico de produção de acordo com os equipamentos e recursos disponíveis no momento. Com a demanda de produção em uma crescente constante, foram adquiridos novos equipamento com tecnologia mais avançada que vieram a aumentar a produtividade do setor.

Contudo, sua instalação não passou por estudo de arranjo físico estruturado, no qual utiliza-se toda a capacidade de produção de ambos os equipamentos, novos e antigos. O arranjo físico não seguiu essas novas tendências, sendo que sofreu pouquíssimas alterações desde sua definição.

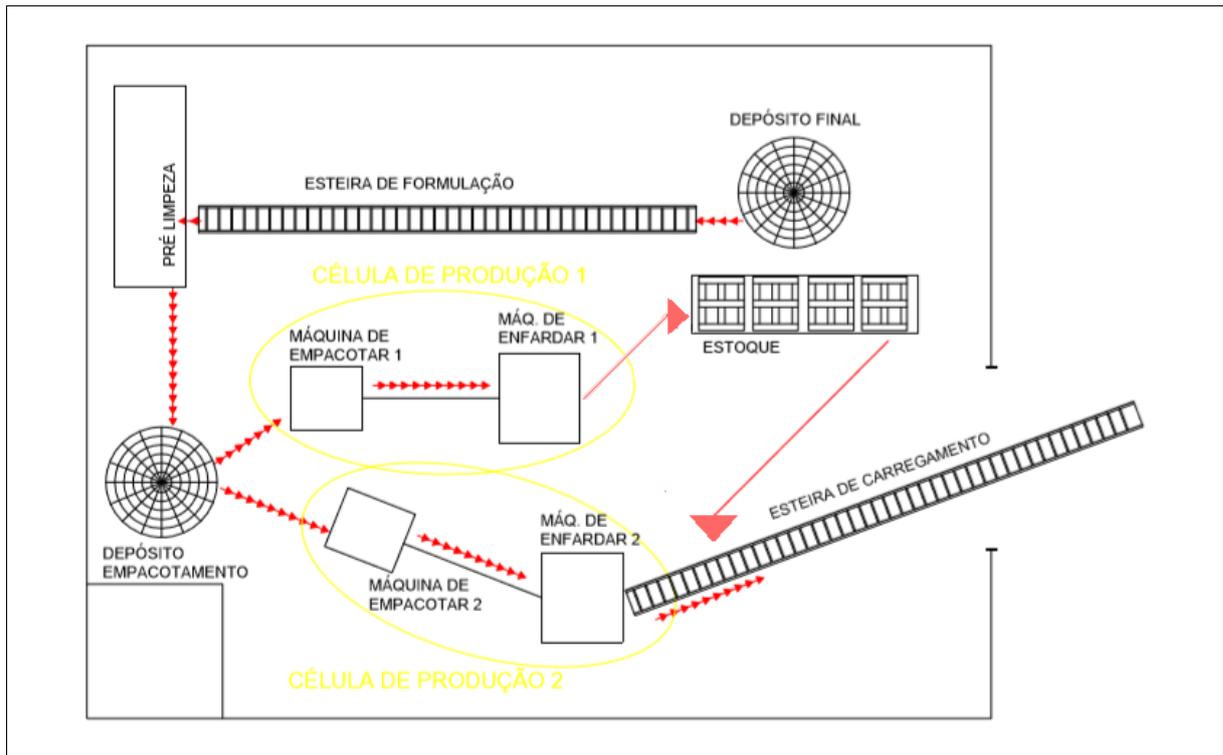
Na figura a seguir (FIGURA 21), pode ser observado o arranjo físico atual da empresa, destacando que para a elaboração desse arranjo foi utilizado o software AutoCAD, para que todos os recursos fossem dimensionados com medidas reais coletadas na empresa estudada. São apresentadas todas as máquinas e equipamentos, todos com seus respectivos nomes.

As informações, como os fluxos que o produto percorre no processo, são indicadas por setas em vermelho, sendo que as setas contínuas representam os fluxos automatizados e as setas únicas os processos manuais realizados por operadores.

O setor utiliza o arranjo físico por produto até um determinado momento em que cada material segue um fluxo pré-determinado, o que coincide com a sequência dos processos que foram alocados fisicamente. Entretanto, os dois conjuntos de empacotar e enfardar são demonstrados como células de produção um e dois.

Considera-se esse arranjo físico, uma vez que cada célula realiza o processo do início ao fim, estando alocada em um único lugar. Dessa forma, ambas as células de produção são equipadas com máquinas de empacotar e enfardar, realizado de forma independente o processo de enfardamento do arroz beneficiado, que será estocado ou enviado para o carregamento. Estes estão circulados em amarelo na Figura 21, para melhor entendimento.

Figura 21 - Planta baixa



Fonte: Do autor (2018).

O arranjo físico utilizado combina elementos e técnicas de dois tipos de arranjos físicos em diferentes partes da operação do setor de forma a tornar esta combinação, o denominado arranjo físico misto, no entanto, faz com que a operação de transformação do arroz a granel para fardos de arroz realize uma operação manual e não proporciona um aproveitamento máximo dos recursos.

## 4.7 Etapa de concepção

### 4.7.1 Objetivos e definição do sistema

O objetivo da simulação é investigar as causas das perdas de produtividade no processo por ineficiência do arranjo físico com a finalidade de propor melhorias. Conforme já evidenciado dentre as etapas de produção descritas, existe uma falta de interação entre os processos de empacotamento de produtos, a qual ocorre principalmente nas máquinas de empacotar e enfardar, dessa forma, uma célula de produção é mais ociosa que a outra, resultando em baixa produtividade.

Além disso, evidenciou-se por meio de observações do sistema e levantamento de dados, que a etapa de enfardamento do produto é a que gera mais movimentação manual, resultando no desperdício de movimentação desnecessária. Assim sendo, focou-se o estudo nessa etapa, delimitando-o entre as etapas de empacotamento e expedição do processo apresentado.

Por meio da entrevista com os gestores e observação do sistema, identificaram-se os preceitos de funcionamento do setor de empacotamento, o método de manufatura que a empresa utiliza nos horários normais, ou seja, como inicia e finaliza o processo de produção de fardos de arroz conforme a estrutura atual.

#### **4.7.2 Técnica IDEF – SIM modelo conceitual**

A modelagem conceitual foi desenvolvida utilizando os conhecimentos da técnica IDEF-SIM. O objetivo da modelagem é a criação de um modelo conceitual do processo como um todo, facilitando a fase de modelagem computacional.

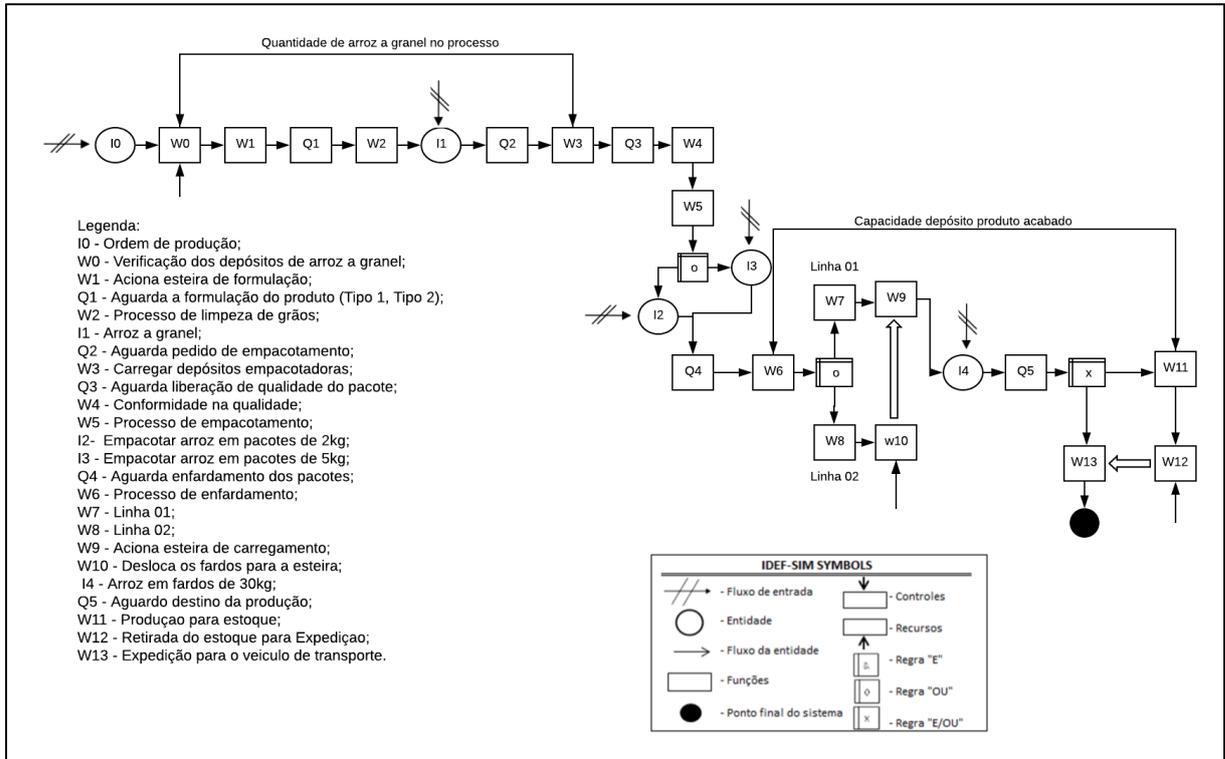
A Figura 22 apresenta o modelo conceitual desenvolvido com a técnica IDEF-SIM para o processo de empacotamento, o mesmo foi baseado no modelo apresentado no capítulo 4. A modelagem foi restrita ao produto pacotes de 5kg, devido a sua importância no processo como um todo, pois é o que mais contribui para a renda.

Visualizando o processo através do seu modelo conceitual, conforme Figura 22, pode-se perceber que o fato de haver apenas uma esteira de carregamento limita a produção, uma vez que as entidades da local W10 é encaminhada manualmente até o local W09.

Pode ser analisado que o estoque de produtos acabados é outra variável que necessita de controle, em razão de que não havendo o recurso para realizar o transporte até a esteira de carregamento estingue a produção de uma célula, portanto, a configuração atual do arranjo físico, o espaço destinado ao estoque de produtos acabados é limitado.

Dessa forma, o modelo conceitual apresenta as operações e decisões que são tomadas no decorrer do processo de empacotamento.

Figura 22 - Modelo conceitual técnica IDEF -SIM



Fonte: Do autor (2018).

### 4.7.3 Validação do modelo conceitual

O modelo conceitual obtido por meio da técnica IDEF-SIM foi comparado com o sistema real da empresa, por meio dos dados obtidos com o mapeamento do processo, e com isso foi possível validá-lo.

### 4.7.4 Coleta dos dados

A partir do modelo IDF-SIM foram estabelecidos quais os dados de entrada seriam necessários para alimentar o modelo computacional, identificou-se as entidades, locais, recursos e chegadas do processo, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Dados do sistema

	Quantidade	Descrição	Capacidade	Recurso Funcionários
Entidades	3	Arroz a granel	Não se aplica	
		Arroz em pacotes de 5 kg		
		Arroz em fardos de 30kg		
Entradas	1	Ciclo de chegada	20 kg por min de arroz a granel	Não se aplica
Locais e funções	1	Depósito principal	27.000 kg	01 funcionário para verificação da automatização
	1	Esteira de formulação	0,32 min por kg	Não se aplica
	1	Pré-Limpeza	0,38 min por kg	Não se aplica
	1	Máq. Empacotar 01	19,4 pacotes de 5kg por minuto	Não se aplica
	1	Máq. Empacotar 02	40,2 pacotes de 5kg por minuto	Não se aplica
	1	Máq. Enfardar 01	3,25 fardos por minutos	01 funcionário para deslocamento, até a esteira de carregamento ou estoque
	1	Máq. Enfardar 02	6,68 fardos por minuto	Não se aplica
	1	Depósito intermediário	6.000kg	Não se aplica
	1	Esteira de Carregamento	13 segundos por fardo	Não se aplica
	1	Local estoque	100 fardos	1 funcionário, para deslocamento manual dos fardos

Fonte: Do autor (2018).

A coleta de dados para os tempos de operações e transporte foi feita através da cronometragem do sistema, o que proporcionou a oportunidade de compará-las nesse trabalho. O processo foi cronometrado de diferentes formas para obter os resultados de tempos de operação de cada equipamento, e também os tempos de movimentação da entidade

dentro do processo.

Na primeira coleta de dados, como simplificação da simulação, foi considerado apenas os tempos de operação de cada equipamento, deste modo mensurou-se a velocidade das esteiras de formulação e carregamento, sem considerar o tempo necessário para o transporte de produto semiacabado. Essa coleta foi realizada utilizando apenas cronômetro, tal simplificação se mostrou irreal quando analisados os primeiros resultados de produtividade.

Entretanto, continuou-se a coleta de dados afim de evitar que ocorresse novamente a perda do trabalho, para isso, em determinados equipamentos, optou-se em filmar. Embora a simplificação dos dados seja importante para o modelo, como afirmam Chwif e Medina(1999), verificou-se que nas máquinas de empacotar e enfardar não poderiam realizar esta simplificação, pois haveria perda da sua validade, o que não recomendam estes autores.

Capturar os detalhes do modo como os tempos de processamento e de movimentação se comportavam, independente da densidade do produto, se mostra necessário, pois como o processo é gravitacional a velocidade é proporcional ao peso do grão, nesse sentido a densidade do produto é primordial. Portanto uma câmera foi situada com o objetivo de registrar cada pacote processado e transportado. Em análise dos filmes foi possível identificar individualmente os tempos reais em que o pacote é formado do tempo de espera e de deslocamento entre um e outro pacote.

Como pode ser visualizado na Tabela 1, foram feitas treze repetições de cronometragens de tempos no processo a fim de mensurar a variância e o desvio padrão das variáveis relacionadas.

Tabela 1 - Tempos de operação (em segundos)

Locais	Tempo de operação em segundos													Média	Mediana	Desvio Padrão	Variância
	TO 1	TO 2	TO 3	TO 4	TO 5	TO 6	TO 7	TO 8	TO 9	TO 10	TO 11	TO 12	TO 13				
Esteira de formulação	19,89	19,01	19,25	19,55	19,00	19,01	18,55	18,00	18,00	18,03	18,00	19,33	19,58	<b>18,86</b>	<b>19,01</b>	<b>0,68</b>	<b>0,46</b>
Pré-limpeza	21,27	21,22	21,28	21,25	21,27	21,23	21,24	21,24	21,24	21,24	21,24	21,33	21,33	<b>21,26</b>	<b>21,24</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>
Máquina de empacotar 01	2,50	2,50	2,48	2,59	2,51	2,80	3,70	3,70	3,95	3,70	3,10	3,17	3,17	<b>3,07</b>	<b>3,10</b>	<b>0,55</b>	<b>0,30</b>
Máquina de empacotar 02	1,15	1,18	1,14	1,17	1,20	1,14	1,10	1,08	1,15	1,08	1,21	1,33	1,21	<b>1,16</b>	<b>1,15</b>	<b>0,07</b>	<b>0,00</b>
Máquina de enfardar 01	16,20	16,51	16,50	16,31	16,45	16,89	17,39	17,40	17,34	17,37	17,34	18,43	17,39	<b>17,04</b>	<b>17,34</b>	<b>0,63</b>	<b>0,40</b>
Máquina de enfardar 02	8,80	8,90	8,91	8,99	8,98	8,71	8,68	8,99	8,97	8,84	8,51	8,76	8,83	<b>8,84</b>	<b>8,84</b>	<b>0,14</b>	<b>0,02</b>
Esteira de carregamento	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,10	13,10	<b>13,21</b>	<b>13,10</b>	<b>0,24</b>	<b>0,06</b>

Fonte: Do autor (2018).

#### 4.8 Modelagem dos dados de entrada

A partir dos dados coletados e analisados foi necessário um tratamento estatístico com o intuito de adequá-los, para serem inseridos nos modelos computacionais.

Os dados são caracterizados por uma distribuição contínua e, através do software estatístico Stat.:fit, foram analisados para verificar qual a distribuição de probabilidades que melhor os representava. É necessário a representação dos dados através da distribuição de probabilidade para que o modelo computacional reproduza precisamente o sistema real, conforme a Tabela 2. As denominações das distribuições são triangular e lognormal, respectivamente.

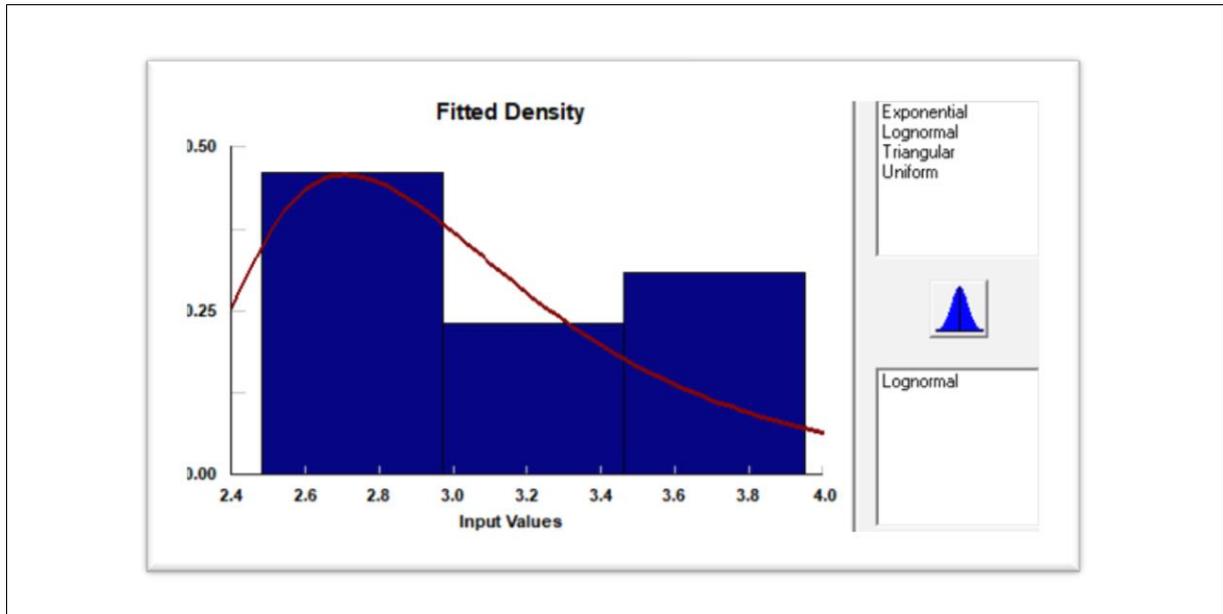
Tabela 2 - Distribuições probabilísticas utilizadas para os processos

Processo	Distribuição	Média	Mediana	$\sigma$	Variância
Pré-limpeza	Lognormal	21,24	21,24	0,04	0,00
Máquina de empacotar 01	Lognormal	3,07	3,10	0,55	0,30
Máquina de empacotar 02	Lognormal	1,16	1,15	0,07	0,30
Máquina de enfardar 01	Triangular	17,04	17,34	0,63	0,40
Máquina de enfardar 02	Lognormal	8,84	8,84	0,14	0,02

Fonte: Do autor (2018).

Conforme os gráficos, seguem as distribuições probabilísticas ajustadas para os tempos de processo do sistema em segundos.

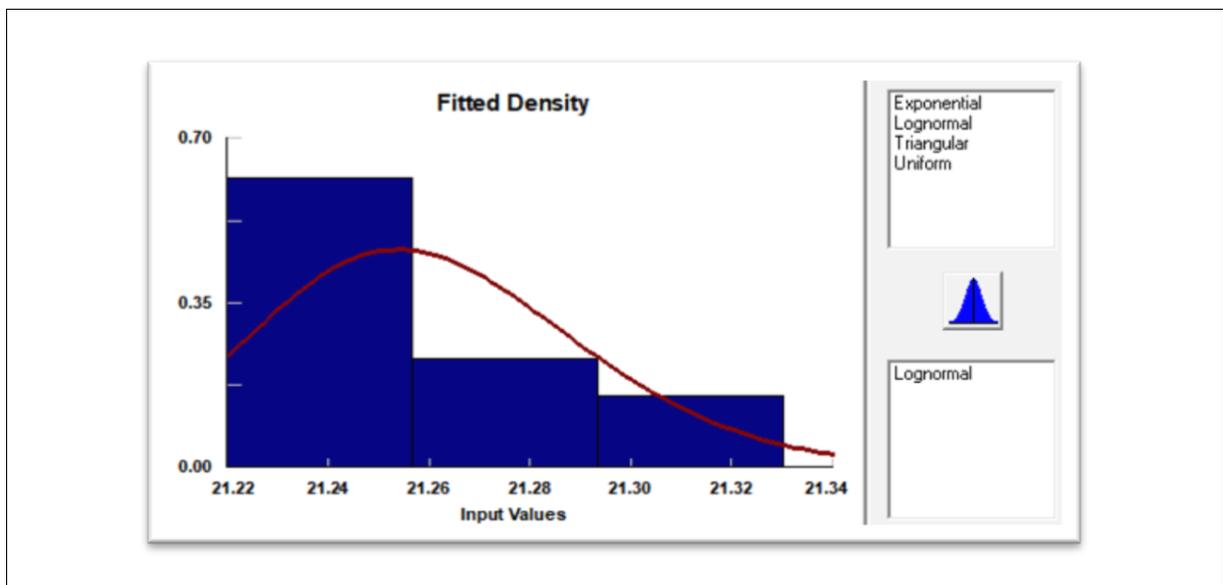
Gráfico 1– Tempo de processamento da máquina de empacotar 01



Fonte: Do autor (2018).

De acordo com o gráfico acima, foi inserida a sequência do tempo de operação da máquina empacotar 01, a qual, nessa situação, foi direcionada à distribuição Lognormal, pois é caracterizada para o tempo de vida de produtos e matérias.

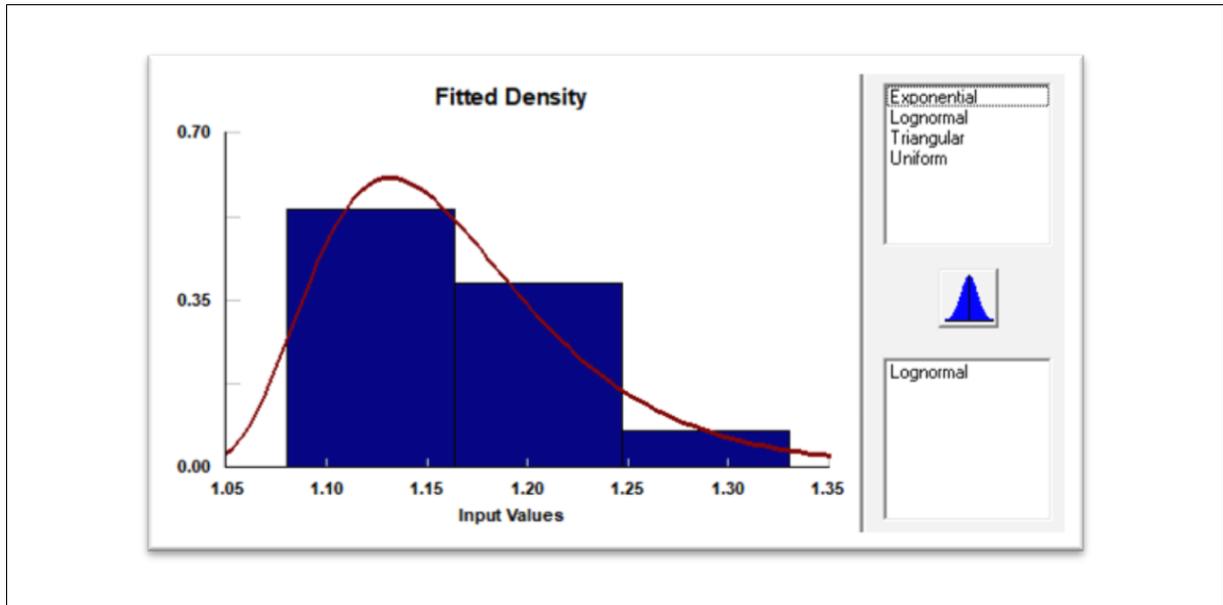
Gráfico 2– Tempo de processamento da máquina pré-limpeza



Fonte: Do autor (2018).

Como pode ser analisado no Gráfico 2, a sequência de tempos de operação da máquina de pré-limpeza é uma distribuição que segue uma linha de partição caracterizada pela lógica, indicando que ambos são “longnalmente” distribuídos, dessa forma, a que melhor se aplica é a Lognormal.

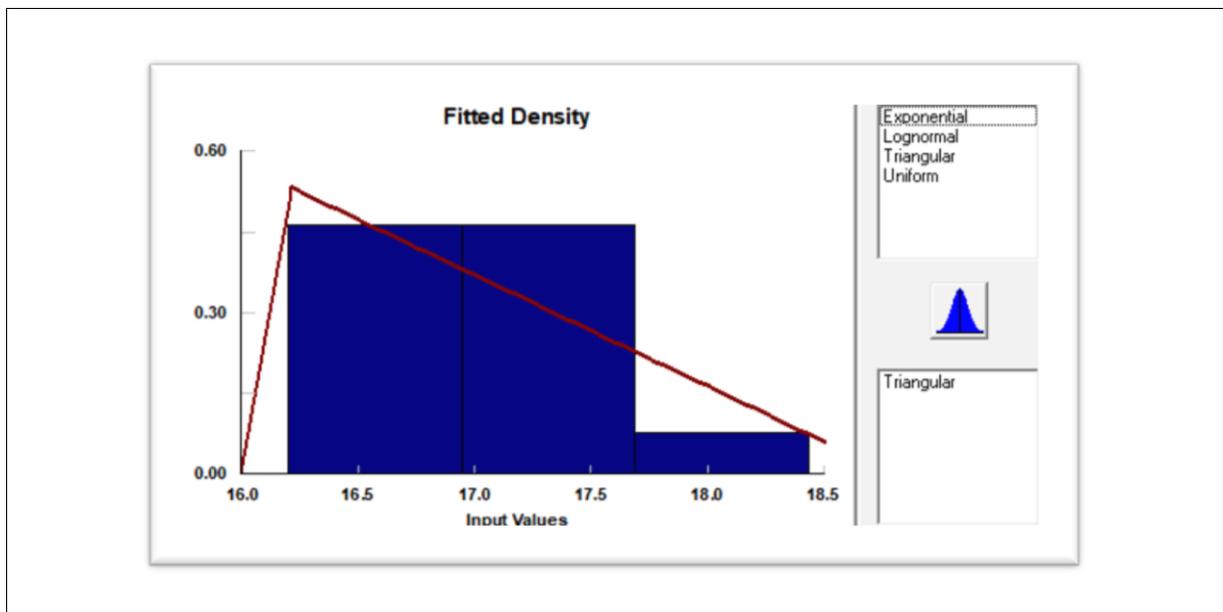
Gráfico 3 -Tempo de processamento da máquina de empacotar 02



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 3 evidencia que a distribuição de probabilidade do tipo Lognormal é utilizada para representar os tempos de operações da máquina de empacotar 02.

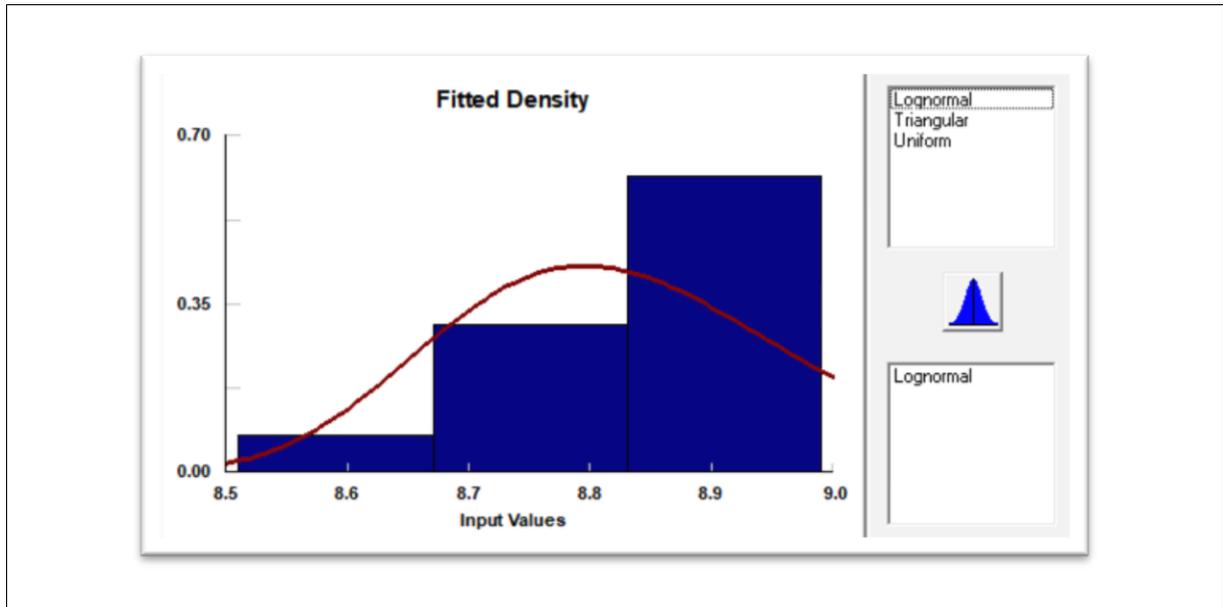
Gráfico 4 -Tempo de processamento da máquina de enfardar 01



Fonte: Do autor (2018).

Analisando o Gráfico 4, constatou-se que diferente das outras distribuições, a sequência de tempos de processamento da máquina de enfardar 01 se deu pela distribuição triangular, a qual é a probabilidade contínua que possui um valor mínimo a um valor máximo.

Gráfico 5 - Tempo de processamento da máquina de enfardar 02



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 5 segue a mesma lógica da distribuição de probabilidade. Para esta sequência de dados foi indicada a distribuição lognormal.

Conforme observado, todas as sequências dos tempos de operações foram analisados por meio do módulo Stat.:Fit do software ProModel, o qual apresentou dentre as distribuições probabilísticas, qual melhor se aplicava à sequência informada, desta forma predomina a distribuição lognormal.

## 4.9 Implementação

### 4.9.1 Construção do modelo computacional

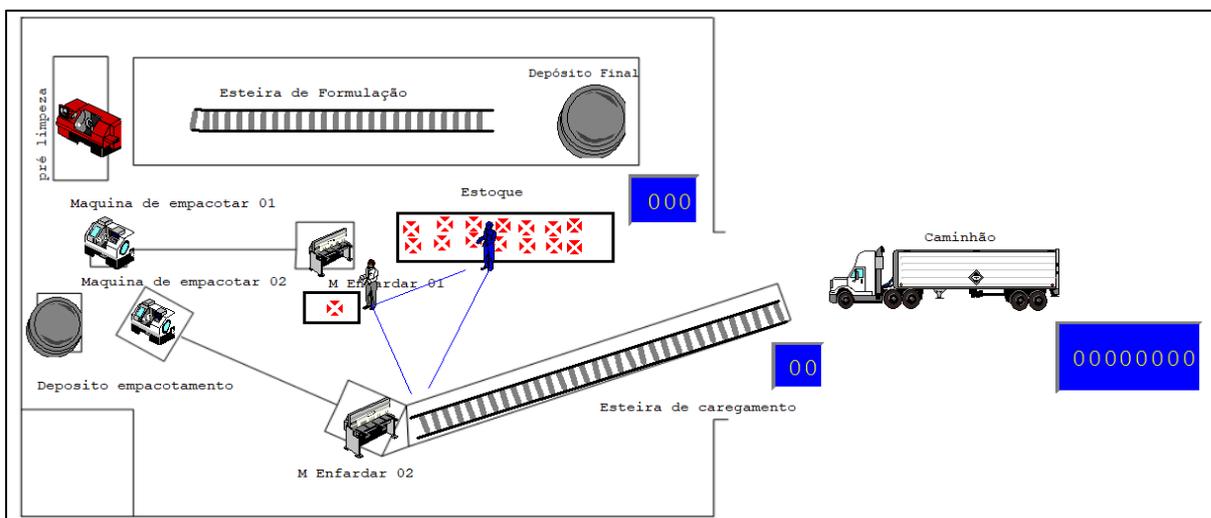
Inicialmente desenvolveu-se um modelo de simulação computacional, simulando o arranjo físico atual da empresa em estudo, constituído três áreas: a de produção de fardos; a de carregamento; o estoque de produtos finalizados. O arroz a granel, arroz em pacotes de 5kg e o fardo de 30kg, foram considerados como entidades dinâmicas no modelo. Os depósitos de produto a granel, esteira de formulação, pré-limpeza, duas máquinas de empacotar, duas máquinas de enfardar e a esteira de carregamento, são classificados como os locais de processamento, dois funcionários, foram considerados os recursos. Os processos utilizados no

modelo são: pré-limpeza, empacotamento (pacotes de 5kg), enfardamento (fardos de 30kg) e carregamento.

Diante dos dados, o software de simulação escolhido para a construção dos modelos computacionais foi o ProModel, pois apresenta uma interface gráfica que auxilia para o processo de verificação dos modelos, apresentando uma linguagem de programação que orienta para o objetivo, contribuindo com o processo de construção do modelo.

Assim, o modelo computacional do sistema real foi construído apresentando o formato mostrado pela Figura 23:

Figura 23 - Modelo computacional construído



Fonte: Do autor (2018).

#### 4.9.2 Validação do modelo computacional

Conforme Chwif (1999), a verificação de um modelo é definida por certificar que o modelo computacional e sua implementação no programa estão corretos. Diante disso, a verificação desse modelo foi realizada ao longo do processo de construção e, à medida em que eram encontrados alguns erros, antes mesmo de prosseguir para as próximas etapas foi-se efetuando suas correções.

Nessa etapa destaca-se a importância da animação para identificar possíveis erros de programação no sistema, a fim de realizar a verificação.

Alguns indicadores foram criados com o objetivo de observar se as restrições do

sistema estavam sendo respeitadas. Entre esses indicadores estão os contadores de capacidade máxima de produtos na esteira de carregamento, quantidade em estoque acabado e a carga no caminhão.

Após a construção do modelo computacional do sistema real, executou-se uma simulação teste, pela qual se analisou a animação do processo ao longo de um turno de trabalho de seis horas, desse modo foi possível verificar se o modelo estava de acordo com o esperado, representado o sistema real.

#### 4.9.3 Validação do modelo operacional

Segundo Chwif (1999), a validação operacional do modelo é de grande importância para estabelecer se o modelo simulado contém a precisão aceitável para representar o modelo real, e assim ter a aplicabilidade que se destina. Portanto, se o modelo não apresenta uma semelhança bastante próxima ao sistema real, todas as conclusões provenientes desse não replicarão a realidade, resultando em decisões incorretas.

Contudo, a validação obrigatoriamente deve ser feita para todos os modelos, em razão de que independente do sistema simulado são encontradas diversas técnicas atribuídas ao processo de validação, como exemplo a animação.

A técnica que mais se enquadra a este estudo é a validação com os dados históricos da empresa. Dessa forma, foram coletados históricos de produção em um período de um ano, do setor modelado, realizando o comparativo com os indicadores que validam o modelo computacional, sendo eles a quantidade de produção expandida ao carregamento em um turno de 6 horas. A Tabela 3, a seguir, compara o sistema real com o sistema virtual.

Tabela 3– Indicadores

<b>Indicadores de Validação</b>			
<b>Indicadores</b>	<b>Modelo real (Históricos)</b>	<b>Modelo simulado</b>	<b>%</b>
Produção (fardos)	690	679	99,40
Tempo médio de operação (minutos)	293,48	281,71	

Fonte: Do autor (2018).

De maneira geral, o indicador expedição apresenta a quantidade produzida da entidade arroz em fardos de 30kg em um turno de 6 horas. O sistema atual através dos históricos de dados da empresa, menciona que sua produção é de 690 fardos em um turno, sendo calculado através da média dos históricos do ano de 2017. Toda a quantidade é expandida para o veículo de entrega, uma vez que o setor não conta com espaço físico para estoque.

A partir da simulação realizada no ProModel para o cenário atual, Figura 24, foi percebido que a capacidade produtiva para um turno de trabalho de 6 horas trabalhadas é de 679 fardos.

Figura 24 - Total de peças que saem do setor diariamente

Painel			
Nome	Total de Saídas	Tempo Médio em Operação (Min)	Custo Médio
Arroz em fardos 30kg	679,00	281,71	0,00

Fonte: Doautor (2018).

Diante dos indicadores, juntamente com o grupo gestor, realizou-se uma análise dos resultados, na qual foi validada o modelo operacional, sendo que este atingiu uma aproximação de 97,72% do sistema real.

#### 4.10 Análise

Essa etapa é necessária em razão de que se pode fazer uma avaliação crítica a respeito do modelo que já foi verificado e validado, evidenciando quais as contribuições que ele pode trazer para a hipótese de um cenário produtivo mais eficiente.

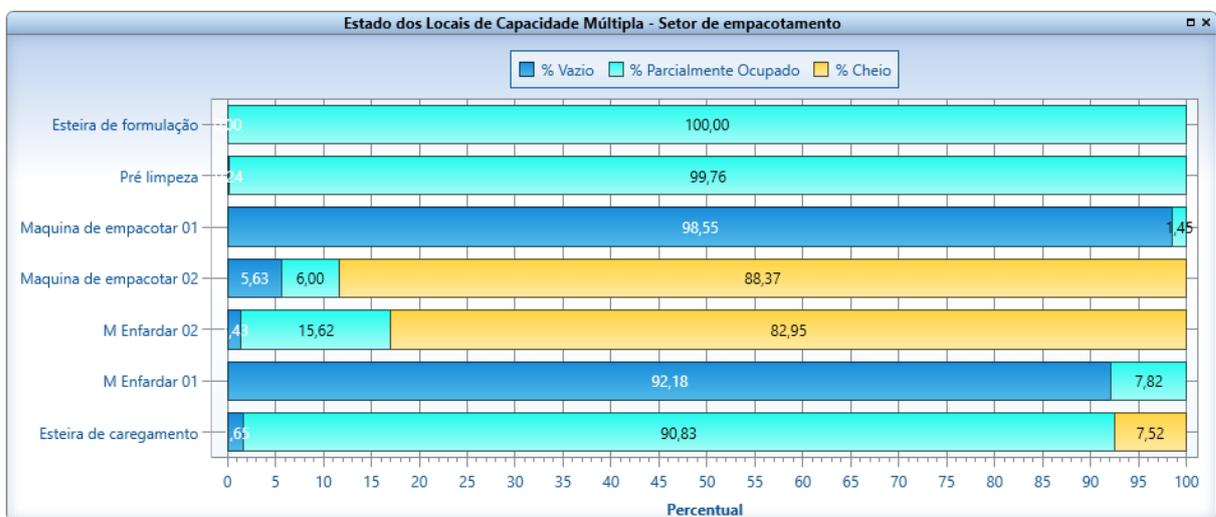
Com os resultados obtidos do modelo operacional, observa-se que o arranjo físico utilizado pela empresa em estudo torna o sistema desnivelado, onde uma célula de empacotamento e enfardamento de produtos é mais utilizada, ocasionando a ocupação máxima. Entretanto, a outra apresenta uma ociosidade que prejudica a produção, não operando com a capacidade produtiva total de ambas células de produção.

A simulação gerou relatórios acerca da utilização máxima dos locais de

processamento, e a análise dessas informações possibilitou a identificação dos principais gargalos existentes no processo, por ineficiência do arranjo físico. Ou seja, existe uma grande utilização média de recursos de processamento, os quais geram grandes filas.

A partir dos indicadores de utilização dos locais de processamento, foi possível constatar o que já era notório: as máquinas de empacotar e enfardar constituem os principais gargalos do sistema. Conforme Figura 25, observa-se os resultados da utilização dos locais no sistema.

Figura 25 - Gráfico dos locais de capacidade múltipla cenário atual

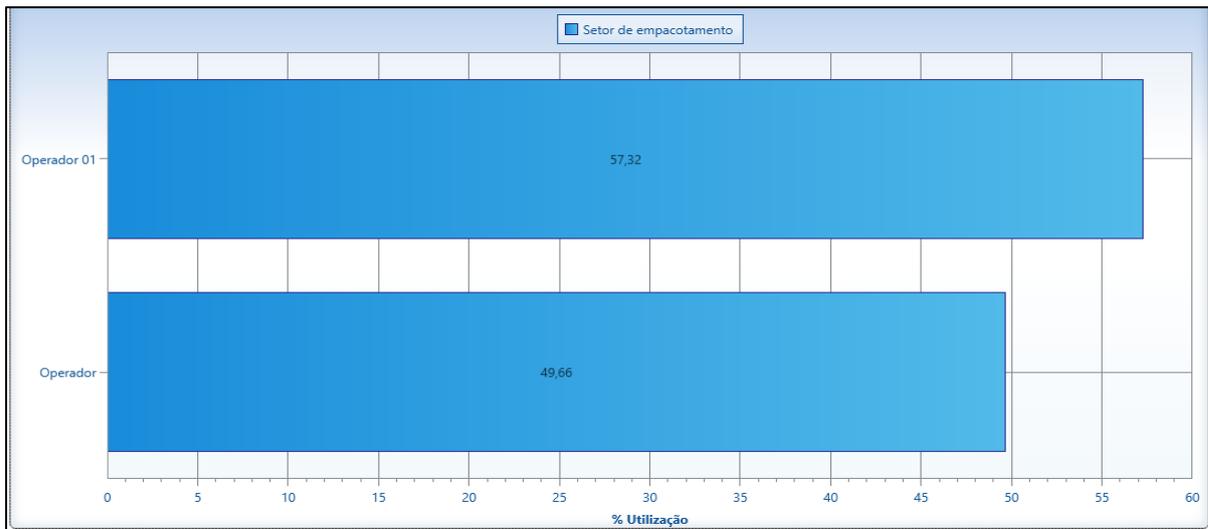


Fonte: Do autor (2018).

A célula de produção 02, constituída da máquina de empacotar 2 e máquina de enfardar 2, representa um gargalo na operação, pois permanece mais de 80% de sua operação “cheia” no sistema, ocasionando filas e atrasos. Porém, a célula 01 expõe uma ociosidade de 90% que, conforme a estruturação do arranjo físico, há uma necessidade de movimentação manual das entidades pelos recursos, no qual a entidade da célula 01 é removida manualmente para estoque. No entanto, do estoque é encaminhada para a esteira de carregamento, ocasionando uma perda por movimentação desnecessária no sistema.

Dessa maneira, por meio da Figura 26 analisa-se o aproveitamento dos recursos operadores na movimentação manual, observa-se que este aproveitamento é baixo, pois o operador 01 está 57,32% do tempo em operação e o operador 49,66% apenas, ou seja, ambos os operadores não estão em operação em tempo integral.

Figura 26 - Gráfico de utilização de recurso operador



Fonte: Do autor (2018).

Entretanto, o arranjo físico é considerando misto, pois até um momento da operação utiliza-se por produto e, a partir do depósito de empacotamento torna-se em célula, dessa forma a empresa limita sua produção às capacidades dos gargalos. Envia uma carga menor de arroz a granel para a célula de produção 01, que conforme mencionado, as máquinas de empacotar e enfardar necessitam de movimentação manual, a qual limita a produção da célula.

O espaço para armazenamento de produtos acabados, nesse contexto, reflete uma grande participação para a limitação de produção, no sistema atual o estoque de produtos acabados representa 6,7% de sua produção em um turno, uma vez que as disposições das máquinas ocupam grande parte da estrutura, não encontram um local amplo para o destino dos produtos acabados.

A utilização deste arranjo físico misto se justifica ao aumento da demanda de produtos, sendo necessário a aquisição de mais um conjunto de empacotar e enfardar, o mesmo foi fixado ao lado do conjunto existente, gerando duas células de produção.

Como a estratégia da empresa nos anos anteriores era apenas a célula 02 produzir para a expedição, dessa forma a ela foi conectada a esteira de carregamento. Assim, destinou-se à outra célula somente produção para estoque. Com a necessidade de aumento de produção, nos últimos anos, produz para carregamento em ambas as células, pois como mencionado não conta com grandes espaços para estoque.

#### **4.11 Geração de um cenário alternativo**

O modelo de simulação aplicado para representar o arranjo físico proposto foi o mesmo utilizado na simulação anterior do arranjo físico atual, mudando alguns equipamentos e os tempos de deslocamento das entidades que diminuí devido à união das células, diminuindo a distância. O sistema foi simulado para os dois casos, antes e depois do rearranjo, por um período de 6 horas (duração de um turno) e replicado 30 vezes (duração de um mês).

As verificações apresentadas no item anterior motivaram a busca de melhorias ao sistema. Uma vez que o processo de empacotar e enfardar é o gargalo, no qual qualquer reorganização deve ser voltada para o melhor aproveitamento das capacidades de ambas as células.

Referindo-se ao objetivo de ganhar uma unidade de tempo de um recurso gargalo, equivale a uma unidade de tempo ganha no processo como um todo. Portanto, o autor concentrou suas sugestões de melhorias a fim de reorganizar estas células de produção, eliminar a perda por movimentação desnecessária, e a produção em um sistema em linha, podendo enviar a mesma carga de matéria-prima para ambas as máquinas.

O autor elaborou o esboço dessa proposta cuja ideia é, com a mesma estrutura física, encontrar uma opção que resulte em um melhor aproveitamento das capacidades de produção, realizando um projeto de simulação computacional.

Contudo, somente após a inclusão dos novos detalhes da proposta no modelo computacional e a análise criteriosa dos resultados obtidos com sua execução, será possível determinar com uma precisão se o modelo proposto evidencia os indicadores mencionados anteriormente, para melhor eficiência do sistema.

##### **4.11.1 Descrição da alternativa proposta**

O autor propõe uma alternativa para o arranjo físico do setor de empacotamento de forma que ambas as máquinas de empacotar e enfardar trabalhem simultaneamente, o que não acontece no cenário original. A diferença é que permitiria uma maior utilização dos equipamentos que apresentam ociosidades no sistema atual, ou seja, diminuiria a ociosidade de máquinas.

A possibilidade de produção para estoque será aumentada, entretanto, com a reorganização do arranjo físico, a capacidade de armazenamento de produtos acabados aumenta 43,5% em comparativo com a capacidade original do sistema. Todavia, o cenário proposto obriga que a produção de fardos para estoque seja realizada pela máquina de empacotar e enfardar 02, que apresenta uma maior capacidade produtiva e mantém a menor distância com o estoque, o que torna mais viável a produção.

Sendo assim, alguns equipamentos do sistema alteraram o ângulo de posição no cenário proposto, a esteira de carregamento inicialmente será posicionada entre as duas máquinas de enfardar, atendendo à demanda de ambas as máquinas. Para isto, a máquina de enfardar 02 necessita de um giro de 180°, recuando cerca de dois metros até a posição nivelada com a máquina 01, conforme a Figura 27.

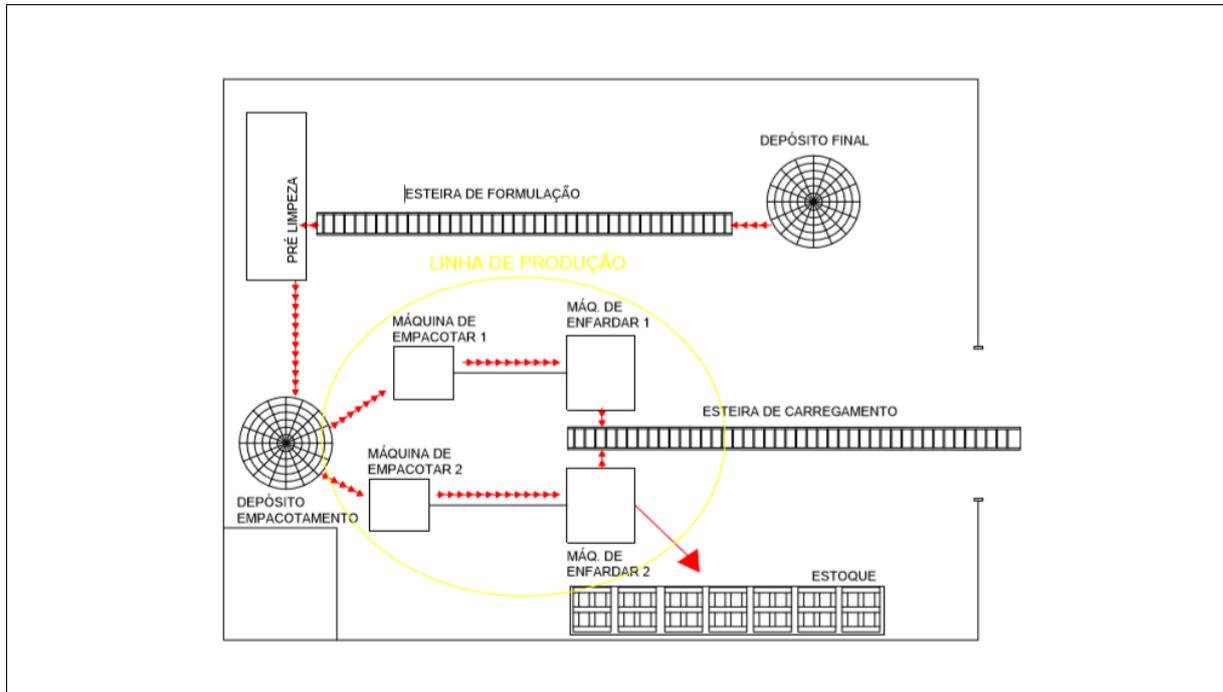
Dessa forma, ambas as máquinas estariam aptas para expedir a produção para o veículo de carregamento, não necessitando de intervenção manual nesta operação.

Para melhor entendimento, na Figura 27 as setas vermelhas contínuas demonstram o processo automatizado, a seta única representa um processo manual, que no cenário proposto diminui, pois a aproximação com o estoque é menor e um recurso operador supre a demanda necessária para esta operação.

O arranjo físico do setor utilizado para esse cenário alternativo é totalmente por produto, pois as máquinas são específicas para a produção desta entidade, utilizando-se com frequência todas as máquinas existentes, o que busca equilibrar o processo.

Torna-se viável a utilização desse arranjo, uma vez que a operação processa grandes volumes com baixas variedades utilizando a mesma sequência de etapas no processo. A figura representa a reorganização do arranjo físico, de celular para em linha.

Figura 27 - Planta do cenário proposto



Fonte: Do autor (2018).

Colocar esta proposta em prática exigiria certamente modificações estruturais, tais como isolamento de energia e tubulação de ar comprimido das máquinas modificadas. Não foi investigado se a estrutura presente permite esta alteração, pois não é o objetivo do estudo.

Contudo, a execução do modelo de simulação desta proposta, de arranjo físico por produto, atende ao objetivo de comparar o comportamento do cenário proposto com o atual, a fim de eliminar os gargalos e as perdas existentes no modelo real.

#### 4.11.2 Simulação do cenário proposto

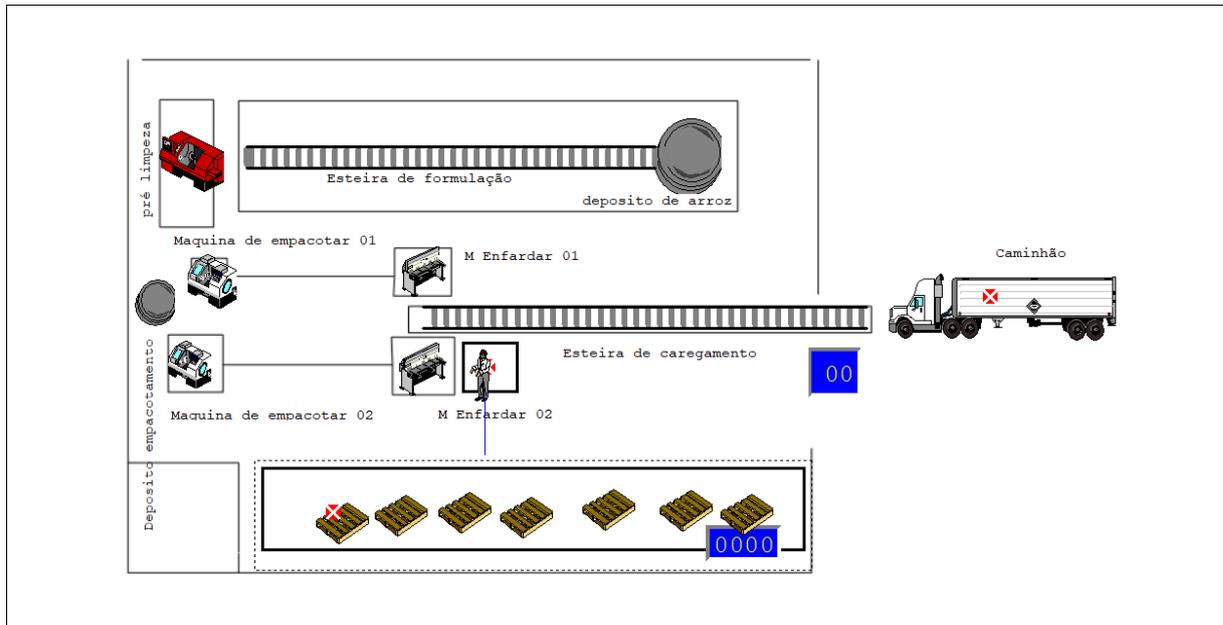
Um modelo de simulação foi elaborado para representar a alternativa de arranjo físico. Trata-se de um cenário com algumas alterações significantes para o sistema, em que apresenta traços da produção por produto, com o objetivo de utilizar devidamente as capacidades produtivas de ambas as máquinas e equipamentos.

Os parâmetros de tal modelo foram estimados de acordo com os tempos apresentados no modelo atual do mesmo sistema. Por exemplo, os tempos de operação de cada equipamento se mantiveram de acordo com o modelo atual, alterando apenas as distâncias dos locais de processamento e as porcentagens de chegadas das entidades nas máquinas de

empacotar e enfardar.

Dessa forma, a Figura 28 apresenta o modelo computacional do cenário proposto. Os resultados da simulação podem ser verificados na análise da alternativa proposta.

Figura 28 - Modelo computacional proposto



Fonte: Do autor (2018).

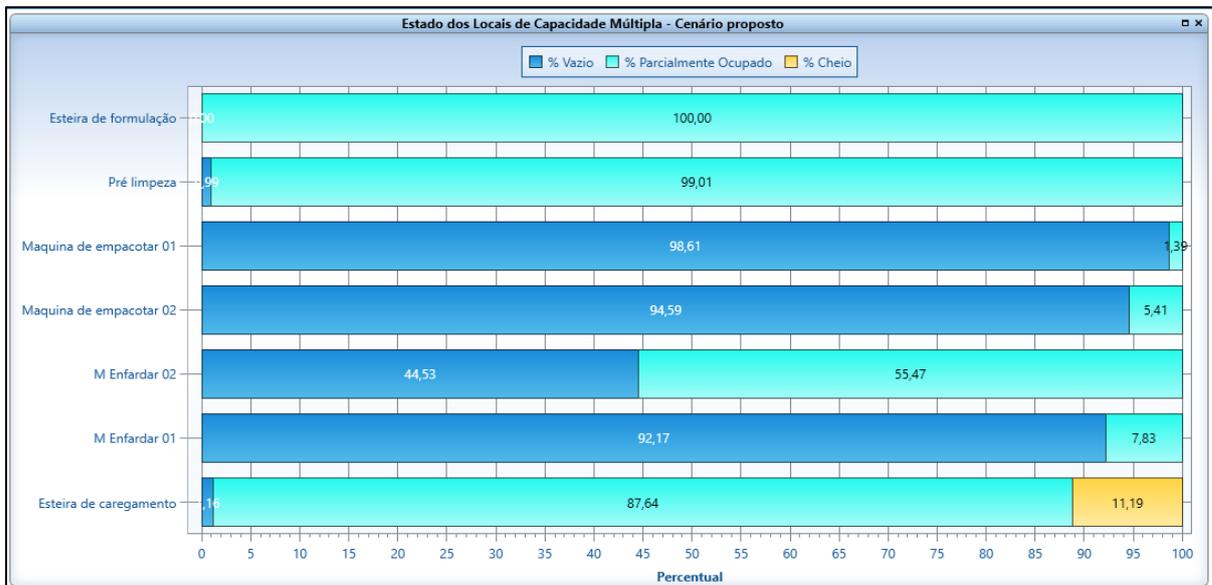
#### 4.11.3 Análise do cenário proposto

Uma vez encontrados os resultados da simulação, foi realizada a comparação do desempenho do cenário atual com o que é esperado para o cenário sugerido, sendo assim possível avaliar se a proposta atende ou não à necessidade da empresa. Analisando os indicadores de desempenho de ambas as situações, pode-se dizer que a alternativa estudada se mostrou vantajosa frente ao quadro atual.

De maneira geral, a simulação da alternativa proposta mostra os resultados da reorganização do arranjo físico, o qual diminui a perda por movimentação no sistema e otimiza a utilização do espaço físico e dos equipamentos.

A utilização dos equipamentos pode ser verificada na Figura 29, na qual se apresenta um equilíbrio entre as máquinas no cenário proposto. Dessa forma, elimina uma grande parte do gargalo encontrado nas máquinas de enfardar e empacotar 02 no cenário atual, resultando no aumento considerável da produção.

Figura 29 - Gráfico dos locais de capacidade múltipla cenário proposto



Fonte: Do autor (2018).

Na simulação (cenário atual) o tempo médio de operação foi de 281,71 minutos, e foram produzidos em média 679 fardos para carregamento com a intervenção de dois recursos operadores.

Já na segunda simulação (arranjo físico proposto), o tempo médio em operação foi 471,26 minutos, e a quantidade média produzida foi 911 fardos para carregamento e 173 fardos para estoque, com a movimentação manual de um recurso operador, conforme a Figura 30.

Figura 30 - Total de peças que saem do setor diariamente

Painel				
Cenário	Nome	Total de Saídas	Tempo Médio em Operação (Min)	Custo Médio
Cenário proposto	Arroz em fardos 30kg	911,00	471,26	0,00

Fonte: Do autor (2018).

Dessa maneira, verifica-se que o tempo médio em operação do arranjo proposto é 67,18 % maior do que tempo no arranjo atual, pois utiliza a produção de ambos os equipamentos sem haver as paradas dos equipamentos por sobrecargas.

Na Tabela 4 pode-se observar o indicador de produção mensal, com objetivo de mensurar o aumento de produção em um mês de trabalho, sendo contabilizado com apenas

um turno de operação.

Tabela 4 – Indicador de produção mensal

<b>Indicador de Produção Mensal</b>	
Arranjos físicos	Fardos
Cenário atual	14.938
Cenário proposto	20.042

Fonte: Do autor (2018).

Resulta que a quantidade média de fardos produzidos cenário propostos é maior que a quantidade atual, dessa forma o cenário proposto representa em um ganho de 5.104 fardos em um mês em relação com o cenário atual.

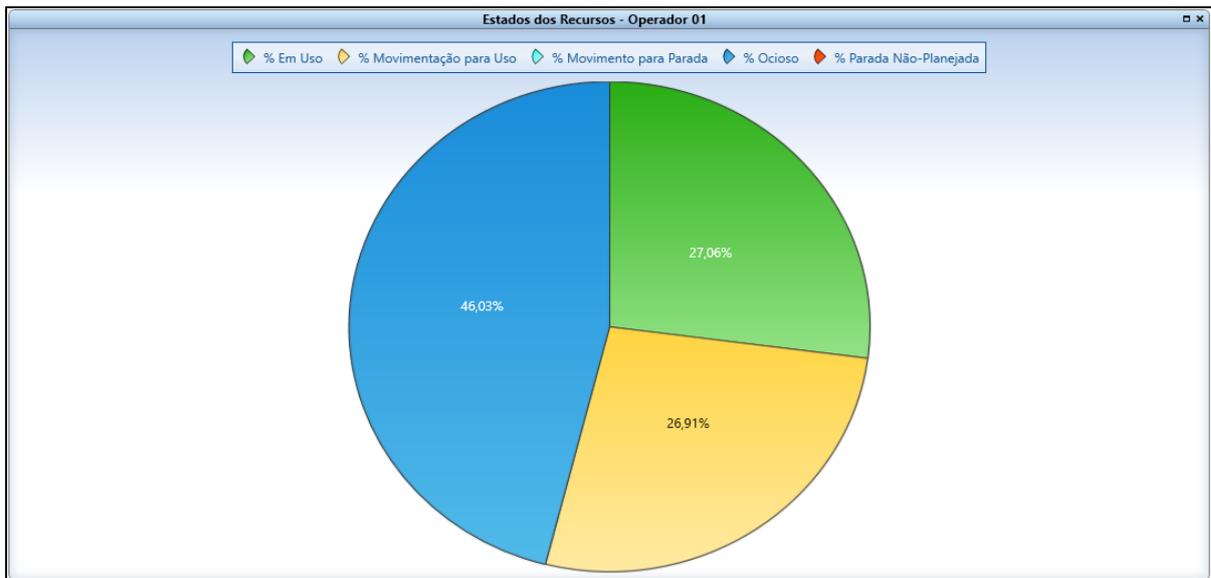
Conforme mencionado, a utilização dos recursos operadores na operação manual foi reduzida em análise comparativa com o cenário atual. O mesmo contava com dois recursos operadores para exercer a função de transporte para a esteira de carregamento e para estoque.

O cenário proposto apresenta apenas um operador que exerce ambas as funções que, conforme Figura 31, expressa um aproveitamento de 53,97% do tempo em uso e movimentação para o uso. Esse percentual foi adquirido com a reorganização do arranjo físico, ambas as máquinas produzem para a esteira de carregamento, eliminando uma perda de movimentação desnecessária encontrada no cenário atual.

Além de direcionar um espaço físico apropriado para o estoque de produto acabado próximo da máquina de enfardar, possibilitou a estocagem de produtos acabados, para eventuais emergências.

Dessa forma, o estoque de produtos acabados, no cenário proposto, tem capacidade de armazenar até 600 fardos na horizontal, o que o cenário atual não possibilita, pois o estoque direcionado tem o objetivo apenas de evitar filas de espera na célula 1. Logo, esse cenário objetiva manter um estoque mínimo para conseguir atender a demanda mais urgente.

Figura 31 - Estados dos recursos



Fonte: Do autor (2018).

Abaixo, o Quadro 7 apresenta a comparação entre os dois cenários através dos principais indicadores que mensuram a utilização do cenário proposto.

Quadro 7 - Comparativo antes e após alteração do arranjo físico

Indicador	Cenário Atual	Cenário Proposto
Produção para carregamento diária	679 fardos	911 fardos
Produção para estoque	0 fardos	173 fardos
Movimentação de pessoas	10 metros	3 metros
Utilização de recursos	2 Operadores	1 Operador
Tempo de espera nas máquinas de enfardar	300 segundos	Eliminado
Operação de transporte para esteira de carregamento	1 Transporte manual	Eliminado

Fonte: Do autor (2018).

Esses indicadores estão relacionados com o formato do arranjo físico atual, cujo processo inadequado não possui um indicador direto, como produção para estoque, gerando maior poder de negociação de organização. Além de eliminar a operação manual de transporte para a esteira, destaca-se o quanto a fabricação ocorre de forma improdutiva. As esperas foram reduzidas, pois com a eliminação das células ambos os equipamentos o produzem no mesmo momento.

Esse ganho representa uma grande oportunidade para a empresa, que pode aproveitar a demanda do mercado e aumentar seu faturamento através do aumento de produção, correlacionado com o cenário atual.

## 5 CONCLUSÃO

A simulação computacional de eventos discretos proporcionou neste estudo a realização de uma análise de uma possível reorganização no arranjo físico na área de empacotamento de uma agroindústria.

Para esse fim, foi realizada uma coleta de dados e informações ampla, com o objetivo de conhecer as operações e o funcionamento da área em estudo, para desenvolver um modelo de simulação do cenário atual. Esse modelo foi, então, aplicado para possibilitar deduções acerca do comportamento do sistema. Com isso, verificou-se que as células de produção eram ineficientes porque gerava uma sobrecarga em um conjunto e ociosidade em outro, de tal forma que resultava em filas de entidades. Também foi apurado que a célula mais ociosa do sistema contava com a existência de uma movimentação manual para transporte das entidades, o que representa uma grande restrição do sistema.

A partir dos resultados dessa análise, encontraram-se os aspectos mais relevantes para o processo, auxiliando na elaboração de um cenário proposta. Com esta proposta, o autor apresenta uma alternativa de reorganização do arranjo físico, na qual as operações de empacotamento e enfardamento acontecem de forma paralela em linha de operação, e não nas células individuais, pois este aspecto demonstra trazer transtornos no cenário atual.

Além disso, o cenário proposto traz benefícios para a movimentação manual das entidades eliminando as desnecessárias, que geravam filas de espera nas entradas, devido a uma das células do cenário atual não estar conectada à esteira de carregamento. Deste modo, foi gerado um modelo de simulação do cenário proposto, assim como fora feito para o sistema atual, contemplando todos os aspectos do cenário alternativo.

A análise feita nos resultados obtidos propiciou verificar que a reorganização do arranjo físico do setor, sem grande investimento, otimiza as capacidades dos seus

equipamentos, assim como traz a característica do cenário proposto. O cenário sugerido neste trabalho é vantajoso.

Da mesma forma que em análise preliminar, resulta existir um grande potencial de melhoria no processo estudado, em que deve-se investigar com maiores detalhes e melhor precisão, quais os impactos para a reorganização real do arranjo físico.

A realização deste trabalho de conclusão de curso expõe um grande potencial de melhoria da área estudada. As informações encontradas devem servir de massa crítica para as futuras tomadas de decisões.

O presente estudo ressaltou a importância de um arranjo físico que otimize a produção sem interrupções e perdas. Desta forma outro objetivo deste trabalho foi mostrar que a ferramenta de simulação pode ser utilizada de forma satisfatória em reorganização de arranjo físico, pois combina a interação lógica real em um sistema virtual.

Contudo, por meio do detalhamento dos processos produtivos encontrados na empresa objeto de estudo foram explorados os recursos utilizados nos processos, assim como o fluxo de produção presente neles, conseguindo analisar a funcionalidade de cada recurso envolvido na operação de empacotamento, como também sua influência perante operações.

Conclui-se que as propostas elaboradas nesse trabalho, com base no referencial teórico desenvolvido e no modelo de simulado, podem trazer grandes melhorias ao setor da empresa em estudo, portanto, os objetivos deste trabalho foram plenamente atingidos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. S.; COSTA, Y. P. J. S.; FRANCISCO, C. A. C.; GOMES, J. C. **Utilização da simulação em ARENA 7.0 no auxílio ao balanceamento da célula de montagem de uma fábrica de calçados.**In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, CE, out. 2006.
- ANTON, C.I.; EIDELWEIN, H.; DIEDRICH, H. Proposta de melhoria no layout da produção de uma empresa do vale do Taquari. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado: Univates, v. 4, n. 1, 2012.
- ANTUNES, Junicoet al. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta.** Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BAIRD, Scott P.; LEAVY, Jeffrey J. **Simulation Modeling Using ProModel for Windows.** Proceedings of the 1994 WinterSimulationConference. [S.l.], 1994.
- BANKS, J. *et al.* **Discrete-event Simulation.** 5. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009.
- BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro.**Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1991.
- BOBLITZ, G. **Simulation eliminates need for na \$80,000 machine and conveyor investment.** Industrial Engineering. [S.l.], p. 26-28,mar., 1991.
- BÓ SOLI, G. S. *et al.* **Simulação computacional como ferramenta para reorganização do arranjo físico de uma empresa de produtos químicos.** In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, [S.l.], 2009.
- CHWIF, L. **Redução de Modelos de Simulação de Eventos Discretos na sua Concepção: uma abordagem causal.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica, [S.l.], 1999.
- CHWIF, L; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações.** 2.ed. rev. São Paulo: Ed. dos Autores, 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e Operações**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

\_\_\_\_\_. **Administração da produção de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2.ed. 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2007.

CRUZ, Tadeu. **Sistemas, Métodos & Processos: administrando organizações por meio de processos de negócios**. São Paulo: Atlas, 2003.

DAVIS, Mark; AQUILANO, Nicholas; CHASE; Richard. **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

FURNHAM, A.; FORDE, L.; FERRARI, K. Personality and work motivation. **Personality and Individual Differences**, [S.l.], v. 26, n.6, p. 1035-1043, 1999.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Production and operations management**. 8.ed. [S.l.]: South-Western College Publishing, 1999.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, José Ernesto Lima. As empresas são grandes coleções de processos. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, [S.l.], v. 40. N. 1. jan./mar., 2000.

GRAHAM, BEN S.; JR. CHAIRMAN. **The Key to Good Process Mapping**. [S.l.], 2006. Disponível na <<http://www.worksimp.com/articles/key-to-process-mapping.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

GUINÉ, R.P.F. *et al.* Development of a Solid Vinaigrette and Product Testing. **Journal of Culinary Science & Technology**, [S.l.], n. 11, p. 259-274, 2013. Disponível em: doi:<10.1080/15428052.2013.769872>. Acesso em: 06 out. 2017.

HAMMER, Michael. A auditoria de processos. **Revista Harvard Business**, [S.l.], v. 85, n. 4. abr., 2007.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using Promodel**. 4. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2000.

HARREL, C. R.; MOTT, J. A. R.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. **J. Simulação: otimizando os sistemas**. 5. ed. [S.l.]: Promodel Corporation, 1997.

KELTON, W.D. **A tutorial on design and analysis of simulation experiments**. Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference. [S.l.], 1995.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

- KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 2.ed. New York: McGraw Hill, 1991.
- LEAL, F.; ALMEIDA, D.A.de; MONTEVECHI, J.A.B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: **Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, João Pessoa, PB, 2008.
- LOBO, C. E.A.V. **Proposta de metodologia para incremento do desempenho da manufatura através da técnica de simulação**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP: UNICAMP, 1997.
- LOPES, A. Avaliação da capacidade de fluxo: sistema de armazenagem automático. In: **Anais da 1ª Conferência Latino Americana de Simulação e Usuários Promodel**, Innovation 99. São Paulo, dez., 1999.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_226\\_323\\_29952.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_323_29952.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2017.
- MAXIMINIANO, A.C.A. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pioneira, 2004.
- \_\_\_\_\_. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- NETTO, Clovis A. **Materiais e processos de produção IV**. Escola Politécnica da USP, [S.l.], mar. 2009.
- NONAKA, I.; NISHIGUSHI, T. **Knowledge emergence: social, technical and evolutionary dimensions of knowledge creation**. New York: Oxford University Press, 2001.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- NONAKA, I.; TOYAMA, R. The Knowledge-creating theory revisited: knowledge creating as synthesizing process. **Knowledge Management Research and Practice**, Hampshire, v.1, n.1, p.2-10, July, 2003.
- NONAKA, I.; TOYAMA, R.; KONNO, N. SECI, Ba and Leadership: a unified model of dynamic knowledge creation. **Long Range Planning**, Oxford, v.33, n.1, p.5-34, Feb., 2000.
- OLIVEIRA, DJALMA DE PINHO REBOUÇAS DE. **Administração de processos: conceitos, metodologia, práticas**. 2.ed.rev. São Paulo: Atlas 2007.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEREIRA, C.E.; ALBULQUERQUE, K.S.; OLIVEIRA, J.A. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz ao longo da linha de beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v.33, p.2995-3002, 2012.

PEREIRA, T.; LIYABAGE, K. Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of manufacturing systems. **Simulation Practice and Theory**, [S.l.], v. 07, p.645-56, 2000.

PIDD, Michael. **Tools for thinking: Modelling in Management Science**. [S.l.]: Wiley, 2002.

\_\_\_\_\_. **Modelagem empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PINHO, A. F.; MORAIS, N. S. Utilização da simulação computacional combinada a técnica de otimização em um processo produtivo. **Revista Pesquisa & Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, [S.l.], v. 8, n. 2, 2010.

PISKE, F. B. **A influência do arranjo físico nos desperdícios de uma fábrica de máquinas para implementos agrícolas**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Cesar Ermani, **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. E-Book.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, [S.l.], v. 59, p. 278-290, 2008.

SARGENT, R.G. **Verification and validation of simulation models**. In: Winter Simulation Conference, Proceedings... Baltimore, MD, USA, 2010.

SEILA, A.F. **Introduction to simulation**. In: Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, [S.l.], 1995.

SELEME, Robson; SELEME, Roberto Bohlen. **Automação da produção: abordagem gerencial**. Curitiba: Ibplex, 2008.

SHIMOKAWA, Koichi; FUJIMOTO, Takahiro. **O nascimento do Lean: conversas com Taiichi Ohno, Eiji Toyoda e outras pessoas que deram forma ao modelo Toyota de gestão**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

SILVA, L.M.P. **Avaliação de desempenho em empresas que adotam a produção enxuta como escolha estratégica**. 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SLACK, N., CHAMBERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A., JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2006.

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

SLACKS, N. *et al.* **Administração da produção**. 1.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

STEVENSON, W. J. **Production and Operations Management**. New York: WCB/McGraw Hill, 1999.

TIBERTI, A. J. **Desenvolvimento de software de apoio ao projeto de arranjo físico de fábrica baseado em um framework orientado a objeto**. Tese (Doutorado) - EESC, USP. São Carlos, SP. 2001.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TIBERTI, A. J.; GONÇALVES, E. V. F. SAPAF. **Um sistema de apoio ao projeto de arranjo físico de fábrica**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis, SC, 2004.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

\_\_\_\_\_. **Manual de Planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

WILMERS, Rodolpho A. M. Arranjo físico e fluxo. **Administração das Operações Produtivas**. Módulo 6. Fascículo 6 – AOP. [s.a.]. Disponível em: <[http://adm.online.unip.br/img\\_ead\\_dp/27465.PDF](http://adm.online.unip.br/img_ead_dp/27465.PDF)>. Acesso em: 30 set. 2017.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta**. Disponível em: <\_Arranjo\_Fisico.pdf>. Acesso em: 30set. 2017.



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09