



Otimização do Plano de Produção numa Unidade Fabril

CÁTIA SOFIA VÉSTIAS CARRAJOLA
(Licenciada em Nutrição Humana e Qualidade Alimentar)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia

Vogais:

Doutora Bruna Alexandra Elias Mota

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Novembro de 2025

Otimização de um Plano de Produção numa Unidade Fabril

CÁTIA SOFIA VÉSTIAS CARRAJOLA
(Licenciada em Nutrição Humana e Qualidade Alimentar)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, ISEL/IPL

Júri:

Presidente: Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia, ISEL/IPL

Vogais:

Doutora Bruna Alexandra Elias Mota, IST/UL

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes, ISEL/IPL

Novembro de 2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao ISEL por me ter acolhido durante estes anos de mestrado, bem como ao Professor Vítor Anes, o meu orientador nesta dissertação, pela sua paciência infinita e apoio constante.

Ao meu chefe e amigo Manuel Manarte, que, mesmo sem saber foi o maior impulsionador para a realização deste mestrado e que me desafiou a escolher o tema desta dissertação, expresso também a minha sincera gratidão.


À minha família, em especial ao meu marido, pelo apoio incondicional, por ouvir os meus desabaços e por me dar forças nos momentos de maior cansaço e dificuldade. À minha mãe e aos meus irmãos, pelo incentivo e por estarem sempre presentes em todas as etapas da minha vida.

Por fim e não o menos importante, ao meu pai, que me acompanha de um lugar muito especial, iluminando sempre meus os caminhos e dando-me uma força inabalável.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor


Lisboa, 25 de novembro de 2025

Otimização de um Plano de Produção numa Unidade Fabril

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo otimizar o plano de produção de uma unidade fabril, procurando reduzir desperdícios, melhorar a utilização dos operadores e aumentar a eficiência global do sistema. O estudo surgiu da identificação de problemas no cenário atual, caracterizado por elevados períodos de ociosidade, dificuldades no cumprimento do plano produtivo e custos significativos associados a desperdícios.

Para responder a estes desafios, foram propostas três medidas de melhoria: a redução dos tempos de preparação, a criação de uma estação de apoio e a redução da velocidade da linha, bem como combinações entre as várias alternativas. Inicialmente, procedeu-se a uma análise teórica das propostas, onde se verificou que, embora cada uma apresentasse ganhos em determinados aspetos, apenas as combinações de medidas revelaram impactos expressivos na redução de desperdícios.

Em seguida, recorreu-se ao software Arena para desenvolver modelos de simulação de eventos discretos, que permitiram avaliar o desempenho dos diferentes cenários em função de quatro indicadores principais: número de produções concluídas, tempo médio de processamento, tempo médio de espera e taxa de utilização dos operadores. Os resultados demonstram que nenhum cenário apresentou desempenho inferior ao atual e que as soluções combinadas, em particular a linha mais lenta associada à redução dos tempos de preparação, oferecendo os melhores resultados globais.

Finalmente, aplicou-se o Analytic Hierarchy Process (AHP) como ferramenta de apoio multicritério à decisão, de forma a integrar os diferentes critérios de avaliação e selecionar a alternativa mais adequada. Os resultados confirmaram a superioridade da proposta que combina a linha mais lenta com a redução dos tempos de preparação, destacando-a como a solução mais equilibrada entre produtividade, eficiência e utilização dos recursos.

Este trabalho contribui tanto para a prática, ao fornecer à empresa soluções concretas de melhoria, como para investigação académica, ao demonstrar a relevância da integração da simulação com métodos de apoio à decisão multicritério na otimização de sistemas produtivos.

Palavras-chave: Otimização da Produção; Simulação: Arena; AHP; Planeamento Industrial.

Optimization of a Production Plan in Manufacturing Unit

Abstract

This dissertation aims to optimize the production plan of a manufacturing unit, seeking to reduce waste, improve operator utilization, and increase the overall efficiency of the system. The study arose from the identification of problems in the current scenario, characterized by high periods of idleness, difficulties in complying with the production plan, and significant costs associated with waste.

To respond to these challenges, three improvement measures were proposed: reducing preparation times, creating a support station, and reducing line speed, as well as combinations of the various alternatives. Initially, a theoretical analysis of the proposals was carried out, which showed that, although each one presented gains in certain aspects, only the combinations of measures revealed significant impacts on waste reduction.

Next, Arena software was used to develop discrete event simulation models, which made it possible to evaluate the performance of the different scenarios based on four main indicators: number of completed productions, average processing time, average waiting time, and operator utilization rate. The results show that no scenario performed worse than the current one and that the combined solutions, in particular the slower line associated with reduced preparation times, offered the best overall results.

Finally, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied as a multi-criteria decision support tool in order to integrate the different evaluation criteria and select the most appropriate alternative. The results confirmed the superiority of the proposal that combines the slower line with reduced preparation times, highlighting it as the most balanced solution in terms of productivity, efficiency, and resource utilization.

This work contributes both to practice, by providing the company with concrete improvement solutions, and to academic research, by demonstrating the relevance of integrating simulation with multi-criteria decision support methods in the optimization of production systems.

Keywords: Production Optimization; Simulation; Arena; AHP; Industrial Planning.

Lista de Símbolos e de Siglas

Alfabeto romano

- T_i- Tempo de Execução da tarefa i (min)
- C – Tempo de ciclo da linha (min)
- E- Eficiência da linha (%)
- N_p- Número de Produções Concluídas
- T_p- Tempo médio de Processamento (min)
- T_e- Tempo médio de Espera (min)
- U_{op} - Taxa de Utilização dos Operadores (%)

Siglas

- AHP – Analytic Hierarchy Process
- ARENA – Software de simulação de eventos discretos
- LEAN – Lean manufacturing
- MCDM – Modelos de decisão multicritério
- TPS – Toyota Production System
- DES – Eventos de simulação discreta
- SMED – Single – Minute Exchange of Die
- GPSS – General Purpose Simulation System
- FIFO – First In, First Out

Índice

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS | I |
| RESUMO | V |
| ABSTRACT | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS E DE SIGLAS | IX |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO | 1 |
| 1.2. DECLARAÇÃO DO PROBLEMA | 2 |
| 1.3. OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO..... | 2 |
| 1.4. SIGNIFICÂNCIA DO ESTUDO | 3 |
| 1.5. ESTRUTURA DA TESE | 4 |
| 1.6. DEFINIÇÃO DE TERMOS E CONCEITOS-CHAVE | 5 |
| 1.7. ÂMBITO E LIMITAÇÕES DA TESE | 5 |
| 1.8. JUSTIFICAÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA | 6 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 9 |
| 2.1 INTRODUÇÃO AO <i>LEAN MANUFACTURING</i> | 9 |
| 2.1.1. <i>MUDA e Desperdícios</i> | 10 |
| 2.1.2. <i>Eliminação de Desperdícios na Perspetiva Lean</i> | 13 |
| 2.1.3. <i>Balanceamento de linhas de Produção</i> | 14 |
| 2.2. INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO..... | 15 |
| 2.2.1. <i>Conceito e evolução histórica da simulação</i> | 15 |
| 2.2.2. <i>Tipos de modelos de simulação</i> | 16 |
| 2.2.3. <i>Metodologia do estudo em simulação</i> | 17 |
| 2.2.4. <i>Boas práticas na análise de resultados</i> | 18 |
| 2.2.5. <i>Origem do desenvolvimento do Arena</i> | 18 |
| 2.2.6. <i>Importância e aplicações atuais</i> | 19 |
| 2.2.7. <i>Terminologia básica da simulação</i> | 20 |
| 2.2.8. <i>Principais distribuições estatísticas utilizadas em simulação</i> | 22 |
| 2.2.9. <i>Módulos básicos do Arena para modelação de sistemas</i> | 23 |
| 2.2.10. <i>Limitações da simulação</i> | 25 |
| 2.3. MODELOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO..... | 25 |
| 2.3.1. <i>Principais métodos de apoio multicritério à decisão</i> | 26 |
| 2.3.2. <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> | 28 |
| 2.3.3. <i>Vantagens e limitações do AHP</i> | 30 |
| 3 ESTUDO DE CASO | 33 |
| 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO | 34 |
| 3.3. PLANEAMENTO ATUAL | 35 |
| 3.4. PROBLEMA INDUSTRIAL | 38 |
| 3.5. IMPACTO DO PROBLEMA INDUSTRIAL | 46 |
| 4 PROPOSTAS DE MELHORIA | 49 |
| 4.1. REDUÇÃO DOS TEMPOS DE PREPARAÇÃO | 49 |
| 4.2. CRIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE APOIO À ESTAÇÃO 1 | 53 |
| 4.3. LINHA MAIS LENTA..... | 57 |
| 4.3.1. <i>Linha mais lenta com tempo de preparação de 10 minutos</i> | 59 |
| 4.3.2. <i>Linha mais lenta com tempo de preparação de 5 minutos</i> | 63 |
| 5 CONSTRUÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE ARENA | 67 |
| 5.1. ETAPAS GERAIS DA MODELAÇÃO NO ARENA | 67 |
| 5.1.1. <i>Definição do Run Setup</i> | 67 |
| 5.1.2. <i>Definição do Horário de Trabalho</i> | 68 |
| 5.1.3. <i>Definição dos Recursos</i> | 68 |
| 5.1.4. <i>Módulo Create</i> | 69 |
| 5.1.5. <i>Módulo Dispose</i> | 69 |
| 5.2. DESENVOLVIMENTO DO CENÁRIO ATUAL..... | 69 |
| 5.2.1. <i>Atributos das Entidades</i> | 70 |
| 5.2.2. <i>Módulo Decide</i> | 73 |
| 5.2.3. <i>Definição dos Processos</i> | 74 |
| 5.2.4. <i>Modelo Final</i> | 74 |
| 5.3. PROPOSTA 1 – REDUÇÃO DO TEMPO DE PREPARAÇÃO..... | 75 |
| 5.3.1. <i>Alterações no modelo</i> | 75 |
| 5.3.2. <i>Modelo Final da Proposta 1</i> | 76 |
| 5.4. PROPOSTA 2 – CRIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE APOIO..... | 76 |
| 5.4.1. <i>Alterações no modelo</i> | 77 |
| 5.4.2. <i>Modelo Final da Proposta 2</i> | 77 |
| 5.5. PROPOSTA 3 – LINHA MAIS LENTA..... | 78 |
| 5.5.1. <i>Seleção dos Produtos</i> | 78 |
| 5.5.2. <i>Configuração no Arena</i> | 80 |
| 5.5.3. <i>Modelo Final</i> | 80 |
| 5.6. PROPOSTA 1+2 – REDUÇÃO DO TEMPO DE PREPARAÇÃO E RECURSO A UMA ESTAÇÃO DE APOIO | 80 |
| 5.6.1. <i>Alterações no Modelo</i> | 81 |
| 5.6.2. <i>Modelo Final</i> | 81 |
| 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 83 |
| 6.1. ANÁLISE TEÓRICA DAS PROPOSTAS | 83 |
| 6.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO ARENA | 84 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 6.2.1. | <i>Número de Produções Concluídas</i> | 85 |
| 6.2.2. | <i>Tempo Médio de Processamento</i> | 86 |
| 6.2.3. | <i>Tempo Médio de Espera</i> | 86 |
| 6.2.4. | <i>Taxa de Utilização dos Operadores</i> | 87 |
| 6.2.5. | <i>Análise Global dos Resultados da simulação</i> | 88 |
| 6.3. | APLICAÇÃO DO AHP..... | 89 |
| 6.3.1. | <i>Definição dos Pesos dos Critérios</i> | 90 |
| 6.3.2. | <i>Avaliação dos Cenários</i> | 92 |
| 6.3.3. | <i>Discussão dos Resultados do AHP</i> | 93 |
| 6.4. | RESUMO FINAL DA ANÁLISE | 94 |
| 7 | CONCLUSÕES | 97 |
| 7.1. | TRABALHOS FUTUROS | 98 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 101 |
| | ANEXOS | 103 |
| | <i>Resultados do Arena – Cenário Atual</i> | 105 |
| | <i>Proposta 1 – Redução do Tempo de Preparação (5 minutos)</i> | 110 |
| | <i>Proposta 2 – Criação de uma Estação de Apoio (10 minutos de Preparação)</i> | 115 |
| | <i>Proposta 2 - Criação de uma Estação de Apoio (5 minutos de Preparação)</i> | 120 |
| | <i>Proposta 3 – Linha mais Lenta (10 minutos)</i> | 125 |
| | <i>Proposta 3 – Linha mais Lenta (5 minutos)</i> | 130 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1 CINCO PRINCÍPIOS DA FILOSOFIA LEAN | 10 |
| FIGURA 2.2 OS SETE DESPERDÍCIOS SEGUNDO O TPS | 10 |
| FIGURA 2.3 RELAÇÃO ENTRE DESPERDÍCIOS LEAN E AS FERRAMENTAS..... | 14 |
| FIGURA 3.1 ILUSTRAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE PRODUÇÃO..... | 35 |
| FIGURA 3.2 EXEMPLO DE LISTA TÉCNICA - FÁBRICA DE PAPEL | 36 |
| FIGURA 3.3 LEGENDA DOS PLANOS | 40 |
| FIGURA 3.4 PLANO TEÓRICO DAS 09H00 ÀS 11H00 | 41 |
| FIGURA 3.5 PLANO TEÓRICO DAS 11H05 ÀS 13H45 | 41 |
| FIGURA 3.6 PLANO TEÓRICO DAS 13H50 ÀS 15H50 | 43 |
| FIGURA 3.7 PLANO TEÓRICO DAS 15H55 ÀS 18H00 | 43 |
| FIGURA 3.8 PLANO TEÓRICO CONTEMPLADO COM OS OPERADORES ESPECÍFICOS | 45 |
| FIGURA 4.1 PLANO DE PRODUÇÃO ENTRE AS 09H00 E AS 11H00 (PROPOSTA 1)..... | 50 |
| FIGURA 4.2 PLANO TEÓRICO ENTRE AS 11H05 E AS 13H45 (PROPOSTA 1)..... | 50 |
| FIGURA 4.3 PLANO TEÓRICO ENTRE AS 13H50 E AS 15H50 (PROPOSTA 1) | 52 |
| FIGURA 4.4 PROPOSTA TEÓRICA ENTRE AS 15H55 E AS 18H00 (PROPOSTA 1)..... | 52 |
| FIGURA 4.5 PLANO TEÓRICO ENTRE AS 09H00 E AS 16H00 (PROPOSTA 2)..... | 54 |
| FIGURA 4.6 PLANO TEÓRICO ENTRE AS 16H05 E AS 18H00 (PROPOSTA 2)..... | 56 |
| FIGURA 4.7 PLANO DE PRODUÇÃO TEÓRICO ENTRE AS 09H00 E AS 11H00 (PROPOSTA 3) | 60 |
| FIGURA 4.8 PLANO TEÓRICO ENTRE AS 11H05 E AS 15H00 (PROPOSTA 3) | 60 |
| FIGURA 4.9 PLANO PRODUTIVO ENTRE AS 14H15 E AS 16H05..... | 62 |
| FIGURA 4.10 PLANO PRODUTIVO ENTRE AS 16H10 E AS 18H00 (PROPOSTA 3) | 62 |
| FIGURA 4.11 PLANO DE PRODUÇÃO ENTRE AS 09H00 E AS 18H00 (PROPOSTA 3+1)..... | 64 |
| FIGURA 4.12 PLANO PRODUTIVO ENTRE AS 11H05 E AS 14H00 (PROPOSTA 3+1) | 64 |
| FIGURA 4.13 PLANO DE PRODUÇÃO ENTRE AS 14H05 E AS 16H05 (PROPOSTA 3+1)..... | 66 |
| FIGURA 4.14 PLANO DE PRODUÇÃO ENTRE AS 16H10 E AS 18H00 (PROPOSTA 3+1)..... | 66 |
| FIGURA 5.1 DEFINIÇÃO DO RUN SETUP | 67 |
| FIGURA 5.2 DEFINIÇÃO DO HORÁRIO DE TRABALHO | 68 |
| FIGURA 5.3 DEFINIÇÃO DOS RESOURCES | 68 |
| FIGURA 5.4 CARACTERIZAÇÃO DO CREATE | 69 |
| FIGURA 5.5 ASSIGN..... | 72 |
| FIGURA 5.6 ATRIBUTO ESTACAO_ID..... | 73 |
| FIGURA 5.7 DECIDE..... | 73 |
| FIGURA 5.8 PROCESSO..... | 74 |
| FIGURA 5.9 MODELO FINAL..... | 75 |
| FIGURA 5.10 CONFIGURAÇÃO DO PROCESS COM TEMPO DE PREPARAÇÃO REDUZIDO..... | 76 |
| FIGURA 5.11 PROPOSTA FINAL DA PROPOSTA 1 NO ARENA | 76 |
| FIGURA 5.12 DECIDE PARA DIRECIONAMENTO À ESTAÇÃO DE APOIO | 77 |
| FIGURA 5.13 MODELO FINAL DA PROPOSTA 2 NO ARENA | 78 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 5.14 PROPOSTA FINAL DA PROPOSTA 3 NO ARENA | 80 |
| FIGURA 5.15 PROPOSTA COM TEMPO DE PREPARAÇÃO DE 5 MINUTOS E ESTAÇÃO DE APOIO..... | 81 |
| FIGURA 6.1 ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO AHP | 90 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| TABELA 2.1: OS SETES DESPERDÍCIOS <i>LEAN</i> COM EXEMPLOS NUMA FÁBRICA DE BRINQUEDOS..... | 12 |
| TABELA 2.2: O OITAVO DESPERDÍCIO <i>LEAN</i> : SUBUTILIZAÇÃO DO POTENCIAL HUMANO | 12 |
| TABELA 2.3: COMPARAÇÃO ENTRE PRINCIPAIS MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO | 28 |
| TABELA 2.4: ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY PARA COMPARAÇÕES PAR A PAR..... | 29 |
| TABELA 3.1: PLANO PRODUTIVO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO..... | 39 |
| TABELA 4.1: PLANO PRODUTIVO COM REDUÇÃO DE LINHA..... | 58 |
| TABELA 5.1: DADOS DA DISTRIBUIÇÃO DISCRETE | 71 |
| TABELA 5.2: NOVOS DADOS PARA A LINHA MAIS LENTA | 79 |
| TABELA 6.1: VARIAÇÃO FACE AO CENÁRIO ATUAL | 84 |
| TABELA 6.2: RESULTADOS DO NÚMERO DE PRODUÇÕES..... | 85 |
| TABELA 6.3: RESULTADOS DO TEMPO MÉDIO DE PROCESSAMENTO..... | 86 |
| TABELA 6.4: RESULTADOS DO TEMPO MÉDIO DE ESPERA | 87 |
| TABELA 6.5: RESULTADOS DA TAXA DE UTILIZAÇÃO DOS OPERADORES..... | 88 |
| TABELA 6.6: MATRIZ DE JULGAMENTO..... | 91 |
| TABELA 6.7: MATRIZ NORMALIZADA | 91 |
| TABELA 6.8: TABELA DE JULGAMENTO DOS CENÁRIOS..... | 92 |
| TABELA 6.9: MATRIZ PONDERADA | 93 |

1 Introdução

A competitividade crescente no setor industrial exige que as organizações maximizem a eficiência dos seus processos produtivos, reduzindo desperdícios e garantindo respostas rápidas às exigências do mercado. Neste contexto, metodologias como o *Lean manufacturing*, aliadas ao potencial da simulação computacional, surgem como ferramentas fundamentais para apoiar a tomada de decisão e promover melhorias sustentáveis. Como afirmou Taiichi Ohno (1988), “eliminar desperdícios é a chave para a competitividade”. Esta perspectiva, apesar de ter sido formulada há várias décadas, mantém-se atual e reflete-se nos desafios enfrentados pela empresa em estudo, onde a otimização do plano de produção é essencial não apenas para reduzir custos, mas também para assegurar a qualidade e a entrega atempada aos clientes.

1.1. Contexto e motivação

A crescente competitividade dos mercados e a volatilidade da procura impõem às organizações industriais níveis elevados de eficiência, flexibilidade e rapidez de resposta. Este desafio é especialmente crítico em empresas com produtos complexos e forte sazonalidade, o que agrava o planeamento e alocação de recursos. Nestes contextos, pequenas ineficiências acumuladas ao longo do processo produtivo traduzem-se em atrasos, custos acrescidos e perda de capacidade de resposta.

A literatura tem salientado que a eliminação sistémica de desperdícios e a criação de fluxo ao longo da cadeia de valor são determinantes para sustentar ganhos de produtividade e de qualidade (por exemplo: princípios *Lean*). Em ambientes de produção por lotes, com múltiplas estações e operações interdependentes, estes objetivos dependem de um planeamento e sequenciamento que considerem em simultâneo, tempos de processamento, tempos de preparação, restrições de mão de obra e a necessidade de balanceamento de linhas.

Para apoiar decisões desta natureza, métodos quantitativos assumem um papel central. A simulação de eventos discretos permite representar digitalmente o sistema, testar cenários “e se”, sem perturbar a operação real e avaliar o impacto de alternativas de

sequenciação e de regras de afetação de recursos. Adicionalmente, quando existem critérios múltiplos e por vezes conflitantes (por exemplo: cumprimento de prazos, utilização de operadores, custos e estabilidade do plano), abordagens de decisão multicritério possibilitam a integração estruturada de preferências dos decisores e evidências quantitativas na seleção do cenário mais adequado.

É neste enquadramento que se insere o presente trabalho: otimizar o plano diário de produção numa fábrica de brinquedos científicos e educativos, num contexto sazonal e com recursos limitados, recorrendo a uma abordagem integrada que combina princípios *Lean*, simulação e análise multicritério para suportar a decisão de melhorias.

1.2. Declaração do Problema

Nos contextos industriais atuais, a crescente exigência do mercado impõe às empresas a necessidade de melhorar continuamente a sua eficiência operacional. No caso específico da empresa em estudo, que se dedica à produção de brinquedos científicos e educativos, foi identificado que um dos principais desafios está relacionado com o planeamento e balanceamento da produção.

Apesar de existir um plano produtivo estruturado, observa-se frequentemente a ocorrência de desperdícios associados ao tempo ocioso de operadores, sobrecarga em determinadas estações de trabalho e elevados tempos de preparação entre operações. Estas ineficiências resultam numa utilização sub-ótima dos recursos humanos e materiais, refletindo-se em custos acrescidos, atrasos na produção e menor flexibilidade para responder às flutuações da procura.

Neste contexto, torna-se essencial analisar de forma sistemática os tempos de preparação, a utilização dos operadores e a distribuição das tarefas entre estações de trabalho, de modo a identificar oportunidades de melhoria. A necessidade de reduzir desperdícios e otimizar a alocação de recursos constitui, assim, o problema central que esta dissertação procura responder, através da aplicação de metodologias de modelação e simulação.

1.3. Objetivos da Investigação

O objetivo principal desta dissertação consiste em otimizar o plano de produção da empresa em estudo, garantindo uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis, nomeadamente operadores e tempos de preparação, e reduzindo desperdícios associados a tempos de espera e ociosidade.

Para alcançar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar criticamente o estado atual do processo produtivo, identificando ineficiências relacionadas com a alocação de operadores, tempos de preparação e balanceamento de linhas;
- Modelar e simular o sistema produtivo no software Arena, representando de forma rigorosa as operações, recursos e restrições existentes;
- Testar cenários de melhoria, nomeadamente a redução dos tempos de preparação, a criação de uma estação de apoio e a utilização de linhas com menor velocidade, avaliando o seu impacto nos principais indicadores de desempenho;
- Comparar os diferentes cenários com o estado atual, através da análise de métricas como número de produções realizadas, tempo médio de processamento, tempo médio de espera e taxa de utilização dos operadores;
- Propor soluções de otimização que contribuam para a redução de desperdícios, aumento da produtividade e melhoria da eficiência global do sistema produtivo.

1.4. Significância do Estudo

A relevância deste estudo consiste no contributo que oferece para a melhoria da eficiência operacional em contextos industriais com elevada variabilidade da procura e recursos limitados. A empresa em análise apresenta um processo produtivo marcado por períodos de forte sazonalidade, o que exige uma gestão rigorosa da capacidade de produção e da utilização da mão de obra disponível.

Do ponto de vista prático, esta investigação fornece propostas concretas de otimização aplicáveis ao ambiente real da empresa, permitindo reduzir custos, melhorar o cumprimento de prazos de entrega e aumentar a produtividade. Os resultados através da simulação no Arena constituem um suporte à tomada de decisão, minimizando riscos associados a mudanças no processo produtivo.

Na vertente académica e científica, este trabalho reforça a aplicação de metodologias de simulação e de ferramentas *Lean* no estudo de problemas de planeamento e sequenciamento da produção. Contribui assim, para o conhecimento existente ao apresentar um caso prático que combina modelos de simulação discreta com a avaliação de diferentes cenários de melhoria operacional.

Adicionalmente, a investigação promove uma reflexão sobre a importância da redução de desperdícios e do balanceamento de linhas, aspetos críticos para a competitividade das organizações principalmente em setores de elevada pressão de prazos e com margens reduzidas.

1.5. Estrutura da Tese

A presente dissertação encontra-se organizada em sete capítulos principais, de forma a conduzir o leitor a partir de uma abordagem introdutória até à apresentação das conclusões:

- Capítulo 1 – Introdução: Apresenta o enquadramento do estudo, a formulação do problema de investigação, os objetivos a alcançar, a relevância do trabalho desenvolvido e a estrutura global da tese.
- Capítulo 2 – Revisão da Literatura: Explora os principais conceitos teóricos relacionados com Lean manufacturing, eliminação de desperdícios, balanceamento de linhas e ferramentas de apoio à decisão. São igualmente descritos os fundamentos da simulação de eventos discretos e do software Arena, bem como os modelos de decisão multicritério com especial destaque para o AHP.
- Capítulo 3 – Estudo de Caso: Caracteriza a empresa em análise, descrevendo o processo produtivo, os recursos disponíveis, os métodos atuais de planeamento e os problemas identificados. Apresenta também a formulação do problema industrial a resolver.
- Capítulo 4 – Propostas de Melhoria: Detalha as soluções concebidas para mitigar os problemas identificados, nomeadamente a redução de tempos de preparação, a criação de estação de apoio e adaptação da velocidade das linhas de produção.
- Capítulo 5 – Simulação no Arena: Explica o desenvolvimento dos modelos de simulação, desde a representação do estado atual até à implementação dos diferentes cenários propostos. Inclui a descrição dos módulos utilizados, os dados de entrada, a lógica de funcionamento e as hipóteses consideradas.
- Capítulo 6 – Análise e Discussão de Resultados: Analisa os resultados das propostas teóricas, apresenta e analisa os resultados obtidos através da simulação, comparando o desempenho entre os cenários propostos e o estado atual. São discutidos indicadores como o número de produções concluídas, o tempo médio de processamento, o tempo médio de espera e a taxa de utilização de operadores. De forma adicional, aplica-se o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para apoiar a seleção do cenário mais adequado, integrando critérios quantitativos e preferências qualitativas dos decisores.
- Capítulo 7 – Conclusões e Trabalho Futuro: Resume os principais contributos do estudo, as implicações práticas e académicas, e sugere investigação futura, como por exemplo, aprofundar o sequenciamento ótimo e de aplicar o modelo a diferentes contextos industriais.

1.6. Definição de Termos e Conceitos-Chave

Para garantir uma compreensão uniforme ao longo desta dissertação, apresentam-se de seguida alguns conceitos fundamentais que serão utilizados de forma recorrente:

- *Lean manufacturing*: Filosofia de gestão originada no Sistema Toyota de Produção que visa a criação de valor para o cliente através da eliminação sistemática de desperdícios e da melhoria contínua dos processos (Womack & Jones, 1996).
- Desperdício (Muda): Qualquer atividade que consome recursos (tempo, materiais, energia ou espaço) mas que não acrescenta valor do ponto de vista do cliente final (Ohno, 1988).
- Balanceamento de linhas: Processo de distribuição equilibrada das tarefas entre diferentes estações de trabalho, com o objetivo de minimizar tempos de espera, ociosidade e gargalos, aumentando a eficiência global da linha produtiva (Boysen et al., 2007).
- Simulação de eventos discretos (DES): Técnica de modelação que representa sistemas dinâmicos através da ocorrência de eventos discretos no tempo, permitindo analisar o comportamento e o desempenho de sistemas complexos em diferentes cenários (Banks et al., 2010).
- *Arena Simulation Software*: Ferramenta de simulação de eventos discretos que permite modelar processos, recursos, fluxos e materiais, sendo muito utilizada em estudos académicos e industriais de planeamento e otimização da produção (Kelton et al., 2010).
- Modelo Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA/MCDM): Conjunto de métodos que auxiliam na escolha ou ordenação de alternativas quando múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes, precisam ser considerados de forma integrada (Belton & Stewart, 2002).
- *Analytic Hierarchy Process (AHP)*: Método de decisão multicritério desenvolvido por Saaty (1980) que organiza problemas em hierarquias e atribui pesos relativos a critérios e alternativas com base em comparações par a par.

1.7. Âmbito e Limitações da Tese

O âmbito desta dissertação centra-se na otimização do plano de produção de uma empresa do setor dos brinquedos científicos e educativos, através da aplicação de metodologias de simulação de eventos discretos e da utilização do software Arena. O principal foco é a análise da utilização de recursos humanos, tempos de preparação e

balanceamento de linhas, de modo a reduzir desperdícios e aumentar a eficiência produtiva.

Este estudo abrange:

- A caracterização do processo produtivo da empresa em análise;
- A identificação das principais ineficiências e desperdícios existentes;
- O desenvolvimento de modelos de simulação que representam o estado atual e cenários alternativos de melhoria;
- A comparação entre cenários em termos de indicadores operacionais relevantes.

No entanto, existem algumas limitações:

- A análise está limitada a um único dia de produção representativo, o que pode não refletir totalmente a variabilidade observada ao longo de todo o ano;
- O modelo de simulação considera tempos médios de produção e de preparação, não contemplando variações estocásticas ou falhas inesperadas de equipamentos;
- Não são analisados em profundidade aspetos relacionados com custos logísticos, gestão de inventário ou cadeia de fornecimento, que também influenciam o desempenho global da empresa;
- O estudo concentra-se na otimização da alocação de operadores e tempos de produção, não abordando de forma detalhada questões relacionadas com o sequenciamento ótimo das ordens de produção, que poderão constituir objeto de trabalhos futuros.

1.8. Justificação da Abordagem Metodológica

A escolha da metodologia de investigação baseia-se na natureza do problema estudado, que envolve processos produtivos complexos, múltiplos recursos limitados e a necessidade de avaliar diferentes cenários de melhoria.

A simulação de eventos discretos foi selecionada como a principal abordagem metodológica, uma vez que permite representar de forma rigorosa o funcionamento do sistema produtivo, incluindo fluxos de materiais, utilização de operadores e tempos de preparação. Por sua vez, o software Arena foi escolhido por ser muito utilizado em contextos académicos e industriais, disponibilizando módulos flexíveis e uma interface que facilita a modelação de sistemas de manufatura.

Ao mesmo tempo, a dissertação recorre a conceitos do Lean manufacturing, que servem de base para identificar e categorizar desperdícios no processo produtivo, fornecendo uma estrutura teórica sólida para a proposta de melhorias.

A utilização de modelos de apoio multicritério à decisão (MCDA), com destaque para o AHP, justifica-se pela necessidade de avaliar cenários de melhoria com base em múltiplos critérios de desempenho, como número de produções concluídas, tempos de processamento, tempos de espera e taxa de utilização de operadores. Esta abordagem permite integrar juízos qualitativos e quantitativos, facilitando uma análise comparativa mais robusta e fundamentada.

Em síntese, a metodologia adotada combina simulação, princípios *Lean* e ferramentas de decisão multicritério, o que garante uma abordagem abrangente e alinhada com os objetivos de reduzir desperdícios, otimizar recursos e apoiar a tomada de decisão em contextos industriais.

2 Revisão da Literatura

2.1 Introdução ao *Lean manufacturing*

O *Lean manufacturing* é uma filosofia de gestão originada no *Toyota production system* (TPS), desenvolvido pela Toyota após a Segunda Guerra Mundial. Foi sistematizado por Taiichi Ohno, considerado o “pai do *Just-in-time*”, e posteriormente disseminado para outras indústrias. A sua difusão no Ocidente ocorreu através do estudo de Womack, Jones e Roos (1990) no livro *The Machine That Changed the World*, e foi aprofundada mais tarde em *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996), consolidando o *Lean* como uma abordagem de referência para a criação de valor e eliminação de desperdícios.

O *Lean* pretende criar valor para o cliente com o menor desperdício possível, otimizando os recursos, os processos e o tempo de resposta de toda a cadeia de valor.

Segundo Womack e Jones (1996), o *Lean* pode ser definido como “uma abordagem sistemática para identificar e eliminar desperdícios (atividades que não agregam valor), através da melhoria contínua, fluidez dos processos e envolvimento total das pessoas.” Esta abordagem é baseada na eliminação de tudo o que consome recursos, mas não gera valor para o cliente final.

O Sistema Toyota de Produção criou cinco princípios fundamentais para a filosofia de *Lean*, Figura 2.1. Para atingir o ponto 5 da Figura 2.1 é necessário identificar os desperdícios, sendo desperdício toda a atividade que consome recursos (tempo, materiais, energia, espaço) mas que não acrescenta valor do ponto de vista do cliente (Ohno, 1988; Womack & Jones, 1996).

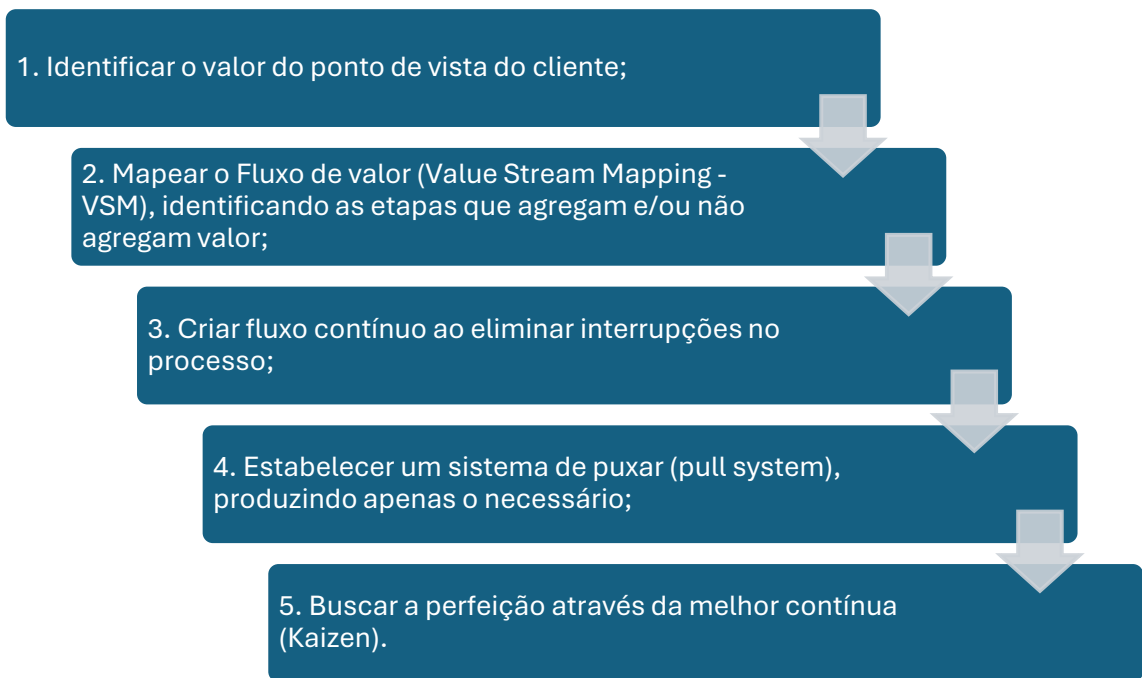


Figura 2.1 Cinco Princípios da Filosofia Lean

2.1.1. MUDA e Desperdícios

No contexto do *Toyota Production System* (TPS), o termo japonês Muda significa desperdício e refere-se a todas as atividades que consomem recursos, mas não acrescentam valor do ponto de vista do cliente (Ohno, 1988). O *Lean manufacturing* identifica sete tipos de desperdícios apresentados na Figura 2.2:

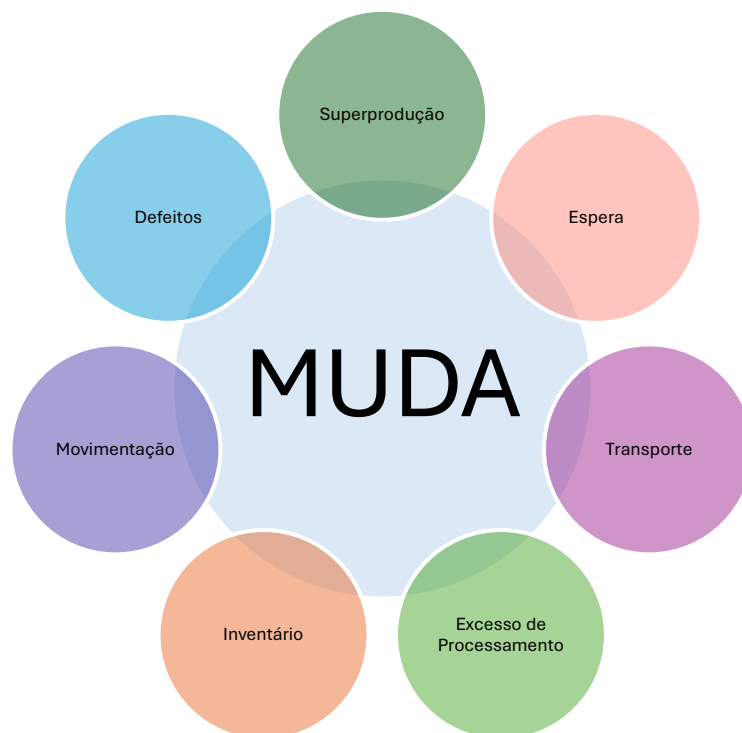


Figura 2.2 Os sete Desperdícios segundo o TPS

Na Figura 2.2 podemos ver os sete desperdícios, sendo eles:

- **Superprodução:** Produzir mais do que o necessário ou antes do momento certo. Este desperdício gera excesso de inventário, imobilização de recursos e risco de obsolescência.
- **Espera:** Períodos em que pessoas, máquinas ou materiais ficam inativos devido a atrasos, falta de sincronização ou falhas de planejamento.
- **Transporte:** Movimentações desnecessárias de produtos ou materiais que não acrescentam valor e aumentam o risco de danos, custos e atrasos.
- **Excesso de Processamento:** Realização de atividades adicionais ou controles redundantes que não são solicitados pelo cliente, resultando em desperdício de tempo, energia e materiais.
- **Inventário:** Acumulação excessiva de matérias-primas, semiacabados ou produtos finais, que aumenta custos de armazenagem, risco de deterioração e perda de controle.
- **Movimentação:** Movimentos desnecessários de pessoas ou equipamentos que prolongam tempos de execução e revelam falhas de organização no posto de trabalho.
- **Defeitos:** Produtos ou serviços que não cumprem os requisitos de qualidade e que exigem retrabalho para correção ou que acabam por ser descartados, aumentando custos e comprometendo a satisfação do cliente.

Tabela 2.1: Os setes desperdícios *Lean* com exemplos numa fábrica de brinquedos

| Desperdício | Definição | Exemplo Prático |
|--------------------------|---|--|
| Superprodução | Produzir mais do que o necessário ou antes do tempo certo. | Produzir 1000 Drones quando só existem encomendas confirmadas para 600, gerando stock parado. |
| Espera | Períodos de inatividade de pessoas, máquinas ou materiais | Operadores à espera que acabe uma produção noutra linha para conseguirem iniciar outra produção. |
| Transporte | Movimentações desnecessárias de produtos ou materiais. | Caixas de Drones transportadas várias vezes entre armazéns distantes antes da embalagem final. |
| Excesso de Processamento | Realização de tarefas adicionais que não acrescentam valor. | Colar manualmente as etiquetas das saquetas de amido de milho quando já é colada uma anteriormente, numa outra máquina, duplicando trabalho quando podia ser tudo feito numa única etiqueta. |
| Inventário | Acumulação excessiva de matérias-primas, semiacabados ou produtos finais. | Armazenar milhares de peças de puzzles sem previsão de venda, ocupando espaço e correndo risco de humidade. |
| Movimentação | Movimentos desnecessários de pessoas ou equipamentos. | Operadores que caminham longas distância para ir buscar peças pequenas por falta de organização no posto. |
| Defeitos | Produtos fora de especificação que exigem retrabalho ou sucata. | Brinquedos com falta de um componente que obrigam a reabrir as caixas e voltá-las a fechar, depois da inclusão do componente em falta. |

Anos mais tarde, outros autores como Hines & Taylor (2000) e George (2002) identificaram um Oitavo desperdício designado por subutilização do potencial humano que consiste no não aproveitamento das competências e do envolvimento dos colaboradores na melhoria dos processos.

Tabela 2.2: O Oitavo desperdício *Lean*: subutilização do potencial humano

| Desperdício | Definição | Exemplo Prático |
|-----------------------------------|--|---|
| Subutilização do potencial humano | Não aproveitar as competências, criatividade e envolvimento dos colaboradores na melhoria dos processos. | Operadores da linha de produção identificam que poderiam reorganizar o posto para reduzir movimentos, mas as suas sugestões nunca são consideradas pela gestão. |

Atualmente, o *Lean* não se aplica apenas à Indústria e à Produção: é aplicável ainda a Serviços, Logística, Saúde e Setores públicos.

Para combater estes desperdícios, o *Lean* recorre a diversas ferramentas que permitem reduzir perdas e aumentar a eficiência dos processos.

2.1.2. Eliminação de Desperdícios na Perspetiva *Lean*

A eliminação de Desperdícios consiste no principal objetivo da filosofia *Lean*. Ao contrário de outras abordagens de gestão em que o foco é apenas a produtividade ou a redução de custos, o *Lean*, por outro lado, procura eliminar sistematicamente todas as atividades que não acrescentam valor para o cliente. Esta lógica é muito importante, principalmente, em ambientes fabris onde pequenas ineficiências podem ter um impacto muito grande em termos de custos, prazos de entrega e qualidade (Ohno, 1988; Womack & Jones, 1996).

No entanto, a eliminação desses desperdícios requer a aplicação de ferramentas práticas, desenvolvidas no âmbito do *Toyota production system*, e posteriormente, disseminadas a nível global.

Estas ferramentas permitem atuar diretamente sobre as causas de ineficiência e criar condições para a melhoria contínua. Entre as mais relevantes destacam-se:

- **5S:** é um Sistema de Organização e padronização do ambiente de trabalho que visa aumentar a eficiência e facilita a deteção de anomalias. Baseia-se em cinco princípios japoneses: *Seiri* (Senso de Utilização: separar o necessário do desnecessário e eliminar o que não tem utilidade); *Seiton* (Senso de Organização: organizar os itens necessários de forma lógica e acessível); *Seiso* (Senso de Limpeza: manter o ambiente limpo e identificar fontes de sujidade e/ou anomalias); *Seiketsu* (Senso de Padronização: criação de regras e procedimentos visuais para manter a organização e a limpeza); e por fim, *Shitsuke* (Senso de Disciplina: criar hábitos, disciplina e responsabilidade para manter os 5S de forma contínua).
- ***Kaizen*:** é uma Filosofia de melhoria contínua com base em pequenas mudanças diárias que visa procurar melhorar um pouco os processos, de baixo custo, todos os dias, em vez de aguardar grandes mudanças de uma só vez que têm um impacto cumulativo elevado. O *Kaizen* pretende também que todos os colaboradores sejam envolvidos de forma a alcançar eficiência e qualidade a longo prazo.
- ***Kanban*:** é um Sistema visual de controlo de produção e dos fluxos de materiais, baseado no princípio do *pull system* (procura real). Permite que a produção seja regulada pela procura real, evitando a superprodução e o excesso de inventário.
- ***SMED (Single Minute Exchange of Die, Troca Rápida de Ferramentas em Minutos Únicos)*:** metodologia que foi criada por Shigeo Shingo que visa a redução drástica dos tempos de preparação ou mudança de máquina promovendo uma maior flexibilidade da produção. Este princípio consiste em distinguir as operações de tempos de preparação internas, que só podem ser

realizadas com a máquina parada, das externas, que podem ser executadas enquanto a máquina está em funcionamento (Shingo, 1985).

- **Poka-Yoke:** é um sistema de prevenção de erros, concebido para evitar ou detetar falhas antes que estas se transformem em defeitos. Pode assumir a forma de dispositivos físicos, sensores ou procedimentos que garantem a qualidade na origem.

Assim, a combinação entre a identificação dos desperdícios e aplicação destas ferramentas *Lean* permite às organizações otimizar os seus processos, aumentar a eficiência operacional, melhorar a qualidade e reforçar a satisfação dos clientes, enquanto promove uma cultura de envolvimento e disciplina no local de trabalho.

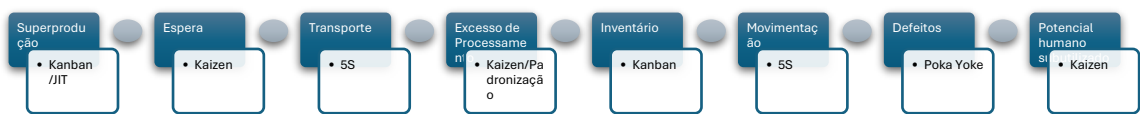


Figura 2.3 Relação entre Desperdícios Lean e as Ferramentas

Em ambientes fabris é muito comum encontrar vários tipos de desperdícios num único processo. Por exemplo, tempos de espera muito altos entre operações podem estar associados a lotes de produção demasiado grandes, os quais, por sua vez, despoletam mais transporte e mais inventário. A aplicação do *Lean* implica, por isso, uma análise sistémica e integrada que procura atuar sobre as causas dos problemas em vez de se limitar a tratar os sintomas.

A identificação e redução dos desperdícios é essencial, principalmente, em ambientes fabris onde os recursos são limitados e a procura do mercado é cada vez mais exigente. A eliminação de perdas permite melhorar os indicadores operacionais, tais como: lead time, produtividade, taxa de defeitos bem como aumentar a resiliência e a capacidade de adaptação da organização.

Além disso, esta cultura de combate ao desperdício incentiva a participação ativa dos trabalhadores, o que promove a melhoria do ambiente de trabalho e contribui para a sustentabilidade do sistema produtivo a longo prazo.

2.1.3. Balanceamento de linhas de Produção

O balanceamento de linhas de produção consiste na distribuição equilibrada das tarefas entre diferentes postos de trabalho ou estações de uma linha, de forma a minimizar tempos de espera, reduzir gargalos e maximizar a utilização dos recursos disponíveis. O objetivo central é alinhar a capacidade produtiva de cada estação com o *takt time*, ou seja, o ritmo necessário para atender à procura do cliente garantindo um fluxo contínuo e eficiente (Scholl, 1999).

De acordo com Becker e Scholl (2006), um dos principais indicadores utilizados na avaliação do balanceamento é a eficiência da linha (E), que pode ser expressa pela relação entre o tempo efetivamente produtivo e o tempo total disponível:

$$E = \frac{\sum T_i}{n \cdot C} \times 100 \quad (2.1)$$

Onde T_i representa o tempo de execução da tarefa i , n o número de estações e C o tempo de ciclo da linha. Quanto mais próximo de 100%, maior é o nível de aproveitamento da capacidade instalada.

O balanceamento adequado permite reduzir desperdícios relacionados com espera, movimentação desnecessária e sobrecarga de operadores, enquanto aumenta a flexibilidade da produção. Contudo, trata-se de um problema de elevada complexidade combinatória, sendo frequente a necessidade de recorrer a métodos de otimização ou ferramentas de simulação para encontrar soluções eficientes (Boysen, Fliedner & Scholl, 2007).

No contexto do *Lean manufacturing*, o balanceamento de linhas assume particular importância, pois constitui um dos mecanismos fundamentais para garantir o fluxo contínuo e a eliminação de perdas. A sua correta implementação possibilita ganhos significativos em termos de produtividade, lead time e capacidade de resposta às variações de procura.

2.2. Introdução à Simulação

2.2.1. Conceito e evolução histórica da simulação

A simulação computacional é uma técnica que permite representar digitalmente o comportamento de sistemas reais, permitindo o estudo e a análise do seu desempenho em diferentes cenários. Trata-se de uma abordagem que ganhou importância a partir da segunda metade do século XX, sobretudo na área da simulação de eventos discretos (*Discrete-Event Simulation*, DES), utilizada para modelar sistemas nos quais o estado muda em instantes específicos como fábricas, linhas de produção, armazéns ou redes de transporte (Banks et al., 2010). Ao criar um modelo virtual, é possível analisar alternativas, identificar gargalos e testar soluções sem riscos para a operação real.

Após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu o desenvolvimento dos primeiros modelos de simulação, tal como a criação do *Lean*, este desenvolvimento está associado à crescente complexidade dos sistemas industriais e logísticos. Nos anos 1950, foram desenvolvidos os primeiros algoritmos de simulação estocástica, com destaque para o

método de Monte Carlo, que foi usado em várias aplicações militares e de investigação científica (Metropolis & Ulam, 1949).

Foi durante as décadas de 1960 e 1970, que surgiram as primeiras linguagens de programação específicas para a simulação como o *General Purpose Simulation System* (GPSS) que foi desenvolvida por Geoffrey Gordon na IBM em 1961. Em 1967 foi criada, por Ole-Johan Dahk e Kristen Nygaard, a primeira linguagem orientada a objetos com o nome SIMULA. Estas ferramentas permitiram que a simulação se expandisse do meio académico para aplicações práticas nas indústrias (Pidd, 2004).

Nos anos 1980 com a propagação dos computadores pessoais, os softwares de simulação tornaram-se mais acessíveis e amigáveis, deixando de estar restritos a especialistas em programação. Devido a esse avanço foi permitido que a simulação tivesse uma grande expansão e funcionasse como ferramenta de apoio à decisão em múltiplos setores.

2.2.2. Tipos de modelos de simulação

Os modelos de simulação podem ser classificados em diferentes categorias consoante a forma como representam a evolução do sistema ao longo do tempo. As duas tipologias mais comuns são a simulação contínua e a simulação de eventos discretos (*Discrete-Event Simulation, DES*).

- Simulação Contínua

É quando o estado do sistema evolui de forma ininterrupta no tempo, sendo geralmente descrito através de equações diferenciais. Este tipo de abordagem é especialmente adequado para modelar fenómenos físicos em que as variáveis sofrem alterações contínuas como a variação de temperatura, pressão, velocidade de um fluido ou níveis de líquidos em reservatórios. Por exemplo, num processo de aquecimento industrial, a evolução da temperatura pode ser modelada como uma função contínua do tempo (Law & Kelton, 2000).

- Simulação Discreta

Por outro lado, esta simulação caracteriza-se pelo facto de o estado do sistema apenas se alterar em instantes específicos correspondentes à ocorrência de evento. Entre estes eventos, o sistema permanece inalterado. Exemplos típicos incluem a chegada de clientes a uma fila de atendimento, a conclusão de uma operação numa máquina ou a entrada de uma nova ordem de produção numa fábrica. Este tipo de simulação é bastante utilizado em contextos industriais e logísticos, isto porque permite representar com elevado detalhe processos como linhas de produção, movimentação de materiais ou sistemas de transporte (Banks et al., 2010).

A distinção entre simulação contínua e discreta é essencial para a escolha do método de modelação mais adequado a cada problema. Enquanto os modelos contínuos são mais apropriados para sistemas físicos, os modelos de eventos discretos são escolhidos quando o objetivo é analisar fluxos de entidades e a utilização de recursos ao longo de processos produtivos ou de serviços. Neste enquadramento, ferramentas como o Arena Simulation destacam-se pela sua capacidade de representar de forma intuitiva e detalhada sistemas baseados em eventos discretos, razão pela qual têm sido amplamente aplicadas tanto na investigação como na prática industrial.

2.2.3. Metodologia do estudo em simulação

A utilização da simulação como ferramenta de apoio à decisão exige que o processo de construção do modelo seja realizado de forma estruturada e sistemática. De acordo com Law & Kelton (2000) e Banks et al. (2010), um estudo de simulação deve seguir um ciclo metodológico que assegura a validade e a utilidade dos resultados.

O primeiro passo consiste na definição do problema e dos objetivos do estudo, clarificando quais as questões que se pretendem responder (por exemplo, avaliar tempos de espera, dimensionar recursos ou testar políticas de produção). Segue-se a construção de um modelo conceptual, que representa o sistema real de forma simplificada, identificando entidades, recursos, fluxos e relações fundamentais.

Numa terceira fase procede-se à recolha e análise de dados, fundamentais para caracterizar corretamente os parâmetros do modelo, tais como tempos de processamento, padrões de chegada de entidades e taxas de falhas. Estes dados permitem selecionar ou ajustar distribuições estatísticas que reflitam a variabilidade do sistema.

Após a formulação conceptual, desenvolve-se o modelo computacional numa ferramenta de simulação, como por exemplo o Arena. Nesta etapa é essencial aplicar dois procedimentos distintos: a verificação, que consiste em assegurar que o modelo foi corretamente implementado no software, e a validação que avalia se o modelo representa adequadamente o comportamento do sistema real.

Após a validação, começa a fase de experiência, onde se testam os diferentes cenários, políticas ou parâmetros, de forma a analisar alternativas e avaliar o impacto das decisões. Por fim, procede-se à análise dos resultados, interpretando as estatísticas recolhidas e retirando conclusões que possam apoiar a tomada de decisão.

Assim, a adoção desta metodologia garante que a simulação é conduzida como um processo científico em que cada etapa contribui para a credibilidade e utilidade prática do estudo.

2.2.4. Boas práticas na análise de resultados

A fiabilidade dos resultados obtidos através da simulação depende não apenas da construção adequada do modelo, mas também da forma como os resultados são analisados e interpretados. Por esse motivo é necessário adotar algumas boas práticas que asseguram a robustez estatística e validade das conclusões.

Um dos aspetos mais cruciais é a definição de um período de aquecimento (*warm-up period*) porque muitos modelos de simulação começam em condições artificiais (por exemplo, sem entidades em fila ou sem inventário), e sendo assim, os primeiros instantes de execução podem não refletir o comportamento real do sistema. Desta forma, é recomendado que estes dados iniciais sejam desconsiderados, de forma a evitar distorções nas estatísticas finais (Law & Kelton, 2000).

Outro procedimento fundamental é a realização de réplicas independentes. Ao repetir a simulação várias vezes, com diferentes números aleatórios gerados, obtêm-se resultados que captam a variabilidade inerente ao sistema. Este processo permite avaliar a consistência dos indicadores de desempenho e evita conclusões baseadas em execuções isoladas (Banks et al., 2010).

Além disso, a interpretação dos resultados deve ser feita com recurso a médias acompanhadas de medidas de dispersão (como o desvio padrão) e intervalos de confiança em vez de valores únicos. Este cuidado estatístico garante que as conclusões não se baseiem em flutuações aleatórias, mas refletem tendências consistentes do sistema simulado.

2.2.5. Origem do desenvolvimento do Arena

O *Arena Simulation* é um software de simulação de eventos discretos desenvolvido originalmente pela *Systems Modeling Corporation*, fundada por C. Dennis Pedgen, considerado um dos pioneiros no desenvolvimento de linguagens e ferramentas de simulação. Antes do Arena, Pedgen já havia desenvolvido linguagens como o SIMAN (*Simulation Analysis*), que consiste numa linguagem de simulação computacional de uso geral, aplicado em modelos discretos ou contínuos, que serviu de base ao funcionamento do Arena (Pedgen, Shannon & Sadowski, 1995).

Em 1993, foi lançada a primeira versão do Arena com o objetivo de fornecer uma plataforma mais flexível e intuitiva do que as ferramentas anteriores. Ao invés das linguagens tradicionais baseadas em código, o Arena introduziu uma interface gráfica baseada em módulos de blocos de construção (*drag and drop*) que permitia aos utilizadores criar modelos de forma mais intuitiva e acessível, reduzindo a necessidade

de conhecimentos avançados de programação, por parte dos utilizadores (Kelton, Sadowski & Zupick, 2015).

Em 2000, a *Systems Modeling Corporation* foi adquirida pela *Rockwell Automation* que tem mantido o desenvolvimento e a comercialização do Arena, consolidando-o como um dos softwares de simulação mais utilizados mundialmente seja em contexto académico seja em contexto industrial.

Atualmente, o Arena mantém-se como uma das ferramentas de referência na área da simulação de eventos discretos, combinando a flexibilidade da linguagem SIMAN com uma interface gráfica moderna e orientada ao utilizador.

2.2.6. Importância e aplicações atuais

Nos dias de hoje, o Arena é utilizado em vários setores como manufatura, logística, saúde, transportes e serviços, devido à sua capacidade de representar de forma detalhada e flexível processos complexos. Através da simulação, é possível testar alternativas sem risco para o sistema real, identificar gargalos, dimensionar recursos e apoiar a tomada de decisões estratégicas e operacionais (Kelton, Sadowski & Zupick, 2015).

Apesar de o Arena ter muitas vantagens, estas são as que mais se destacam:

- Possibilidade de realizar análises estatísticas completas sobre o desempenho dos sistemas (tempos de espera, utilização de recursos, níveis de inventário).
- Ter a capacidade de testar diferentes cenários de forma segura, permitindo avaliar layouts alternativos, políticas de produção ou estratégias de alocação de recursos, sem que haja interrupções no sistema real.
- Apoio à tomada de decisão estratégica e operacional, permitindo otimizar layouts, dimensionar recursos e avaliar políticas de produção.

O Arena, no contexto académico, é utilizado como ferramenta de ensino e investigação, dada a sua versatilidade e facilidade de utilização, sendo considerado um dos softwares de referência na área da simulação de eventos discretos (Kelton, Sadowski & Zupick, 2015).

A evolução da simulação desde as primeiras linguagens específicas até ao desenvolvimento de plataformas gráficas como o Arena, reflete a crescente importância desta abordagem como suporte à otimização e à melhoria contínua de processos, tal como os princípios da filosofia *Lean* defende.

2.2.7. Terminologia básica da simulação

Para a construção de modelos de simulação de eventos discretos, como é o caso do Arena, é necessária a compreensão de uma terminologia específica que permita descrever de forma clara e consistente os elementos que compõem o sistema em análise. Entre os principais conceitos destacam-se entidades, recursos, filas, atributos, variáveis, eventos e estatísticas, que constituem a base de qualquer modelação (Law & Kelton, 2000; Banks et al., 2010). O domínio desta terminologia é fundamental para a interpretação e análise de modelos de simulação.

- **Entidades**

São os objetos que circulam pelo sistema, ou seja, representam os elementos reais como por exemplo: clientes, produtos, ordens de produção, entre outros. No Arena, as entidades são criadas, percorrem um conjunto de processos e, eventualmente, saem do sistema. Cada entidade pode ainda ter atributos.

Exemplo: cada brinquedo (carrinho, puzzle, boneco) corresponde a uma entidade no modelo.

- **Atributos**

São as características individuais que estão associadas a cada entidade, que influenciam o seu comportamento. Os atributos podem ser qualitativos (por exemplo: tipo de produto) ou quantitativos (por exemplo: tempo de chegada, prioridade).

Exemplo: um atributo pode indicar se a entidade corresponde a um puzzle ou a um carrinho.

- **Recursos**

Os recursos representam os elementos que são necessários para processar as entidades, podem ser máquinas, operadores, veículos ou ferramentas. A disponibilidade ou ocupação dos mesmos condiciona diretamente o fluxo das entidades, podendo originar esperas e filas.

Exemplo: um operador da linha de produção.

- **Filas (Queues)**

São os locais de espera onde as entidades permanecem até que os recursos estejam disponíveis para serem processadas. Estas podem obedecer a diferentes regras de prioridades, sendo que o princípio mais comum é o FIFO (*First In, First Out*), ou seja, a primeira entidade a entrar é a primeira a ser atendida.

Exemplo: fila de brinquedos à espera de passarem para a próxima estação.

- **Processos**

Os processos representam as atividades centrais pelas quais as entidades passam ao longo do seu percurso no sistema. Um processo é constituído por um conjunto de operações que transformam ou acrescentam valor às entidades envolvendo normalmente a utilização de recursos e, muitas vezes, a formação de filas de espera.

Assim, os processos são a base do funcionamento de qualquer modelo, pois descrevem a dinâmica entre entidades, recursos e eventos (Banks et al., 2010).

Os processos podem ser caracterizados por três elementos fundamentais: atividades, recursos e tempos de processamento, onde as atividades correspondem à ação a ser realizada sobre a entidade, os recursos são os meios necessários para a sua execução (máquinas, operadores, ferramentas), e os tempos de processamento indicam a duração da tarefa, sendo que cada processo tem, normalmente, valores únicos correspondentes ao cenário que está a ser analisado. Estes tempos podem ser fixos ou definidos através de distribuições estatísticas para que seja refletida a variabilidade existente no sistema real (Law & Kelton, 2000).

Os processos podem ocorrer de forma sequencial quando uma atividade sucede a outra em ordem lógica ou em paralelo quando diferentes atividades ocorrem simultaneamente em fluxos distintos. Em ambos, a execução dos processos está condicionada pela disponibilidade dos recursos, sempre que os recursos estão ocupados as entidades aguardam em filas, o que permite analisar indicadores como tempos médios de espera e níveis de utilização.

Exemplo: montagem de um Drone com um tempo de operação variável entre 2 a 4 minutos.

- **Variáveis**

As variáveis são os elementos globais do modelo que armazenam as informações que não pertencem a uma entidade específica, mas ao sistema como um todo, como por exemplo o número total de produtos produzidos ou o tempo acumulado de utilização de uma máquina.

Exemplo: número total de brinquedos produzidos num dia.

- **Eventos**

Os eventos são as ocorrências que alteram o estado do sistema, tais como a chegada de uma nova entidade, o início de um processamento ou a finalização de uma operação. Na simulação de eventos discretos, o sistema apenas sofre alterações aquando da ocorrência destes eventos.

Exemplo: chegada de uma nova ordem de puzzles à linha de produção.

- **Estatísticas**

São os resultados obtidos a partir da execução da simulação que permiti avaliar o desempenho do sistema. Nas Estatísticas conseguimos ver o tempo médio de espera das entidades, a taxa de utilização dos recursos ou o número de ordens concluídas. A análise destas estatísticas é essencial para a tomada de decisão e propor melhorias.

Exemplo: tempo médio de espera dos brinquedos em fila ou taxa de utilização dos operadores.

2.2.8. Principais distribuições estatísticas utilizadas em simulação

Como referido no ponto 2.2.1, a simulação de eventos discretos procura representar o comportamento real dos sistemas, os quais apresentam frequentemente variabilidade nos tempos de chegada, de processamentos e nas diversas características das entidades. Para representar esta variabilidade, recorre-se a distribuições estatísticas de probabilidade que permitem modelar de forma mais fiel, possível, o desempenho do sistema. A Escolha da distribuição mais adequada depende do tipo de processo em estudo e da disponibilidade de dados (Law & Kelton, 2000; Banks et al., 2010).

As distribuições que são mais comuns de serem utilizadas são:

- Distribuição Exponencial

É muito frequente ser utilizada para modelar tempos entre chegadas de clientes ou ordens. Uma caracterizada por ser uma distribuição “sem memória”, ou seja, a probabilidade de ocorrer um novo evento não depende do tempo já decorrido.

Exemplo: tempo entre a chegada de novos pedidos de brinquedos à fábrica.

- Distribuição Normal ou Gaussiana

É aplicada em situações em que as variáveis se distribuem em torno de uma média, normalmente utilizada para tempos de processamento ou medições físicas que apresentam pequenas variações.

Exemplo: tempo de montagem de um carrinho, com média de 5 minutos e pequena variabilidade.

- Distribuição Triangular

É usada quando não existem muitos dados estatísticos, mas conhecem-se os valores mínimos, máximo e mais provável. É comum ser utilizada em estimativas de engenharia como tempos de montagem.

Exemplo: tempo de encher frascos de corantes, variando entre 2 (mínimo), 5 (máximo) e 3 minutos (mais provável).

- Distribuição Uniforme

É utilizada em contextos em que existe uma elevada incerteza ou quando não há dados suficientes para ajustar outra distribuição, isto porque esta distribuição assume que todos os valores dentro de um intervalo têm a mesma probabilidade de ocorrer.

Exemplo: tempo de espera entre a preparação da linha que pode variar aleatoriamente entre 10 a 20 minutos.

- Distribuição Discreta (*Discrete*)

Esta distribuição é particularmente revelante quando se pretende modelar diferentes tipos de produtos, clientes ou ordens de produção, atribuindo a cada categoria uma probabilidade de ocorrência, isto porque permite representar variáveis categóricas ou discretas em que o utilizador define especificamente os valores possíveis e as respetivas probabilidades de ocorrência. No Arena é muito comum ser utilizada em

módulos como o Assign/Attribute permitindo diferenciar as entidades de acordo com características específicas.

Exemplo: proporção de ordens de produção: 40% jogos, 35% puzzles e 25% slimes.

Assim, o uso de distribuições estatísticas adequadas garante que o modelo reflète a variabilidade e a incerteza presentes no sistema real, aumentando assim a credibilidade e utilidade dos resultados obtidos.

2.2.8.1. Distribuição Discreta (*Discrete*)

A distribuição discreta é uma das distribuições mais utilizadas em modelos de simulação dado que permite representar variáveis categóricas ou discretas, cujo valores possíveis são previamente definidos pelo utilizador assim como as respetivas probabilidades de ocorrências. Ao contrário das distribuições contínuas em que a variável pode assumir qualquer valor dentro de um intervalo, na discreta a variável assume apenas um conjunto limitado de valores, cada um associado a uma probabilidade (Law & Kelton, 2000).

No contexto da simulação de eventos discretos, esta distribuição é muito relevante quando se pretende modelar tipos de produtos, ordens ou clientes que surgem no sistema de acordo com diferentes frequências. Por exemplo, numa fábrica podem ser produzidos três tipos de artigos – jogos, puzzles, slimes -, sendo possível definir que as ordens de produção correspondem a 40%, 35% e 25% do total, respetivamente. A distribuição discreta traduz, assim, esta lógica de variabilidade categórica dentro do modelo (Banks et al., 2010).

No *Arena Simulation*, a distribuição *Discrete* é frequentemente utilizada em módulos como o Assign ou o Attribute permitindo atribuir características específicas às entidades logo à sua entrada no sistema ou em pontos estratégicos. Desta forma, cada entidade pode seguir trajetórias diferenciadas de acordo com a sua categoria, refletindo assim a realidade e diversidade do sistema (Banks et al., 2010).

2.2.9. Módulos básicos do Arena para modelação de sistemas

O *Arena Simulation* organiza a construção de modelos através da utilização de módulos gráficos que representam as diversas atividades, decisões e fluxos de um sistema. Estes módulos são a base da modelação de eventos discretos permitindo transformar o processo real num modelo virtual passível de análise e experimentação. Entre os diferentes blocos disponíveis no Arena, destacam-se os módulos básicos, considerados essenciais para a criação de qualquer modelo (Kelton, Sadowski & Zupick, 2015).

Entre os módulos básicos mais relevantes destacam-se:

- Create: Responsável pela criação das entidades que entram no sistema.

Exemplo: criação de ordens de produção para jogos, puzzles e slimes.

- Assign: Atribui atributos ou variáveis às entidades, como o tipo de produto, prioridade ou tempo de chegada.

Exemplo: definir que 40% das entidades criadas são jogos, 35% puzzles e 25% slimes, usando a distribuição *Discrete*.

- Decide: Representa pontos de decisão ou ramificação do fluxo, que pode basear-se em condições lógicas ou probabilidades.

Exemplo: decidir se um brinquedo segue para uma estação de apoio ou segue diretamente para a estação principal.

- Process: Descreve atividades que transformam ou acrescentam valor às entidades utilizando recursos e tempos de operação.

Exemplo: montagem de um componente numa estação de trabalho com tempo de processamento variável.

- Record: Regista as estatísticas sobre o desempenho do sistema, como tempos de espera, número de entidades processadas ou utilização de recursos.

Exemplo: medir o tempo médio de espera das ordens antes de entrarem na linha de produção.

- Dispose: Representa a saída das entidades do sistema, ou seja, o ponto final do processo.

Exemplo: expedição dos brinquedos concluídos para o armazém ou cliente.

Além destes módulos fundamentais, o Arena disponibiliza ainda módulos auxiliares que permitem detalhar comportamentos específicos, tais como:

- Batch/Separate: Agrupam ou desagregam entidades.

Exemplo: agrupar peças individuais de um puzzle numa única embalagem.

- Hold/Release: Retêm entidades até que uma determinada condição seja satisfeita.

Exemplo: manter brinquedos em inspeção até que haja disponibilidade do operador.

- Route: Permite movimentar entidades entre diferentes partes do modelo, representando transporte ou fluxos logísticos.

Exemplo: envio de carrinhos montados da área de produção para secção de pintura.

- Resource: Define recursos (máquinas, operadores) que podem ser alocados em diferentes processos.
- Queue: Representa filas onde entidades aguardam pela disponibilidade de recursos.
- Schedule: Permite programar variações de parâmetros ao longo do tempo, como a disponibilidade de recursos, taxas de chegada ou tempos de processamento.

Exemplo: definir os turnos de operadores da fábrica de brinquedos (8h-12h, 13h-17h) ou variar a taxa de chegada de ordens ao longo do dia.

Assim, os módulos do Arena constituem a base da modelação de eventos discretos, permitindo representar desde a criação de entidades até à sua conclusão no sistema, incorporando decisões, recursos e estatísticas de desempenho.

2.2.10. Limitações da simulação

Apesar das inúmeras vantagens da simulação na análise e otimização de sistemas complexos, importa reconhecer que existem limitações inerentes a esta abordagem. Em primeiro lugar, a construção de modelos de simulação pode ser um processo moroso e exigente, que requer tempo, conhecimento técnico e familiaridade com o sistema real (Law & Kelton, 2000).

Outro fator crítico é a dependência da qualidade dos dados. A simulação só é tão realista quanto os dados que a alimentam, e dados incompletos, desatualizados ou incorretos podem comprometer a validade dos resultados (Banks et al., 2010).

Além disso, modelos de simulação tendem a ser simplificações da realidade, ou seja, existem determinadas variáveis ou interações que podem não estar representadas. Isto pode levar a discrepâncias entre o comportamento do sistema real e a sua representação visual, principalmente em ambientes de elevada incerteza.

Por último, a interpretação dos resultados exige cautela. Estatísticas como médias e intervalos de confiança fornecem indicações valiosas, mas não eliminam a incerteza. A tomada de decisão baseada em simulação deve ser complementada com outras análises e com o conhecimento dos especialistas do sistema em estudo.

Assim, embora a simulação seja uma ferramenta poderosa de apoio à decisão, esta deve ser encarada como uma parte de um processo integrado de análise e melhoria contínua, e não como uma solução isolada.

2.3. Modelos de decisão multicritério

Normalmente nos contextos empresariais e industriais, os decisores enfrentam situações em que é necessário avaliar simultaneamente múltiplos fatores, muitas vezes conflitantes entre si. Nesses casos, a análise unidimensional baseada apenas num critério, como o custo ou o tempo, revela-se insuficiente para sustentar uma decisão robusta e fundamentada. Desta forma, surge a necessidade dos Modelos de decisão multicritério (MCDM/MCDA – *Multi-criteria decision Making/Analysis*) que são um conjunto de métodos destinados a apoiar a tomada de decisão em problemas que envolvem diversas alternativas avaliadas de acordo com múltiplos critérios.

Segundo Belton e Stewart (2002), a análise multicritério fornece uma estrutura explícita e transparente para organizar a informação, identificar compromissos (*trade-offs*) e tornar as preferências do decisor mais claras e consistentes. O objetivo principal dos MCDM consiste em integrar tanto dados quantitativos como juízos qualitativos,

atribuindo pesos relativos aos critérios e agregando-os numa avaliação global das alternativas.

Os modelos multicritério são aplicados em diferentes contextos: seleção de fornecedores, escolha de tecnologias de produção, definição de layouts industriais, planeamento logístico, gestão ambiental, entre outros. No geral, podem levar a distintos resultados tais como:

- Ordenação (ranking) das alternativas;
- Seleção da melhor alternativa;
- Classificação em categorias (aceitar/rejeitar; análise ABC);
- Identificação de compromissos entre soluções (Keeney & Raiffa, 1993; Roy, 1996).

A aplicação da análise multicritério normalmente segue um processo estruturado composto por sete etapas principais:

- 1) Definição do problema e do objetivo da decisão;
- 2) Identificação das alternativas em avaliação e especificação dos critérios relevantes;
- 3) Atribuição de pesos ou importâncias relativas aos critérios de acordo com as preferências do decisor;
- 4) Avaliação do desempenho de cada alternativa relativamente a cada critério;
- 5) Agregação do desempenho de cada alternativa relativamente a cada critério;
- 6) Agregação dos desempenhos e pesos através de um modelo matemático específico;
- 7) Análise de sensibilidade e validação dos resultados junto dos *stakeholders* (Hwang & Yoon, 1981; Belton & Stewart, 2002).

Entre as vantagens da utilização de modelos multicritério destacam-se a capacidade de tornar o processo de decisão mais explícito, rastreável e justificável integrando diferentes perspetivas e facilitando o consenso em decisões de grupo. No entanto, apresentam também algumas limitações, nomeadamente a subjetividade associada à atribuição de pesos e julgamentos, a possibilidade de diferentes métodos conduzirem a resultados distintos e a dependência da qualidade dos dados disponíveis (Belton & Stewart, 2002).

2.3.1. Principais métodos de apoio multicritério à decisão

Ao longo das últimas décadas foram desenvolvidos vários métodos de apoio à decisão multicritério, cada um com diferentes fundamentos matemáticos e aplicações práticas. Entre os mais relevantes destacam-se o *AHP (Analytic Hierarchy Process)*, o *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)*, os métodos de sobreclassificação como o *ELECTRE* e o *PROMETHEE*, e ainda a *MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)*.

O AHP foi desenvolvido por Saaty (1980), o AHP organiza o problema de decisão numa hierarquia (objetivo→critérios→alternativas) e utiliza comparações par a par entre os elementos, segundo uma escala relativa de 1 a 9. Através do cálculo do autovetor principal, obtêm-se os pesos de cada critério e a prioridade de cada alternativa. Uma das vantagens do método é a sua simplicidade e a possibilidade de verificar a consistência lógica dos julgamentos, assegurando maior robustez à decisão (Saaty, 1990).

O TOPSIS foi proposto por Hwang e Yoon em 1981, este parte do princípio de que a melhor alternativa deve apresentar a menor distância em relação à solução ideal positiva (melhor desempenho em todos os critérios) e a maior distância da solução ideal negativa (pior desempenho em todos os critérios). A sua principal vantagem é a clareza matemática e na facilidade de implementação, no entanto, os resultados podem ser influenciados pelo tipo de normalização aplicada aos dados.

O ELECTRE surgiu nas décadas de 1960 com Bernard Roy, este método pertence à família dos métodos de sobreclassificação que avalia pares de alternativas através de índices de concordância (critérios a favor da preferência) e discordância (critérios contra). A principal vantagem deste método é a capacidade de lidar com critérios em conflito e de identificar subconjuntos de alternativas aceitáveis sem impor uma ordenação total. No entanto, a sua aplicação exige maior complexidade computacional e definição de parâmetros adicionais, o que pode dificultar a interpretação dos resultados.

O PROMETHEE foi criado por Brans e Vincke em 1985, este também se baseia na sobreclassificação, mas recorre a funções de preferência específicas para cada critério. O método calcula fluxos positivos e negativos que podem ser combinados num fluxo líquido, permitindo uma ordenação parcial ou completa das alternativas. As suas principais vantagens são a flexibilidade de realizar análises de sensibilidade. Por outro lado, a escolha das funções de preferência possa introduzir subjetividade adicional.

Por fim, a MAUT ou Teoria da Utilidade Multiatributo tem origem nos trabalhos de Keeney e Raiffa em 1993 e baseia-se na teoria da utilidade de von Neumann e Morgenstern. Este método procura modelar matematicamente as preferências do decisor através de funções de utilidade associadas a cada critério, agregando-as numa medida global. É um método robusto e com forte fundamentação teórica, mas a recolha das funções de utilidade pode ser complexa e exigir elevado esforço dos decisores.

A Tabela 2.3 apresenta uma síntese comparativa destes métodos, destacando os seus principais, vantagens, limitações e aplicações típicas.

Tabela 2.3: Comparação entre principais métodos de decisão multicritério

| Método | Princípio básico | Vantagens | Limitações | Aplicações típicas |
|-----------|--|--|---|---|
| AHP | Estrutura hierárquica com comparações par a par; cálculo de pesos e verificação de consistência. | Simples de aplicar; verifica consistência; incorpora preferências qualitativas e quantitativas; muito utilizado. | Julgamentos podem ser subjetivos; risco de rank reversal; limitado a problemas de dimensão média. | Seleção de fornecedores, priorização de projetos, avaliação de desempenho. |
| TOPSIS | A melhor alternativa é a mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da negativa. | Base matemática clara; fácil de implementar em software; gera ranking intuitivo. | Resultados dependem da normalização; não considera consistência dos julgamentos. | Avaliação de layouts, escolha de localizações, seleção tecnológica. |
| ELECTRE | Método de sobreclassificação; utiliza índices de concordância e discordância para comparar alternativas. | Lida bem com critérios em conflito; não exige ordenação total; adequado para problemas complexos. | Complexidade de cálculo; difícil interpretação; exige parâmetros adicionais. | Gestão ambiental, avaliação de riscos, problemas de aceitação/rejeição. |
| PROMETHEE | Método de sobreclassificação com funções de preferência; fluxos positivos/negativos. | Flexível; permite análises de sensibilidade; adequado para problemas de grupo. | Escolha das funções de preferência pode ser subjetiva; maior complexidade. | Avaliação de projetos, ordenação de estratégias, logística. |
| MAUT | Representa preferências através de funções de utilidade; utilidade global é soma ponderada. | Fundamento teórico sólido; permite modelar riscos e incerteza; muito robusto. | Difícil recolha de funções de utilidade; exige elevado esforço do decisor. | Planeamento estratégico, análise de investimentos, decisões de longo prazo. |

2.3.2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970 e apresentado de forma sistemática em *The Analytic Hierarchy Process* (Saaty, 1980). Trata-se de um dos métodos de decisão multicritério mais utilizado, devido à sua simplicidade, versatilidade e à capacidade de integrar tanto dados quantitativos como dados qualitativos que dependem dos decisores.

O AHP decompõe problemas complexos de decisão numa estrutura hierárquica, constituída por diferentes níveis: o objetivo global no topo; os critérios e subcritérios nos níveis intermédios e na base, as alternativas de decisão. Esta organização facilita a compreensão do problema e permite que os decisores comparem os elementos de forma sistemática.

A principal característica do AHP é a utilização de comparações par a par entre os elementos de cada nível da hierarquia relativamente ao nível imediatamente superior.

Para quantificar essas comparações, Saaty (1980) propôs a escala fundamental 1-9, apresentada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Escala fundamental de Saaty para comparações par a par

| Valor | Significado |
|------------|---|
| 1 | Igual importância |
| 3 | Importância moderada |
| 5 | Importância forte |
| 7 | Importância extrema |
| 2,4,6,8 | Valores intermédios |
| Recíprocos | Se $a_{ij}=x$, então $a_{ji}=1/x$; $a_{ii}=1$ |

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

O processo de aplicação do AHP pode ser descrito em cinco etapas principais:

1) Estruturação do problema

Definição do objetivo, critérios, subcritérios (se existirem) e alternativas, organizados numa hierarquia.

2) Construção das matrizes de comparação

Os elementos de cada nível são comparados dois a dois relativamente ao critério do nível superior. O resultado é a matriz quadrada $A = [a_{ij}]$, onde a_{ij} representa a importância relativa do elemento i face ao elemento j .

3) Cálculo dos pesos relativos

Os pesos de cada elemento são obtidos através do autovetor principal da matriz A . O autovetor normalizado fornece as prioridades relativas:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_j v_j} \quad (2.2)$$

onde v é o autovetor associado ao maior autovalor λ_{max} da matriz A .

Na prática, uma forma aproximada e muito usada é calcular a média geométrica das linhas da matriz, seguida de normalização.

4) Verificação da consistência

Como os julgamentos são subjetivos, o AHP introduz uma medida de consistência:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1} \quad (2.3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.4)$$

Onde n é a dimensão da matriz e RI é o *Random Index* (índice de consistência aleatória) definido por Saaty (1980). A decisão é considerada consistente se $CR < 0,10$.

5) Agregação das prioridades

Os pesos calculados em cada nível são propagados ao longo da hierarquia, permitindo obter as prioridades globais das alternativas e, conseqüentemente, o ranking ou a seleção da melhor opção.

Além destas etapas é recomendado realizar a análise de sensibilidade, onde os pesos dos critérios são alterados para avaliar a robustez da decisão. Em casos de decisões em grupos, os julgamentos individuais podem ser agregados através da média geométrica, preservando a reciprocidade das comparações (Saaty & Vargas, 2012).

2.3.2.1. Análise de sensibilidade no AHP

Uma etapa complementar à aplicação do AHP é a análise de sensibilidade cujo objetivo é avaliar o impacto das variações nos pesos dos critérios sobre a ordem final das alternativas. Este procedimento é particularmente relevante em contextos de incerteza onde os decisores podem não ter plena confiança nos valores atribuídos ou quando se pretende verificar a estabilidade da decisão perante diferentes cenários de preferências (Saaty & Vargas, 2012).

Para realizar a análise é necessário modificar sistematicamente os pesos dos critérios dentro de determinados intervalos e observar se ocorre alteração no ranking das alternativas. Por exemplo, caso a alternativa considerada inicialmente como melhor mantenha a sua posição de liderança em diferentes cenários de variação dos pesos, então a decisão é considerada robusta. No entanto, se pequenas alterações nos pesos conduzirem a uma mudança significativa na ordenação, a decisão apresenta fragilidade o que deve levar a ser analisada com mais cautela.

Atualmente, existem vários softwares especializados em AHP que incorporam módulos de análise de sensibilidade que visualmente graficamente as mudanças no ranking das alternativas, facilitando a interpretação dos resultados. Este tipo de análise contribui para aumentar a confiança, transparência e legitimidade do processo de decisão.

2.3.3. Vantagens e limitações do AHP

O AHP destaca-se entre os vários métodos multicritério pela sua simplicidade, flexibilidade e a boa aceitação tanto em contextos académicos como empresariais. Sendo que as principais vantagens apontadas pela literatura, destacam-se as seguintes:

- ↑ Possibilidade de estruturar problemas complexos de forma hierárquica, facilitando a compreensão e análise;
- ↑ A utilização de comparações par a par, que tornam o processo de atribuição de pesos mais intuitivo;
- ↑ A integração de informação quantitativa e qualitativa que permitem representar juízos de especialistas;
- ↑ A existência de um mecanismo de verificação da consistência lógica dos julgamentos que contribui para aumentar a robustez dos resultados (Saaty, 1980; Saaty, 1990).

Por outro lado, o método também apresenta algumas limitações, tais como:

- ↓ Julgamentos realizados pelos decisores que podem introduzir subjetividade e enviesamentos, principalmente em problemas de maior dimensão.
- ↓ Sofrer do fenómeno designado por rank reversal, em que a adição ou remoção de alternativas pode alterar a ordem de preferência previamente estabelecida.
- ↓ Outra limitação diz respeito à escalabilidade do método, ou seja, à medida que o número de critérios e alternativas aumenta cresce exponencialmente o número de comparações necessárias, o que pode tornar o processo moroso e complexo (Saaty & Vargas, 2012).

Em resumo, o AHP constitui uma ferramenta poderosa de apoio à decisão multicritério, especialmente adequada a problemas de média dimensão, onde a transparência do processo e a verificação de consistência são particularmente valorizadas. Apesar das limitações, a sua ampla utilização demonstra a relevância prática e académica do método.

3 Estudo de Caso

3.1. Caracterização da Empresa

A empresa em estudo dedica-se à conceção e produção de brinquedos científicos e educativos. Uma das principais missões da empresa é auxiliar pais e educadores na educação e na aprendizagem das crianças e adolescentes, utilizando os brinquedos como ferramentas, ou seja, a ideia é permitir que as crianças aprendam enquanto brincam, tornando o processo de ensino mais lúdico e envolvente.

A atividade da empresa é sazonal com um volume de trabalho significativamente maior a partir do Verão até a dezembro, este período é marcado pela preparação da campanha internacional de Natal e também do comércio nacional. Esta sazonalidade exige um planeamento cuidadoso de forma a atender à alta procura durante este período específico.

Atualmente, a empresa conta com uma equipa produtiva composta por 25 pessoas. Esses funcionários trabalham 8 horas por dia, totalizando 12 000 minutos por dia, cinco dias por semana. No entanto, para efeitos de planeamento considera-se 90% do tempo disponível dessas pessoas, ajustando assim o tempo total para 10 800 minutos por dia. Este ajuste é necessário para que sejam contabilizadas pausas e outras atividades que não são diretamente produtivas.

O planeamento da produção é realizado pela equipa de Planeamento, que organiza as produções conforme as necessidades do departamento comercial, atendendo às datas objetivo dos clientes, sejam eles clientes internos ou externos. O processo de planeamento começa, normalmente, pelo produto final (Figura 3.1), onde a data de produção é estabelecida de acordo com a data objetivo. Após esse planeamento são programadas as produções intermédias que devem ser realizadas alguns dias antes da produção final. Desta forma, a equipa de planeamento apresenta o plano de produção aos responsáveis pela produção, que, por sua vez, fazem o planeamento diário.

Este método de planeamento permite que a empresa maximize a sua eficiência e cumpra os prazos estabelecidos, garantindo que os brinquedos estejam finalizados para

serem comercializados durante o período de maior procura. A colaboração entre as equipas de planeamento e produção é essencial para o sucesso da empresa, permitindo um fluxo de trabalho organizado e eficiente que atende às expectativas dos clientes e mantém a qualidade dos produtos.

3.2. Caracterização do Processo Produtivo

Para que um brinquedo, designado daqui em diante como produto final, possa ser produzido é necessário que sejam realizadas produções de produtos semiacabados que podem passar por até seis estações, sendo que cada estação tem uma finalidade específica. As produções são realizadas de forma sequencial, no entanto, não implica que sejam necessariamente produzidas em sequência contínua, ou seja, uma referência que entra na estação 6 não significa que foi produzida no dia ou no momento imediatamente anterior, pode ter sido produzida vários dias antes da sua necessidade. A produção é planeada de acordo com a disponibilidade de operadores e tempo, levando em consideração a capacidade produtiva e a organização das tarefas.

As estações existentes nesta fábrica são as seguintes:

- Estação 1 – Enchimento de Sólidos: Nesta estação, ocorre o enchimento de frascos ou sacos com várias substâncias sólidas. Alguns exemplos dessas substâncias são: bicarbonato de sódio, areia, entre outras. O processo de enchimento é realizado de maneira precisa para garantir que cada frasco ou saco contenha a quantidade exata solicitada na lista técnica.
- Estação 2 – Enchimento de Líquidos: Como na Estação 1, esta estação também é de enchimento, mas o que difere é o conteúdo ser líquido. Alguns dos líquidos que podem ser cheios nesta estação são: corante vermelho, corante azul, base perfumada, entre outras. Este processo exige cuidado para evitar derrames e garantir que os frascos sejam selados corretamente após o enchimento.
- Estação 3 – É a estação onde são impressas as etiquetas a serem utilizadas na Estação 4 e 5.
- Estação 4 – Etiquetagem de Frascos: Os frascos que são cheios nas estações 1 e 2 são agora etiquetados nesta fase. Esta é uma operação muito importante pois garante que cada frasco esteja corretamente identificado com informações importantes tais como o conteúdo, instruções de uso, lotes e datas de validade.
- Estação 5 – Etiquetagem de Sacos: Nesta estação são etiquetados os sacos que são cheios na estação 1 bem como alguns componentes que vêm em sacos, mas de fornecedores externos cuja etiquetagem também é necessária, tais como saquetas de chá, saquetas de amido de milho, entre outras. Esta etapa assegura que todos os sacos estejam corretamente identificados com informações importantes.

- Estação 6 – Conteúdos: Nesta estação é produzido o que é denominado como produto intermédio e onde são colocados vários componentes dentro de uma cuvette, esta cuvette é então plastificada para proteger os componentes e segue para a Estação 8. Os componentes utilizados no produto intermédio podem ser componentes soltos como produtos que foram produzidos noutras estações anteriores. Esta etapa é fundamental para garantir que todos os elementos necessários sejam agrupados de forma organizada e permitindo que o produto final possa ficar mais organizado.
- Estação 7 – Reagentes: Esta estação é, maioritariamente, realizada numa máquina vertical onde é feito o embalamento de frascos provenientes da Estação 4. O embalamento é feito de maneira automatizada o que torna este processo mais eficiente e produtivo. Este processo garante que os frascos sejam protegidos adequadamente e preparados para garantir que caso haja uma falha no fecho dos frascos não haja contaminação para o produto final.
- Estação 8 – Produto final: Esta é a última fase, em que é efetuada a agrupação de todos os componentes necessários para a produção do brinquedo, é também nesta etapa que é montada a caixa do brinquedo e introduz-se o manual de instruções. A montagem final deve ser realizada com precisão de forma a garantir que o brinquedo tem todos os componentes que estão indicados na lista técnica e garantindo a qualidade do brinquedo.

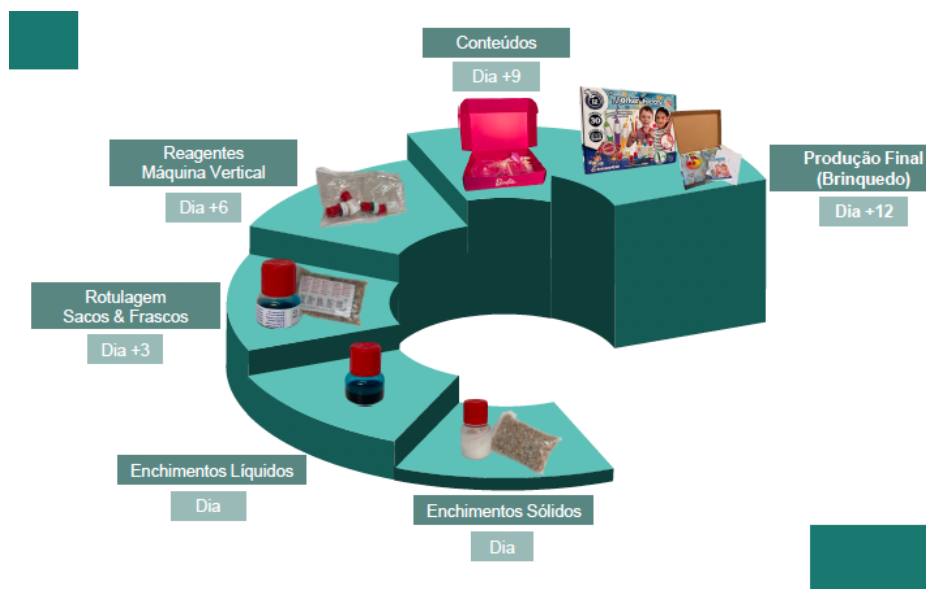


Figura 3.1 Ilustração das Estações de Produção

3.3. Planeamento Atual

Cada brinquedo ou referência possui uma lista técnica detalhada que especifica todos os componentes necessários para a produção. Esta lista técnica é fundamental para

garantir a precisão e qualidade na produção dos produtos. Na Figura 3.2 podemos ver o exemplo de uma referência, onde é possível ver a lista técnica da Fábrica de Papel.

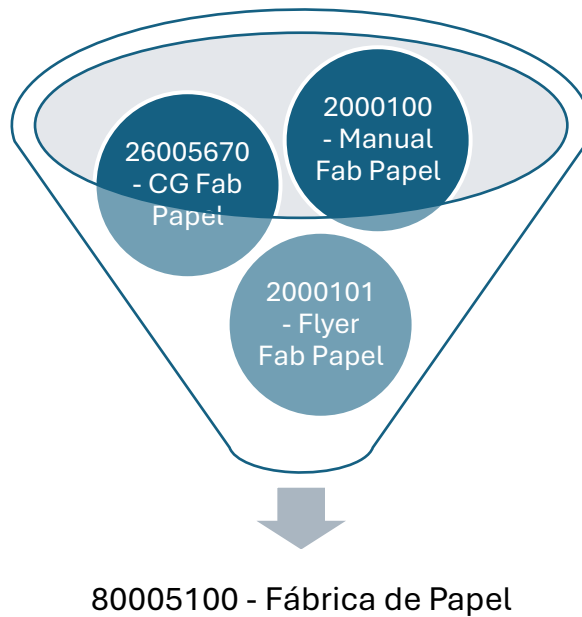


Figura 3.2 Exemplo de Lista Técnica - Fábrica de Papel

A Figura 3.2 refere-se a um produto final, que é identificado pelo código 80005100, por sua vez é composto por dois tipos de componentes: matérias-primas e produtos intermédios. Na fábrica em estudo, o código do produto final começa sempre por 8000. Caso o número da referência comece por 2000 identifica-se que se tratará de uma matéria-prima. Estes componentes não necessitam de qualquer transformação adicional, sendo utilizados exatamente conforme chegam do fornecedor, exemplos destes são: *flyers*, manuais, espátulas de plástico, entre outros.

Por outro lado, produtos que precisam de manipulação são identificados por códigos que começam por 2600. Estes produtos também possuem de listas técnicas próprias que detalham os seus componentes e os processos que são necessários para a sua produção. Abaixo, é apresentado um exemplo de lista técnica para um produto intermédio:

- 1 unidade de 26006264 F15 Cor Quim Azul 10 ml MultiA
- 2 unidades de 20006111 Vaso Biodegradável
- 3 unidades de 26007711 Saquetas de Morango MultiA
- 1 unidade de cuvette M Laranja
- 5 unidades de 20001101 Espátula de Madeira.

Como podemos observar na lista técnica acima, existem dois produtos (26006264 e o 26007711) que também precisam de produção, ou seja, também estes sofrem processos na fábrica para se transformarem nesses produtos.

Cada código, independentemente da estação em que é produzida tem um roteiro específico. Este roteiro define o número de pessoas necessárias para a produção e a média de unidades produzidas por minutos, este é fundamental para planejar de forma correta as produções. Abaixo deixo dois exemplos:

- Exemplo 1:

Para a referência 26005670 CG Fab Papel, são necessárias 12 pessoas para a produção com uma taxa de produção de 24 unidades por minuto. Isto significa que, teoricamente, para produzir 1000 unidades seriam necessários 42 minutos por pessoa, totalizando o tempo total de 504 minutos/pessoa. Este cálculo ajuda a planejar o tempo e os recursos necessários para completar a produção.

- Exemplo 2:

Para a referência 26006264 F15 Cor Quim Azul 10 ml MultiA, para a sua produção são necessárias 2 pessoas e que tem uma taxa de produção de 35 unidades por minuto. Ou seja, para produzir 1000 unidades seriam necessários, teoricamente, 29 minutos por pessoa, dando um total de 58 minutos para a produção.

Ao serem considerados estes fatores (lista técnica e roteiro), a empresa pode otimizar o processo de produção garantindo que todos os componentes estão disponíveis quando necessários e que a produção ocorre eficiente e fluída. Este planeamento detalhado é essencial para atender às necessidades dos clientes e manter a qualidade dos produtos finais.

Atualmente, o plano de produção da empresa é efetuado considerando a disponibilidade total de minutos disponíveis para cada operação. Este método de planeamento permite uma alocação eficiente dos recursos quer seja de tempo como de mão-de-obra, garantindo que. A produção ocorre de maneira contínua e sem interrupções desnecessárias.

No entanto, é importante considerar que a troca de uma operação não é imediata, é necessário um tempo médio de preparação para realizar esta troca, em média, assume-se um tempo de preparação médio fixo de 10 minutos por troca de referência/estação. Este tempo é utilizado para ajustar as máquinas, preparar os materiais necessários e garantir que todas as especificações da nova operação sejam corretamente configuradas.

Ao planejar a produção, este tempo não deve ser descurado, uma vez ignorado este aspeto pode levar atrasos e ineficiências na linha de produção. Portanto, ao calcular os tempos totais necessários para completar uma série de operações, é fundamental adicionar esses 10 minutos de preparação para cada troca de operação.

Esta abordagem detalhada, ou seja, contemplar o tempo de produção e o tempo de preparação permite uma melhor previsão e gestão do tempo necessário para efetuar as

produções, resultando em operações mais eficientes e capazes de atender às necessidades e expectativas dos clientes.

Sendo que ao analisarmos estes fatores conseguimos identificar que existe uma possibilidade de melhoria dos processos de produção, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a produtividade geral.

3.4. Problema Industrial

O problema industrial abrange várias vertentes que podem ser analisadas e abordadas através dos conceitos de desperdício e balanceamento de linhas. Entre as principais questões estão:

- Desperdícios de tempo

Neste contexto, o desperdício refere-se à discrepância entre os minutos disponíveis e os minutos necessários para as produções. Idealmente, os minutos disponíveis devem corresponder exatamente aos minutos totais requeridos para a produção, evitando tempos ociosos ou falta de capacidade.

- Desalinhamentos no balanceamento de linhas

Um desafio significativo surge quando há produções ocorrendo simultaneamente que requerem diferentes equipas de trabalho. Além disso, quando uma nova atividade precisa começar e a atividade anterior ainda não terminou, surge a questão de como alocar adequadamente os recursos humanos. Para resolver isso, é crucial implementar a sincronização e o equilíbrio de linhas. Este processo envolve a distribuição equilibrada das cargas de trabalho entre as diferentes estações de produção, minimizando tempos de espera e maximizando a eficiência.

- Tempos de espera

O tempo de espera é um tipo de desperdício que ocorre quando os trabalhadores ou as máquinas estão ociosos à espera de recursos ou a conclusão de tarefas anteriores. Ao balancear as linhas de produção e garantir que as tarefas sejam bem coordenadas, é possível reduzir significativamente esse tempo de espera, aumentando assim a produtividade geral.

Ao abordar esses problemas com uma estratégia focada na redução de desperdícios e no balanceamento eficiente das linhas de produção, as operações industriais podem ser otimizadas resultando numa maior eficiência e menor custo operacional.

A questão que se impõe é: Qual é o melhor sequenciamento ou por outras palavras, qual é o sequenciamento ótimo? Para responder a esta pergunta é crucial considerar tanto a minimização de desperdícios quanto o balanceamento das linhas de produção. O sequenciamento ótimo é aquele que garante a melhor utilização possível dos recursos disponíveis, minimizando o tempo de espera e equilibrando as cargas de trabalho entre diferentes estações de produção.

De seguida, apresenta-se as problemáticas descritas anteriormente com exemplos para facilitar a compreensão e ilustrar como, teoricamente, podem ser eliminados e que permitam que as linhas possam ser equilibradas de maneira eficaz.

Tabela 3.1: Plano Produtivo do Problema de Otimização

| Referência | Designação | Estação | Quantidade | Pessoas Necessárias | Unidades/Minuto | Duração Teórica (minutos) | Minutos Totais Teóricos | Duração Real (minutos) | Minutos Totais Reais |
|------------|--------------------------------|---------|------------|---------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| 80003105 | Criaturas Jurassicas | 8 | 2 000 | 17 | 20 | 100 | 1700 | 102 | 2040 |
| 80002179 | 10 KIT Ciencias PT/ES | 8 | 1 000 | 17 | 17 | 59 | 1003 | 44 | 748 |
| 80004464 | Super Rocket XL | 8 | 1 000 | 16 | 22 | 45 | 727 | 111 | 1776 |
| 26008086 | CM FUN Electromagnetismo | 6 | 149 | 13 | 22 | 7 | 88 | 21 | 273 |
| 26005696 | CG Ciencia Agua | 6 | 1 160 | 12 | 22 | 53 | 633 | 60 | 720 |
| 80004111 | Escav A GID | 8 | 300 | 14 | 28 | 11 | 150 | 14 | 196 |
| 80004048 | FUN Electromagnetismo PT/ES | 8 | 500 | 13 | 28 | 18 | 232 | 28 | 364 |
| 80004048 | FUN Electromagnetismo EN | 8 | 500 | 13 | 28 | 18 | 232 | 28 | 364 |
| 80003571 | Drone Spider | 8 | 1 000 | 13 | 23 | 43 | 565 | 177 | 2301 |
| 26008440 | CG Fab Viscosa GID | 6 | 1 200 | 10 | 23 | 52 | 522 | 65 | 650 |
| 26008147 | Cont BLOCO EMBAL ESCAV Y | 6 | 1 300 | 4 | 11 | 118 | 472 | 205 | 820 |
| 26008150 | Cont BLOCO EMBAL ESCAV X | 6 | 976 | 4 | 11 | 89 | 356 | 128 | 512 |
| 26006534 | CS Starter Kit Dino Eggs | 6 | 1 008 | 6 | 28 | 36 | 216 | 67 | 402 |
| 26006752 | Reag V2 10 Kit Ciencias | 7 | 1 310 | 8 | 23 | 57 | 456 | 53 | 424 |
| 26008412 | CS FUN Sparkling Slime | 6 | 1 200 | 9 | 23 | 52 | 470 | 57 | 513 |
| 26007593 | CM Fun Vulcoes | 6 | 1 008 | 9 | 23 | 44 | 394 | 61 | 549 |
| 26008130 | CS2 Fab Slime | 6 | 155 | 10 | 20 | 8 | 78 | 9 | 90 |
| 26008156 | Cont Bloco Escav A | 6 | 519 | 4 | 4 | 130 | 520 | 276 | 1104 |
| 26008154 | Cont Bloco Escav B | 6 | 519 | 4 | 4 | 130 | 520 | 275 | 1100 |
| 26004370 | F15 Pigm GID s/ picto 5g | 1 | 800 | 2 | 38 | 21 | 42 | 28 | 56 |
| 26007530 | Cont S7*10 4 Peoes + Dado Azul | 1 | 1163 | 2 | 78 | 15 | 30 | 85 | 170 |
| 26002497 | S7*10 6 Peoes + 2 Dados | 1 | 1188 | 4 | 31 | 38 | 152 | 62 | 248 |
| 26004155 | Cont S7*10 10 Bolas Algodao | 1 | 1700 | 7 | 17 | 100 | 700 | 100 | 700 |
| 26008409 | Cont Envelope+Aut+Folha | 6 | 1206 | 8 | 32 | 38 | 304 | 125 | 1000 |
| Total | | | | | | | 10561 | | 17120 |

Na tabela 3.1 podemos ver o plano que foi apresentado para o dia em estudo. Este plano foi determinado pela equipa de planeamento, onde indicou quais as produções a serem realizadas nesse dia, no entanto, o sequenciamento do mesmo é efetuado pelo responsável de produção. Neste dia haverá produções a ocorrer em três estações de trabalho, sendo elas a estação 8, 6+7 (de forma a simplificar, iremos assumir que a produção que deveria ocorrer na estação 7 ocorre na estação 6) e 1.

As produções irão ocorrer entre as 09h00 e terminarão às 18h00 com pausa para almoço das 13h às 13h45 e existe uma pausa de 15 minutos que não tem um horário específico para acontecer, pelo que iremos considerar a hora de almoço com um total de uma hora.

Na tabela acima, cada cor reflete uma produção específica as mesmas cores serão utilizadas nas figuras abaixo (da 3.4 até à 4.14) para que seja mais fácil perceber quais as produções que estão a decorrer nesse momento. Antes de analisarmos o plano e a sua produção irei fazer uma pequena explicação de como foi elaborada as figuras, explicando a Legenda realizada na Figura 3.3: a cor cinza indica que o tempo alocado para a preparação da próxima produção, como já referido em cima tem em média uma duração, aproximadamente, de 10 minutos.

Na linha que está intitulada como “Total FTEs” refere-se ao número total de operadores necessários para realizar as operações simultaneamente. Esta linha utiliza uma escala de cores para indicar a adequação do número de operadores, que pode ser observada também na Figura 3.3:

- Verde: Indica que os 25 operadores disponíveis estão adequadamente alocados.
- Vermelho: Indica uma necessidade maior do que os operadores disponíveis.
- Amarelo: Indica que o número de operadores que estão alocados é menor que o total de operadores disponíveis.



Figura 3.3 Legenda dos Planos

Após esta introdução às figuras que iremos ver de seguida, iremos analisar o dia de produção dividido por quatro segmentos para que seja mais fácil de identificar os possíveis problemas:

| | | 9:00 | 9:05 | 9:10 | 9:15 | 9:20 | 9:25 | 9:30 | 9:35 | 9:40 | 9:45 | 9:50 | 9:55 | 10:00 | 10:05 | 10:10 | 10:15 | 10:20 | 10:25 | 10:30 | 10:35 | 10:40 | 10:45 | 10:50 | 10:55 | 11:00 | |
|---------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| Estação 8 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Estação 6 e 7 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Estação 1 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Total | FTEs | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

Figura 3.4 Plano Teórico das 09h00 às 11h00

| | | 11:05 | 11:10 | 11:15 | 11:20 | 11:25 | 11:30 | 11:35 | 11:40 | 11:45 | 11:50 | 11:55 | 12:00 | 12:05 | 12:10 | 12:15 | 12:20 | 12:25 | 12:30 | 12:35 | 12:40 | 12:45 | 12:50 | 12:55 | 13:00 | 13:45 | | | | | | |
|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|--------|--------|
| Estação 8 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 13 | 13 | 13 | Almoço |
| Estação 6 e 7 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | Almoço |
| Estação 1 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | Almoço |
| Total | FTEs | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 26 | 23 | 23 | 23 | Almoço | |

Figura 3.5 Plano Teórico das 11h05 às 13h45

Ao analisarmos o primeiro segmento do dia, Figura 3.4, que compreende o período das 09h00 às 11h00, conseguimos verificar que todos os 25 operadores estão devidamente alocados nas suas respectivas estações de trabalho. O facto de todos os operadores estarem alocados às suas tarefas, indica que existe uma otimização eficaz dos recursos humanos disponíveis neste período, ou seja, não há desperdício de mão de obra por ociosidade, e neste período a sua capacidade produtiva está no máximo.

Neste segundo segmento do dia, Figura 3.5, conseguimos verificar algumas ineficiências na alocação de pessoal. A partir das 11h50 até às 12h35, observamos que há um elemento que não está alocado a nenhuma tarefa específica, sendo que este período de inatividade do operador apresenta um desperdício, uma vez que, este operador poderia estar a contribuir para uma produção.

Além disso, entre as 12h40 e as 12h45, identificamos uma necessidade de 26 operadores, um a mais do que os 25 disponíveis. Contudo, é importante notar que este operador adicional só seria necessário caso quiséssemos utilizar todos os recursos disponíveis para a preparação da produção seguinte. Nestes casos é necessário um reforço da atenção para garantir que a produção não seja interrompida ou atrasada devido à falta de pessoal.

Após este intervalo, e até ao início do período de almoço, existem dois operadores que não estão alocados a nenhuma produção específica.

Em resumo, durante este período existem três operadores, no total, que não estão a ser utilizados de maneira otimizada, resultando num desperdício.

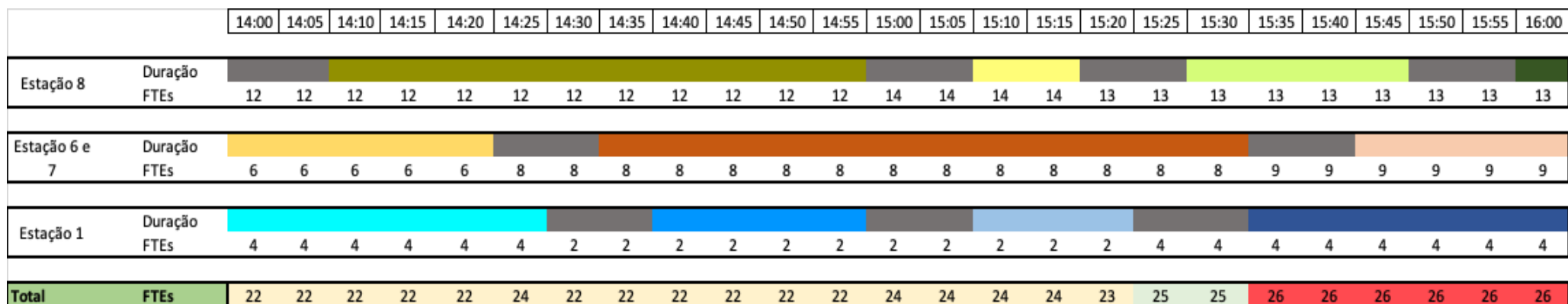


Figura 3.6 Plano Teórico das 13h50 às 15h50

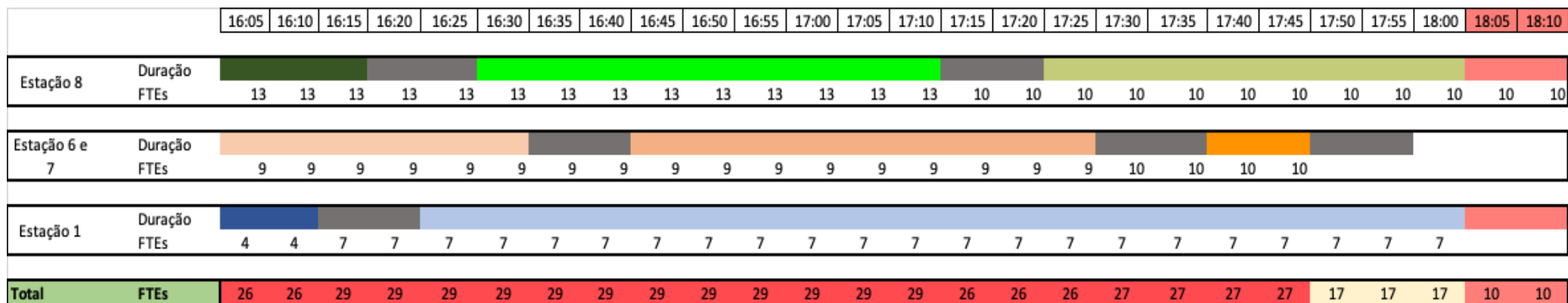


Figura 3.7 Plano Teórico das 15h55 às 18h00

Na observação, Figura 3.6, podemos observar que durante, aproximadamente, 75 minutos, existem entre um e três operadores que não estão alocados a nenhuma atividade. Por outro lado, entre as 15h35 e as 16h00, existe um período de 25 minutos em que existe a necessidade de um operador adicional além dos disponíveis.

Durante este período conseguimos observar dois tipos de comportamentos que prejudicam a otimização da linha, se por um lado existem elementos a mais, por outro lado por vezes faltam operadores, o que indica um desbalanceamento das linhas de produção.

No último período do dia, Figura 3.7, conseguimos verificar que as estações 6 e 7 terminam 5 minutos antes do final do dia. Esta conclusão antecipada das atividades nessas duas estações indica uma eficiência no cumprimento do plano previsto para o dia.

Por outro lado, na estação 1 e 8, observamos uma situação oposta. Uma das operações planeadas para este segmento não é possível ser concluída dentro do horário previsto, que tem como resultado, transferir esta operação para o dia seguinte, sendo que este adiamento pode impactar o fluxo de trabalho e a programação subsequente, exigindo um ajuste no planeamento para garantir que a produção não sofra atrasos significativos. Em resumo, durante um período total de 145 minutos ao longo do dia, existe uma necessidade maior de operadores do que o número de operadores disponíveis. Isso indica que, em certos momentos, a necessidade de mão de obra excede a oferta que pode causar atrasos nas produções e comprometer a eficiência da produção.

Por outro lado, durante um total de 165 minutos ao longo do dia, existem operadores que não estão alocados a nenhuma atividade específica. Em média, três operadores permanecem inocupados durante esse período, podemos identificar aqui um grande desperdício.

O plano teórico apresentado na tabela 3.1 foi elaborado para um total de 25 operadores e para um total de 10 800 minutos, isto porque cada operador trabalha 432 minutos por dia (90% do tempo disponível). No entanto, ao analisarmos a Tabela 3.1 e as Figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7, podemos ver que apesar de teoricamente existir minutos suficientes disponíveis para realizar todas as operações, não existe a possibilidade da produção total das operações, sem o recurso de mais elementos.

No final, verificamos que não é possível completar todas as atividades planeadas. Pelo menos uma das operações não é possível finalizar e uma nem começa, ou seja, no fundo das 24 operações planeadas, apenas é possível realizar 21 operações na sua totalidade. Isto porque se efetivamente realizarmos as operações quando tivermos operadores disponíveis o 3º e 4º segmento do dia fica como demonstrado abaixo:

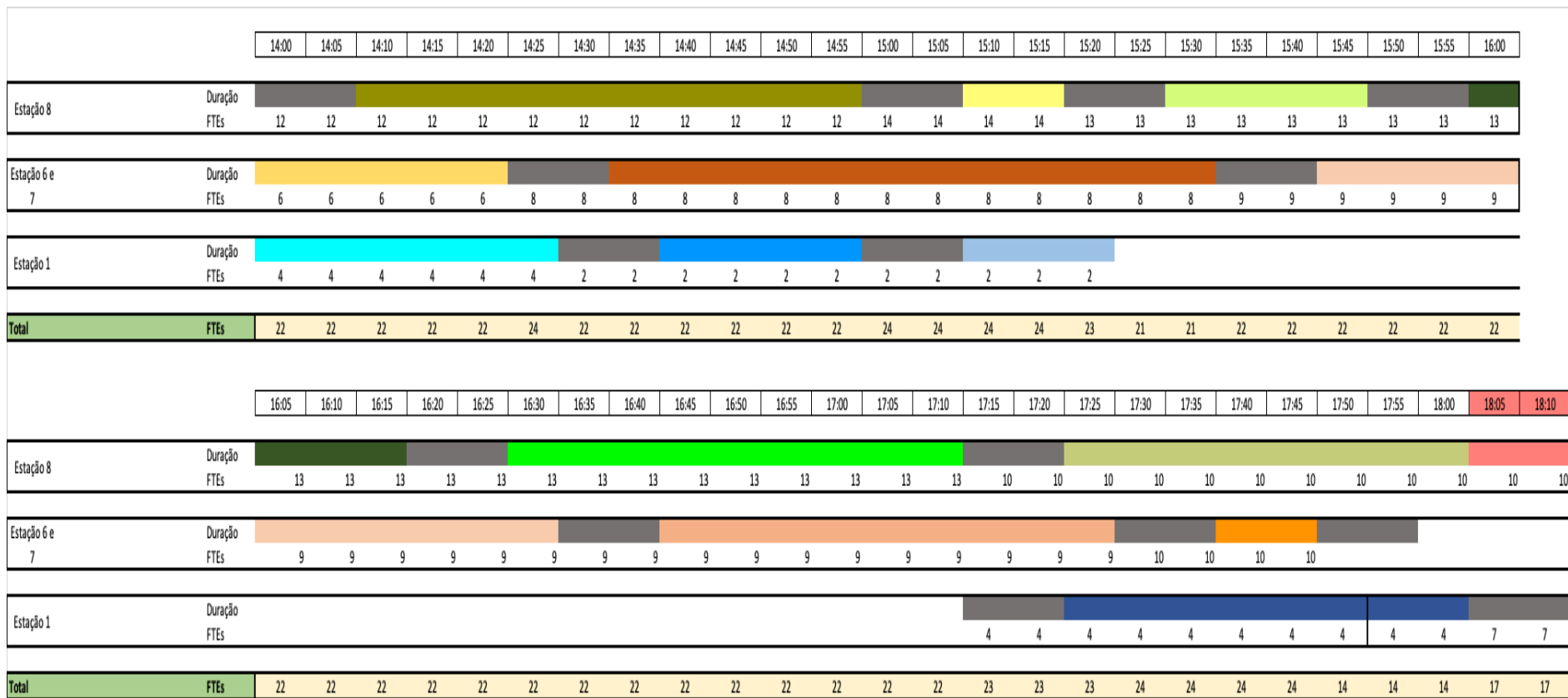


Figura 3.8 Plano Teórico Contemplado com os operadores específicos

Como podemos verificar, uma das operações da Estação 1 que dava para ser produzida se não considerássemos a disponibilidade dos operadores, esta passa a não ser possível produzir.

Estes problemas destacam a importância de um planeamento mais preciso e a necessidade de ajustes constantes para garantir que todas as operações sejam concluídas dentro do tempo disponível, de forma, a evitar atrasos.

3.5. Impacto do Problema Industrial

Após uma análise minuciosa do problema industrial em questão, torna-se evidente que a empresa enfrenta vários desafios impactantes:

1. Desperdício de tempo: é notável a ocorrência de momentos em que o tempo é desperdiçado de forma significativa.
2. Subutilização de Recursos Humanos: há uma parcela de operadores sem atribuições específicas, o que resulta numa alocação ineficiente de recursos humanos.
3. Desalinhamento/Sobrecarga nas linhas de produção: a sincronização e o equilíbrio entre as diferentes linhas de produção não estão otimizados, o que gera sobrecarga em algumas áreas e ociosidade em outras.

Uma análise mais profunda do dia (que representa um dia típico de trabalho) revela que, num total de 840 minutos, aproximadamente, 1,94 pessoas não estão atribuídas a uma tarefa específica. Essa subutilização equivale a um dia inteiro de operações perdidas. Ao multiplicar essa inatividade pelos dias úteis do mês (22 dias), resulta num desperdício estimado de 1973,66 €/mês.

Além disso, quando consideramos as operações que não podemos realizar devido à falta de operadores e tempo disponível, acrescentamos um valor adicional de 3585,49€ (correspondente a 1526 minutos). Consequentemente, o desperdício total resultante destes cenários é de 5559,15€.

Demonstração:

- Dias úteis por mês: $D = 22$
- Ordenado Mínimo Nacional: 820€
- Custo mensal por operador (Inclui custos com Segurança Social): $C_m = 1014,75€$
- Minutos Disponíveis por Operador (assumindo o tempo que é efetivamente planeado, 90%): 432
- Tempo disponível por mês (432 minutos disponíveis por dias multiplicado por 22 dias úteis): 9 504 minutos/mês/operador
- Custo por minuto:

$$c = \frac{C_m}{9\,504} = 0,1067708 \text{ €/min} (\approx 0,1068)$$

- Custo de operadores sem Atividade Alocada: (Minutos Totais Diários por Operador sem Alocação \times Custo por minuto por operador) \times Número de dias úteis = $(840 \text{ minutos} \times 0,1068\text{€}) \times 22 = 89,712\text{€} \times 22 = 1973,66\text{€}$
- Custo de operação que não foi realizada: (Minutos Totais da Operação \times Custo por minuto por operador) \times Número de dias úteis = $(1526 \text{ minutos} \times 0,1068\text{€}) \times 22 = 3585,49\text{€}$
- Custo total do desperdício mensal: Custo de operadores sem Atividade Alocada + Custo de operação que não foi realizada = $1973,66\text{€} + 3585,49\text{€} = 5559,15\text{€}$

No decorrer do mês, a média do desperdício ronda os 5559,15€ o que equivale a uma necessidade de recursos correspondente a 5,5 pessoas.

4 Propostas de melhoria

Neste capítulo são apresentadas diferentes propostas com o objetivo de mitigar os problemas identificados no Capítulo 3, nomeadamente o desperdício de recursos humanos e o desequilíbrio das linhas de produção. As medidas que são sugeridas procuram aumentar a eficiência global do sistema produtivo, reduzindo os tempos de ociosidade e maximizando a utilização dos operadores disponíveis.

As propostas a serem analisadas são:

- Redução dos Tempos de Preparação;
- Criação de uma Estação de Apoio;
- Linha de produção mais lenta;
- Combinação de Medidas (Linha mais Lenta + Redução de Tempos de Preparação).

Cada proposta será detalhada de seguida, com recurso a planos teóricos e representações gráficas que permitem avaliar o seu impacto.

4.1. Redução dos Tempos de Preparação

Uma das medidas propostas consiste na redução do tempo médio de preparação entre operações de 10 para 5 minutos. A lógica subjacente a esta proposta é a utilização de todos os operadores disponíveis para realizar as tarefas de preparação, permitindo assim diminuir os períodos de paragem entre mudanças de produção.

A análise deste cenário mostra que, no primeiro segmento do dia (Figura 4.1), todos os operadores encontram-se devidamente alocados, tal como no Cenário Atual, garantindo a plena utilização dos recursos.

Contudo, no segundo segmento (Figura 4.2), surgem períodos de inatividade: entre as 11h45 e as 12h35 um operador permanece sem tarefa atribuída, aumentando para três operadores entre as 12h35 e as 13h00

| | | 9:00 | 9:05 | 9:10 | 9:15 | 9:20 | 9:25 | 9:30 | 9:35 | 9:40 | 9:45 | 9:50 | 9:55 | 10:00 | 10:05 | 10:10 | 10:15 | 10:20 | 10:25 | 10:30 | 10:35 | 10:40 | 10:45 | 10:50 | 10:55 | 11:00 | |
|---------------|-------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| Estação 8 | Duração | [Green bar] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Estação 6 e 7 | Duração | [Yellow bar] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Estação 1 | Duração | [Light Blue bar] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Total | FTEs | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

Figura 4.1 Plano de Produção entre as 09h00 e as 11h00 (Proposta 1)

| | | 11:05 | 11:10 | 11:15 | 11:20 | 11:25 | 11:30 | 11:35 | 11:40 | 11:45 | 11:50 | 11:55 | 12:00 | 12:05 | 12:10 | 12:15 | 12:20 | 12:25 | 12:30 | 12:35 | 12:40 | 12:45 | 12:50 | 12:55 | 13:00 | 13:55 | |
|---------------|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Estação 8 | Duração | [Green bar] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | Almoço | |
| Estação 6 e 7 | Duração | [Yellow bar] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | Almoço | |
| Estação 1 | Duração | [Cyan bar] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | Almoço |
| Total | FTEs | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 23 | 23 | 22 | 22 | 22 | Almoço | |

Figura 4.2 Plano Teórico entre as 11h05 e as 13h45 (Proposta 1)

No terceiro segmento (Figura 4.3), o desperdício de recursos humanos torna-se mais evidente. Durante este período, entre um e três operadores encontram-se sem atividade, acumulando um total de 120 minutos de inatividade. Apesar disso, não existe capacidade suficiente para iniciar a operação seguinte da Estação 1, revelando um desajuste entre a disponibilidade de mão de obra e as necessidades produtivas.

Por fim, no último segmento do dia (Figura 4.4), verifica-se a impossibilidade de concluir duas das operações previstas para a Estação 1, que se prolongam para além do horário definido. Além disso, os operadores permanecem sem alocação durante 120 minutos, o que agrava a ineficiência do plano.

Em termos globais, esta proposta permite uma redução modesta do desperdício, estimada em cerca de 2%, reduzindo o custo total para 5 425,20€. Assim, embora a diminuição do tempo de preparação represente um avanço face ao Cenário Atual, o impacto é limitado, não sendo suficiente para eliminar os desequilíbrios de alocação de operadores identificados.

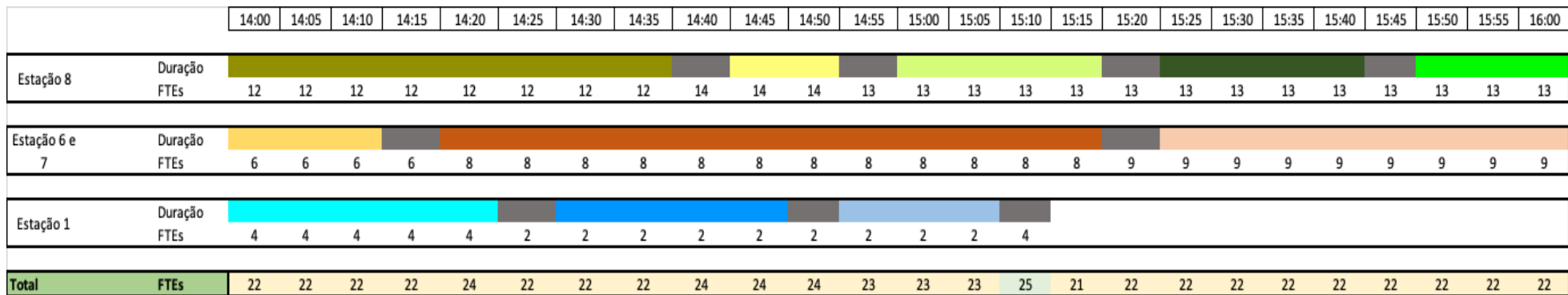


Figura 4.3 Plano Teórico Entre as 13h50 e as 15h50 (Proposta 1)

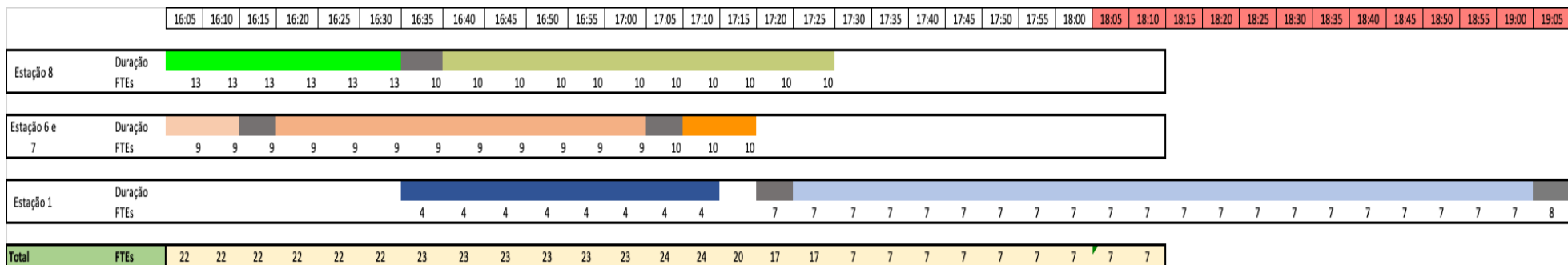


Figura 4.4 Proposta Teórica entre as 15h55 e as 18h00 (Proposta 1)

4.2. Criação de Uma Estação de Apoio à Estação 1

Outra proposta de melhoria consiste na implementação de uma estação de apoio à Estação 1. O objetivo é criar uma linha adicional que possa ser utilizada sempre que existam operadores disponíveis e a Estação 1 se encontre ocupada. Desta forma, é possível reduzir tempos de espera, aumentar a flexibilidade do sistema e melhorar a capacidade de resposta perante variações na carga produtiva.

Contudo, quando se mantém o tempo de preparação de 10 minutos, a introdução desta estação de apoio não traz benefícios significativos. Tal como no Cenário Atual, não existe margem para realocar operadores em excesso, uma vez que o plano de produção já se encontra saturado.

Assim, optou-se por avaliar esta proposta em conjunto com a redução do tempo de preparação para 5 minutos, permitindo explorar o potencial da estação de apoio em condições mais favoráveis.

Nos três primeiros segmentos do dia (Figura 4.5), o plano mantém-se semelhante ao obtido na Proposta 1, não sendo ainda possível observar diferenças relevantes, dado que a Estação 1 se encontra devidamente ocupada e os recursos alocados.



Figura 4.5 Plano Teórico entre as 09h00 e as 16h00 (Proposta 2)

Já no período das 16h05 às 18h (Figura 4.6), a introdução da estação de apoio revela vantagens: uma operação que anteriormente não poderia ser concluída passa agora a ser realizada. Apesar desta melhoria, permanece ainda uma operação sem possibilidade de execução, o que demonstra que a solução mitiga parcialmente o problema mas não o resolve na totalidade.

Em termos de eficiência global, o cenário resulta num total de 315 minutos de inatividade de operadores, valor ainda significativo, mas inferior ao registado nas propostas anteriores. Este resultado traduz-se numa poupança aproximada de 30% em relação ao Cenário Atual, reduzindo o desperdício para 3 900,34 €.

Assim, a criação de uma estação de apoio mostra-se uma estratégia promissora, sobretudo quando combinada com a redução dos tempos de preparação, embora não elimine a totalidade dos constrangimentos de balanceamento identificados.

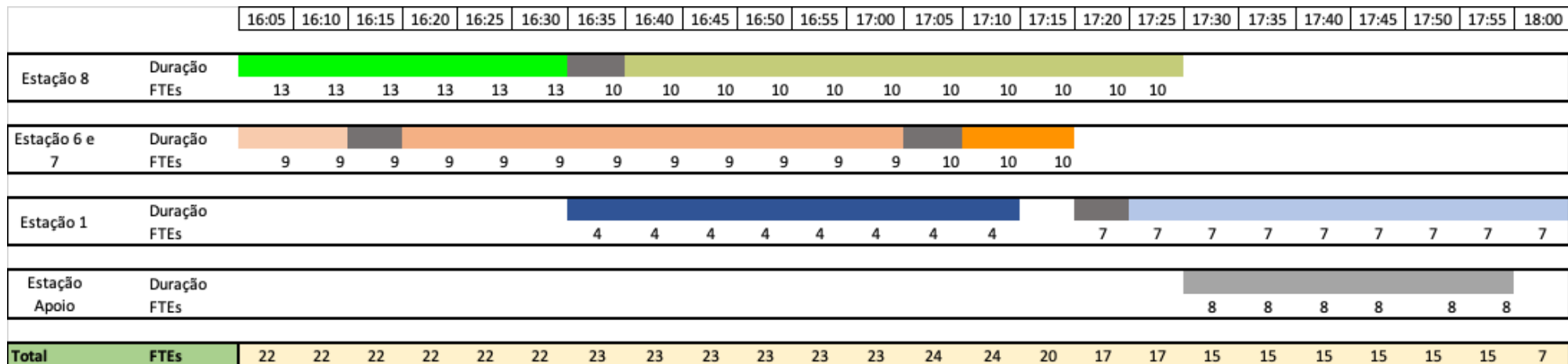


Figura 4.6 Plano Téorico entre as 16h05 e as 18h00 (Proposta 2)

4.3. Linha mais lenta

A terceira proposta consiste na redução da velocidade de determinadas linhas de produção, com o intuito de ajustar a carga de trabalho ao número de operadores efetivamente disponíveis. Esta estratégia, embora implique um aumento do tempo de processamento de algumas referências permite, que as operações sejam realizadas com menos recursos humanos, reduzindo a sobrecarga em períodos críticos e equilibrando melhor a utilização da mão de obra.

Foram selecionadas quatro referências para aplicação desta medida, por apresentarem maior impacto na alocação de operadores e maior potencial de flexibilização:

- Drone Spider
- CS Fun Sparkling Slime
- CM Fun Vulcões
- CS2 Fab Slime

O plano produtivo com estas alterações encontra-se detalhado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Plano Produtivo Com Redução de Linha

| Referência | Designação | Estação | Quantidade | Pessoas Necessárias | Unidades/Minuto | Duração Teórica (minutos) | Minutos Totais Teóricos | Duração Real (minutos) | Minutos Totais Reais | Pessoas Necessárias Revisto | Unidades/Minuto Revisto | Duração Real (minutos) Revisto |
|------------|--------------------------------|---------|------------|---------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 80003105 | Criaturas Jurassicas | 8 | 2 000 | 17 | 20 | 100 | 1700 | 102 | 2040 | | | |
| 80002179 | 10 KIT Ciencias PT/ES | 8 | 1 000 | 17 | 17 | 59 | 1003 | 44 | 748 | | | |
| 80004464 | Super Rocket XL | 8 | 1 000 | 16 | 22 | 45 | 727 | 111 | 1776 | | | |
| 26008086 | CM FUN Electromagnetismo | 6 | 149 | 13 | 22 | 7 | 88 | 21 | 273 | | | |
| 26005696 | CG Ciencia Agua | 6 | 1 160 | 12 | 22 | 53 | 633 | 60 | 720 | | | |
| 80004111 | Escav A GID | 8 | 300 | 14 | 28 | 11 | 150 | 14 | 196 | | | |
| 80004048 | FUN Electromagnetismo PT/ES | 8 | 500 | 13 | 28 | 18 | 232 | 28 | 364 | | | |
| 80004048 | FUN Electromagnetismo EN | 8 | 500 | 13 | 28 | 18 | 232 | 28 | 364 | | | |
| 80003571 | Drone Spider | 8 | 1 000 | 13 | 23 | 43 | 565 | 177 | 2301 | 10 | 18 | 60 |
| 26008440 | CG Fab Viscosa GID | 6 | 1 200 | 10 | 23 | 52 | 522 | 65 | 650 | | | |
| 26008147 | Cont BLOCO EMBAL ESCAV Y | 6 | 1 300 | 4 | 11 | 118 | 472 | 205 | 820 | | | |
| 26008150 | Cont BLOCO EMBAL ESCAV X | 6 | 976 | 4 | 11 | 89 | 356 | 128 | 512 | | | |
| 26006534 | CS Starter Kit Dino Eggs | 6 | 1 008 | 6 | 28 | 36 | 216 | 67 | 402 | | | |
| 26006752 | Reag V2 10 Kit Ciencias | 7 | 1 310 | 8 | 23 | 57 | 456 | 53 | 424 | | | |
| 26008412 | CS FUN Sparkling Slime | 6 | 1 200 | 9 | 23 | 52 | 470 | 57 | 513 | 8 | 20,0 | 60 |
| 26007593 | CM Fun Vulcoes | 6 | 1 008 | 9 | 23 | 44 | 394 | 61 | 549 | 8 | 20 | 56 |
| 26008130 | CS2 Fab Slime | 6 | 155 | 10 | 20 | 8 | 78 | 9 | 90 | 8 | 16 | 9 |
| 26008156 | Cont Bloco Escav A | 6 | 519 | 4 | 4 | 130 | 520 | 276 | 1104 | | | |
| 26008154 | Cont Bloco Escav B | 6 | 519 | 4 | 4 | 130 | 520 | 275 | 1100 | | | |
| 26004370 | F15 Pigm GiD s/ picto 5g | 1 | 800 | 2 | 38 | 21 | 42 | 28 | 56 | | | |
| 26007530 | Cont S7*10 4 Peoes + Dado Azul | 1 | 1163 | 2 | 78 | 15 | 30 | 85 | 170 | | | |
| 26002497 | S7*10 6 Peoes + 2 Dados | 1 | 1188 | 4 | 31 | 38 | 152 | 62 | 248 | | | |
| 26004155 | Cont S7*10 10 Bolas Algodao | 1 | 1700 | 7 | 17 | 100 | 700 | 100 | 700 | | | |
| 26008409 | Cont Envelope+Aut+Folha | 6 | 1206 | 8 | 32 | 38 | 304 | 125 | 1000 | | | |
| Total | | | | | | | 10561 | | 17120 | | | |

4.3.1. Linha mais lenta com tempo de preparação de 10 minutos

No primeiro segmento do dia (Figura 4.7), tal como observado no Cenário Atual, todos os operadores encontram-se devidamente alocados, sem evidência de desperdício.

Contudo, no segundo segmento (Figura 4.8), registam-se períodos de inatividade, com operadores sem tarefas atribuídas durante aproximadamente 70 minutos.

| | | 9:00 | 9:05 | 9:10 | 9:15 | 9:20 | 9:25 | 9:30 | 9:35 | 9:40 | 9:45 | 9:50 | 9:55 | 10:00 | 10:05 | 10:10 | 10:15 | 10:20 | 10:25 | 10:30 | 10:35 | 10:40 | 10:45 | 10:50 | 10:55 | 11:00 |
|---------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estação 8 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estação 6 e 7 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estação 1 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | FTEs | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

Figura 4.7 Plano de Produção Teórico entre as 09h00 e as 11h00 (Proposta 3)

| | | 11:05 | 11:10 | 11:15 | 11:20 | 11:25 | 11:30 | 11:35 | 11:40 | 11:45 | 11:50 | 11:55 | 12:00 | 12:05 | 12:10 | 12:15 | 12:20 | 12:25 | 12:30 | 12:35 | 12:40 | 12:45 | 12:50 | 12:55 | 13:00 | 14:00 |
|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Estação 8 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estação 6 e 7 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estação 1 | Duração | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FTEs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | FTEs | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 20 | 23 | 23 | 23 | Almoço |

Figura 4.8 Plano Teórico Entre as 11h05 e as 15h00 (Proposta 3)

No terceiro segmento (Figura 4.9), a situação agrava-se, durante 85 minutos, observam-se entre um e três operadores ociosos. Este comportamento representa um desperdício considerável de capacidade produtiva.

Finalmente, no último período (Figura 4.10), embora os operadores aparentem estar totalmente ocupados, verifica-se que três operações não conseguem ser concluídas: uma na Estação 8, outra em curso na Estação 1 uma terceira que não chega sequer a iniciar-se. No total, são 24 produções previstas onde apenas 21 são concluídas.

Em termos financeiros, este cenário representa um desperdício estimado de 4 419,60€, valor ainda bastante elevado.

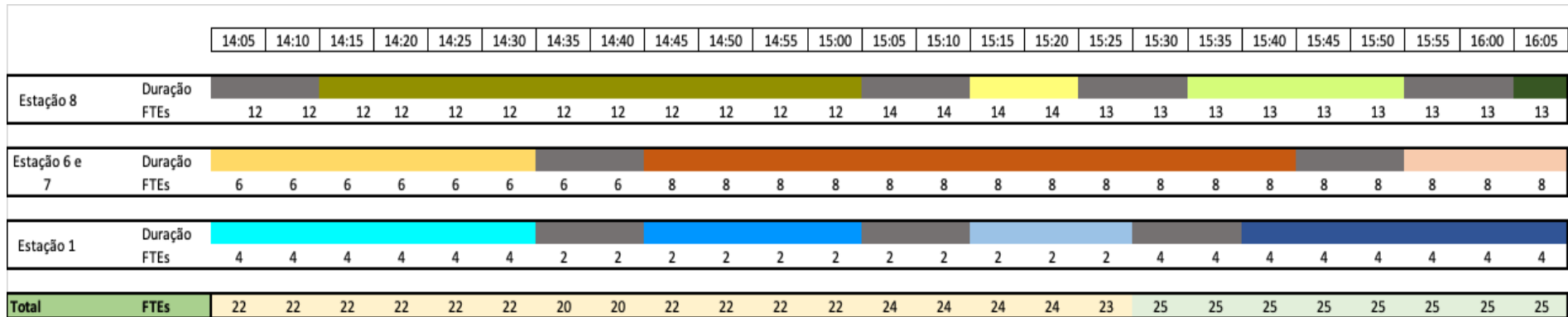


Figura 4.9 Plano Produtivo entre as 14h15 e as 16h05

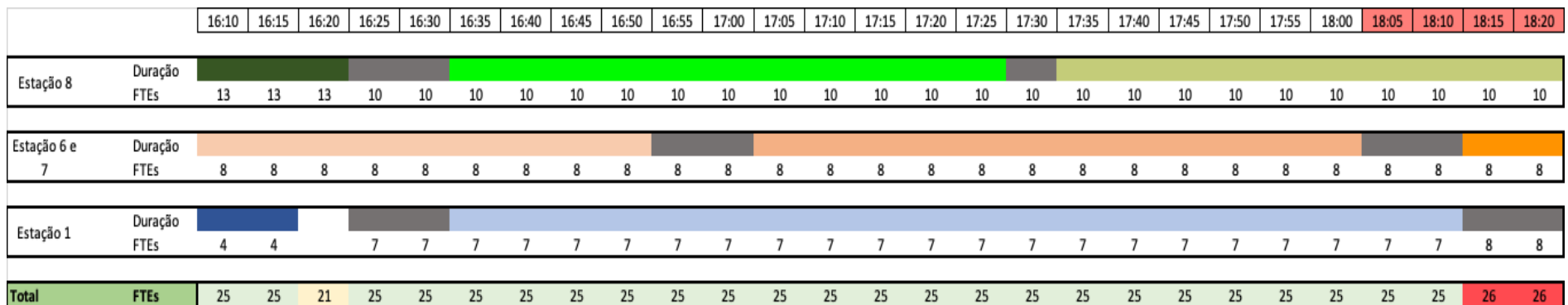


Figura 4.10 Plano Produtivo entre as 16h10 e as 18h00 (Proposta 3)

4.3.2. Linha mais lenta com tempo de preparação de 5 minutos

Na segunda variante desta proposta, combina-se a redução da velocidade da linha com a diminuição de tempo de preparação de 10 para 5 minutos.

No primeiro segmento (Figura 4.11), não se registam alterações face ao cenário anterior, mantendo-se os recursos devidamente otimizados.

No segundo segmento (Figura 4.12), identificam-se períodos de inatividade entre um e três operadores durante cerca de 75 minutos.

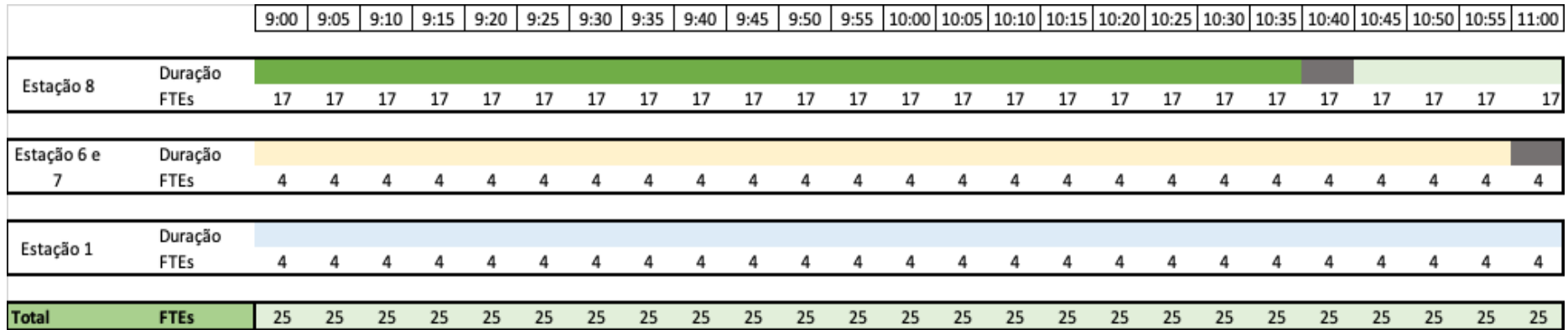


Figura 4.11 Plano de Produção entre as 09h00 e as 18h00 (Proposta 3+1)

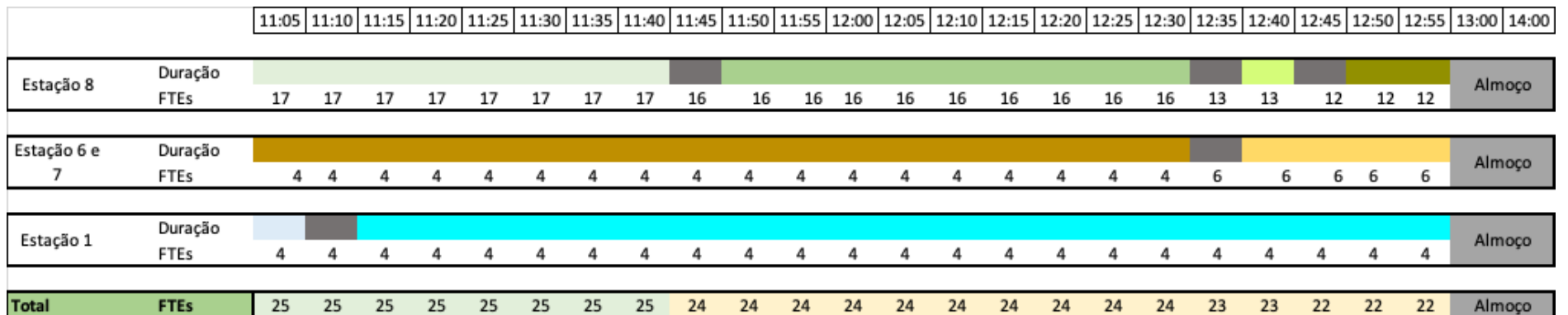


Figura 4.12 Plano Produtivo entre as 11h05 e as 14h00 (Proposta 3+1)

No terceiro segmento (Figura 4.13), esta situação repete-se durante 70 minutos, reforçando a tendência de desperdício parcial de mão de obra.

No último segmento (Figura 4.14), verifica-se uma melhoria, há operadores sem alocação durante apenas 20 minutos. Apesar disso, uma das tarefas planeadas não é concluída, resultando na realização de 23 produções em 24 previstas.

Do ponto de vista económico, este cenário representa uma redução significativa dos custos associados ao desperdício, estimando-se um valor de 2 053,55€, o que corresponde a uma poupança de aproximadamente 63% face ao Cenário Atual.

Assim, a proposta da linha mais lenta, sobretudo quando combinada com a diminuição dos tempos de preparação, mostra-se bastante eficaz na mitigação de desperdícios, embora não elimine totalmente as limitações do sistema.

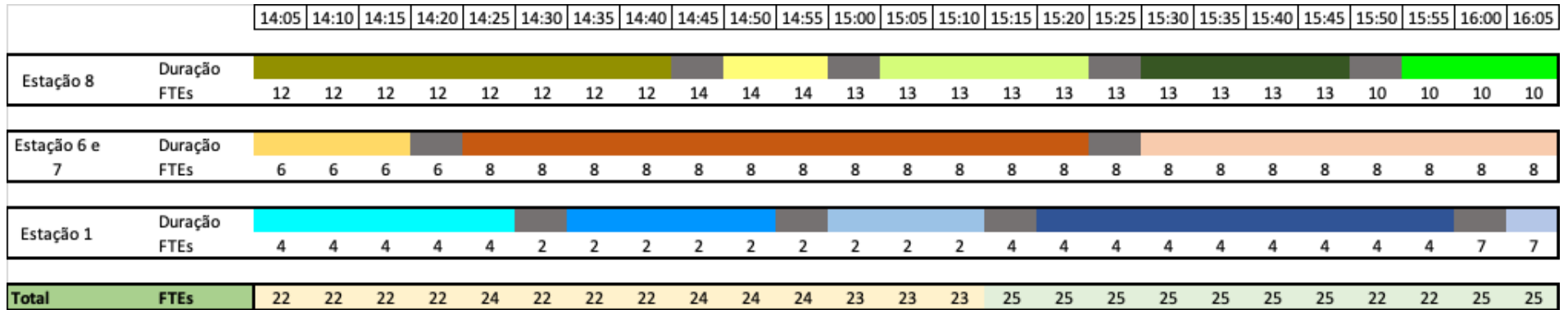


Figura 4.13 Plano de Produção entre as 14h05 e as 16h05 (Proposta 3+1)

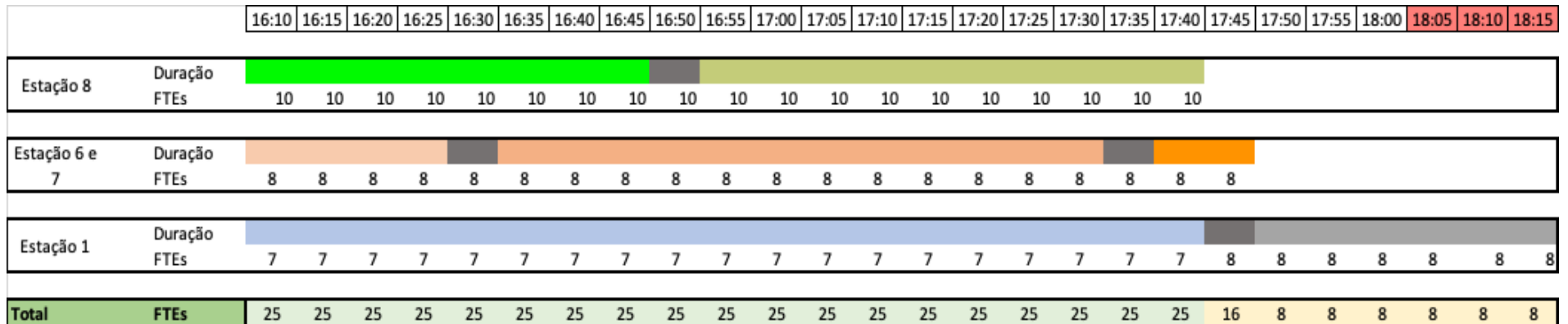


Figura 4.14 Plano de Produção entre as 16h10 e as 18h00 (Proposta 3+1)

5 Construção do modelo no Software Arena

5.1. Etapas Gerais da Modelação no Arena

Antes de apresentar o desenvolvimento do modelo relativo ao Cenário Atual e às propostas de melhoria, é importante descrever os elementos comuns a todas as simulações realizadas no Arena. Estes elementos constituem a base da modelação, assegurando a comparabilidade entre cenários e a consistência metodológica.

5.1.1. Definição do Run Setup

A configuração inicial do modelo foi definida no módulo Run Setup, onde se determinou a duração total da replicação em 540 minutos, que corresponde ao período de trabalho diário (incluindo as pausas definidas no horário da empresa). A unidade de tempo adotada foi o minuto, por refletir com maior detalhe a granularidade das operações produtivas. Optou-se por executar uma única replicação nesta fase, dado que o objetivo é avaliar o comportamento do sistema, num único dia típico de produção.

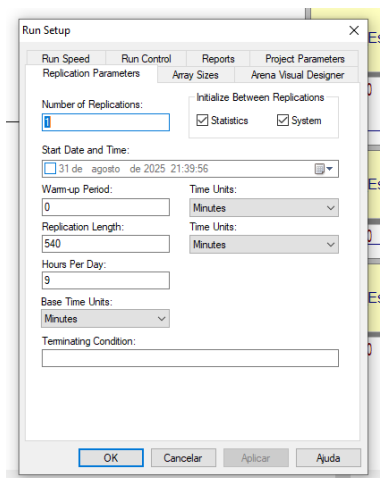


Figura 5.1 Definição do Run Setup

5.1.2. Definição do Horário de Trabalho

No módulo Schedule configurou-se o calendário de trabalho, denominado Horario540min, que reflete um turno diário de 9 horas, incluindo a pausa para almoço. A programação ficou definida da seguinte forma:

- 25 operadores disponíveis durante os primeiros 240 minutos (período da manhã);
- 0 operadores durante 60 minutos, correspondendo à pausa para almoço;
- 25 operadores disponíveis durante os 240 minutos finais (período da tarde).

Esta configuração assegura que a simulação considera corretamente as pausas obrigatórias e a disponibilidade efetiva de mão de obra.

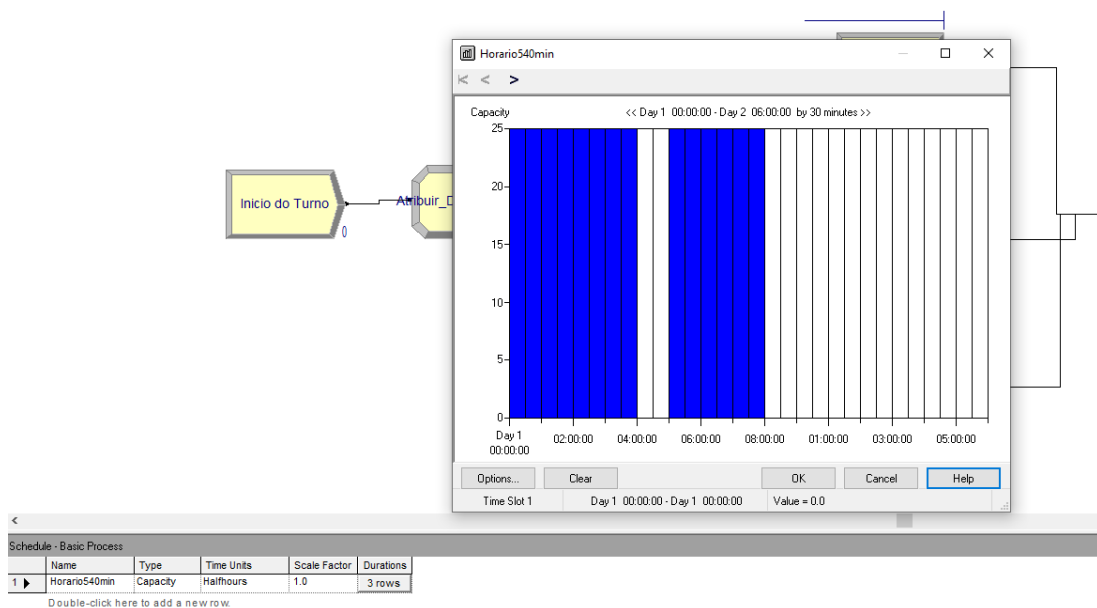


Figura 5.2 Definição do Horário de Trabalho

5.1.3. Definição dos Recursos

No módulo Resources foi criado um conjunto único de operadores, designado OperadoresComuns, que integra os 25 operadores disponíveis. Esta decisão baseia-se no facto de, na prática, os operadores não estarem alocados de forma exclusiva a uma estação de trabalho, podendo desempenhar tarefas em diferentes operações. Esta flexibilidade é fundamental para refletir a realidade da empresa e garantir que o modelo represente adequadamente a partilha de recursos humanos entre as várias estações.

The figure shows a software interface for defining resources. A window titled 'Resource - Basic Process' displays a table with columns: Name, Type, Capacity, Busy / Hour, Idle / Hour, Per Use, StateSet Name, Failures, and Report Statistics. The table contains one row: 'OperadoresComuns', 'Fixed Capacity', '25', '0.0', '0.0', '0.0', and '0 rows'. Below the table is a button: 'Double-click here to add a new row.'

Figura 5.3 Definição dos Resources

5.1.4. Módulo Create

O módulo Create foi configurado para representar a entrada das produções no sistema, sendo designado Entrada de Produto. A cada entidade foi atribuída a designação Produto, correspondente ao nome do produto das diferentes ordens de produção planeadas para o dia em análise.

Uma vez que não existe um padrão fixo de chegada dos produtos ao sistema (devido aos diferentes tempos de produção por referência), optou-se por uma aproximação: dividiu-se o tempo total disponível (540 minutos) pelas 24 ordens de produção planeadas, resultando num intervalo médio de 22,5 minutos entre chegadas.

Para operacionalizar esta lógica, definiu-se que três entidades são criadas por minuto, com um máximo de oito chegadas, totalizando as 24 ordens previstas. Esta parametrização permite assegurar que todas as produções planeadas são devidamente representadas no modelo.

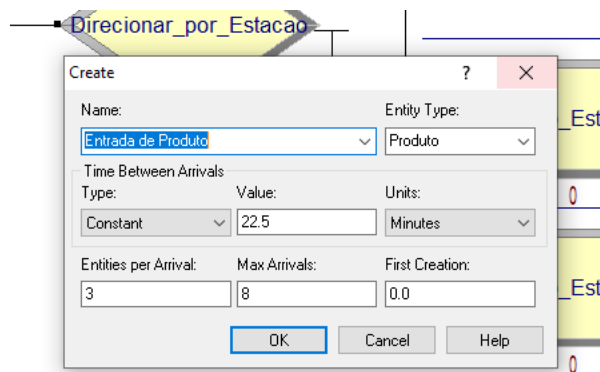


Figura 5.4 Caracterização do Create

5.1.5. Módulo Dispose

No final do processo produtivo, as entidades concluídas são direcionadas para o módulo Dispose, que representa a saída do sistema, ou seja, que as ordens de produção foram concluídas. Esta etapa garante que todas as entidades são contabilizadas após o término do fluxo de produção, encerrando assim o ciclo de simulação.

5.2. Desenvolvimento do Cenário Atual

Após a definição das etapas gerais de modelação no Arena, procedeu-se à construção do modelo que representa o cenário atual da produção. Este modelo tem como principal objetivo reproduzir o funcionamento real da fábrica, permitindo avaliar a eficiência do planeamento e identificar potenciais desperdícios ou desequilíbrios na utilização dos operadores.

5.2.1. Atributos das Entidades

Para garantir que cada ordem de produção fosse corretamente caracterizada, foi criado um módulo Assign onde se definiram quatro atributos principais:

- Estacao_ID: identifica a estação onde a produção é realizada;
- Tipo_produto: corresponde à referência ou designação do produto;
- Num_Operadores: define o número de operadores necessários para a produção dessa referência;
- Tempo_Producao: indica o tempo estimado de produção para a ordem em questão.

Estes atributos foram alimentados através de uma distribuição discreta (*Discrete*), construída a partir das quantidades planeadas. O denominador comum correspondeu à soma das quantidades totais a produzir, permitindo calcular probabilidades acumuladas que determinam a afetação de cada entidade ao respetivo produto e estação.

Tabela 5.1: Dados da distribuição Discrete

| Referência | Designação | Quantidade | %prod | %acum | Tipo_Produto | Num_Operadores | Estacao_ID | Tempo_Producao |
|------------|------------------------------|------------|--------|--------|--------------|----------------|------------|----------------|
| 80003105 | Criatura Jurássicas | 2000 | 0,0875 | 0,0875 | 1 | 17 | 8 | 100 |
| 80002179 | 10 KIT Ciencias PTES | 1000 | 0,0437 | 0,1312 | 2 | 17 | 8 | 59 |
| 80004464 | Super Rocket XL | 1000 | 0,0437 | 0,1750 | 3 | 16 | 8 | 45 |
| 26008086 | CM FUN Electromagnetismo | 149 | 0,0065 | 0,1815 | 4 | 13 | 6 | 7 |
| 26005696 | CG Ciencia Agua | 1160 | 0,0507 | 0,2322 | 5 | 12 | 6 | 53 |
| 80004111 | Escav A GID | 300 | 0,0131 | 0,2454 | 6 | 14 | 8 | 11 |
| 80004048 | Fun Eletromagnetismo PTES | 500 | 0,0219 | 0,2672 | 7 | 13 | 8 | 18 |
| 80004048 | Fun Eletromagnetismo EM | 500 | 0,0219 | 0,2891 | 8 | 13 | 8 | 18 |
| 80003571 | Drone Spider | 1000 | 0,0437 | 0,3328 | 9 | 13 | 8 | 43 |
| 26008440 | CG Fab Viscosa GID | 1200 | 0,0525 | 0,3853 | 10 | 10 | 6 | 52 |
| 26008147 | CG BLOCO EMBAL ESCAV Y | 1300 | 0,0569 | 0,4422 | 11 | 4 | 6 | 118 |
| 26008150 | CG BLOCO EMBAL ESCAV X | 976 | 0,0427 | 0,4849 | 12 | 4 | 6 | 89 |
| 26006534 | CS Starter Kit Dino Eggs | 1008 | 0,0441 | 0,5290 | 13 | 6 | 6 | 36 |
| 26006752 | Reag V2 Kit Ciencias | 1310 | 0,0573 | 0,5863 | 14 | 8 | 6 | 57 |
| 26008412 | CS FUN Sparkling Slime | 1200 | 0,0525 | 0,6388 | 15 | 9 | 6 | 52 |
| 26007593 | CM Fun Vulcoes | 1008 | 0,0441 | 0,6829 | 16 | 9 | 6 | 44 |
| 26008130 | CS2 Fab Slime | 155 | 0,0068 | 0,6896 | 17 | 10 | 6 | 8 |
| 26008156 | Cont Bloco Escav A | 519 | 0,0227 | 0,7123 | 18 | 4 | 6 | 130 |
| 26008154 | Cont Bloco Escav B | 519 | 0,0227 | 0,7351 | 19 | 4 | 6 | 130 |
| 26004370 | F15 Pigm GID s picto 5g | 800 | 0,0350 | 0,7700 | 20 | 2 | 1 | 21 |
| 26007530 | Cont S1710 4 Peoes Dado Azul | 1163 | 0,0509 | 0,8209 | 21 | 2 | 1 | 15 |
| 26002497 | S710 6 Peoes 2 Dados | 1188 | 0,0520 | 0,8729 | 22 | 4 | 1 | 38 |
| 26004155 | Cont S710 Bolas Algodao | 1700 | 0,0744 | 0,9472 | 23 | 7 | 1 | 100 |
| 26008409 | Cont Envelope+Aut+ Folha | 1206 | 0,0528 | 1,0000 | 24 | 8 | 6 | 38 |

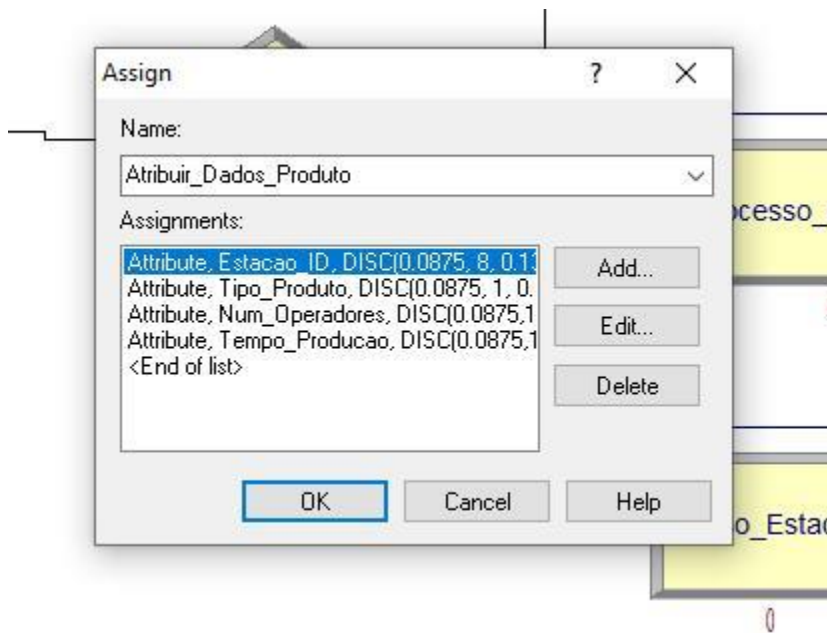


Figura 5.5 Assign

De seguida deixo os atributos correspondente aos atributos:

- Estacao_ID

DISC(0.0875,8, 0.1312,8, 0.1750,8, 0.1815,6, 0.2322,6, 0.2454,8, 0.2672,8, 0.2891,8, 0.3328,8, 0.3853,6, 0.4422,6, 0.4849,6, 0.5290,6, 0.5863,6, 0.6388,6, 0.6829,6, 0.6896,6, 0.7123,6, 0.7351,6, 0.7700,1, 0.8209,1, 0.8729,1, 0.9472,1, 1.0,6)

- Tipo_Produto

DISC(0.0875,1, 0.1312,2, 0.1750,3, 0.1815,4, 0.2322,5, 0.2454,6, 0.2672,7, 0.2891,8, 0.3328,9, 0.3853,10, 0.4422,11, 0.4849,12, 0.5290,13, 0.5863,14, 0.6388,15, 0.6829,16, 0.6896,17, 0.7123,18, 0.7351,19, 0.7700,20, 0.8209,21, 0.8729,22, 0.9472,23, 1.0,24)

- Num_Operadores

DISC(0.0875,17, 0.1312,17, 0.1750,16, 0.1815,13, 0.2322,12, 0.2454,14, 0.2672,13, 0.2891,13, 0.3328,13, 0.3853,10, 0.4422,4, 0.4849,4, 0.5290,6, 0.5863,8, 0.6388,9, 0.6829,9, 0.6896,10, 0.7123,4, 0.7351,4, 0.7700,2, 0.8209,2, 0.8729,4, 0.9472,7, 1.0,8)

- Tempo_Producao

DISC(0.0875,100, 0.1312,59, 0.1750,45, 0.1815,7, 0.2322,53, 0.2454,11, 0.2672,18, 0.2891,18, 0.3328,43, 0.3853,52, 0.4422,118, 0.4849,89, 0.5290,36, 0.5863,57, 0.6388,52, 0.6829,44, 0.6896,8, 0.7123,130, 0.7351,130, 0.7700,21, 0.8209,15, 0.8729,38, 0.9472,100, 1.0,38)

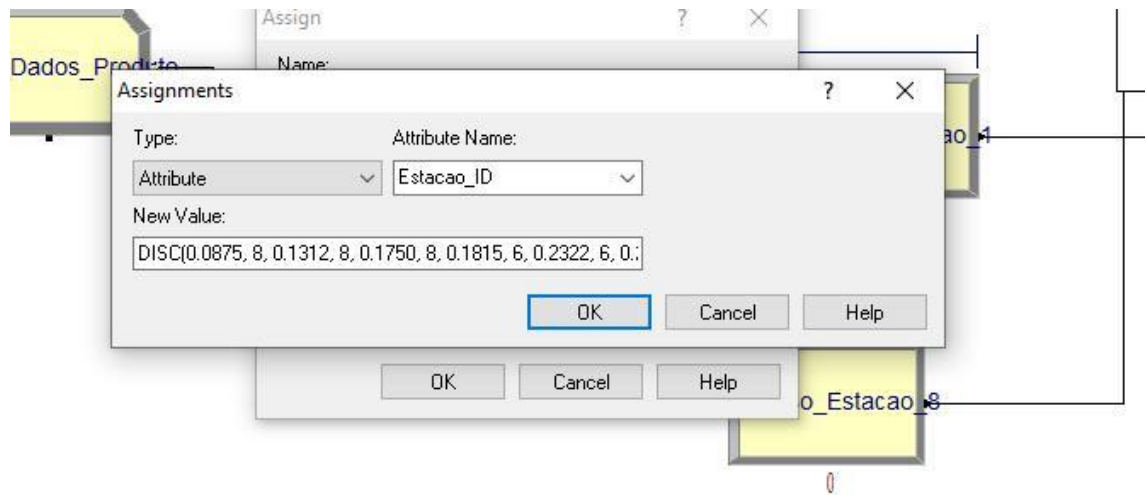


Figura 5.6 Atributo Estacao_ID

5.2.2. Módulo Decide

Após a atribuição dos atributos, foi necessário encaminhar as entidades para a estação correta. Para tal, recorreu-se ao módulo Decide, configurado como *N-way by Condition*. As condições definidas foram:

- Se a Estacao_ID = 6, a entidade segue para a Estação 6 (por simplificação do modelo, agrupou-se a Estação 7 com a 6);
- Se a Estacao_ID = 1, a entidade segue para a Estação 1;
- Caso contrário, a entidade segue para a Estação 8.

Esta lógica garante que cada ordem de produção é direcionada para o local adequado, respeitando a estrutura do processo produtivo.

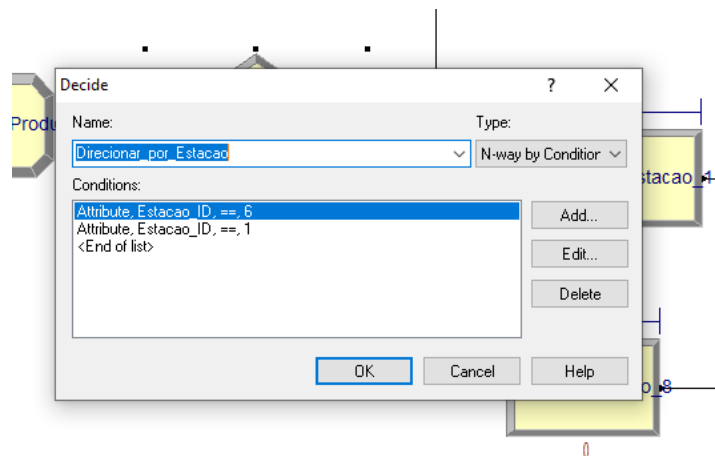


Figura 5.7 Decide

5.2.3. Definição dos Processos

Em seguida, foram modeladas as estações de trabalho como Processos do tipo *Seize-Delay-Release*. Criaram-se três processos principais:

- Processo_Estacao_6
- Processo_Estacao_1
- Processo_Estacao_8

Nestes módulos, os recursos definidos foram os OperadoresComuns, sendo o número de operadores requisitado determinado pelo atributo Num_Operadores.

O tempo de processamento foi modelado através de uma expressão em minutos, que inclui um tempo fixo de preparação de 10 minutos, acrescido do valor de Tempo_Producao definido para cada entidade.

Desta forma, assegura-se que tanto os tempos de preparação como os de execução efetiva são considerados no modelo, refletindo a realidade observada no chão de fábrica.

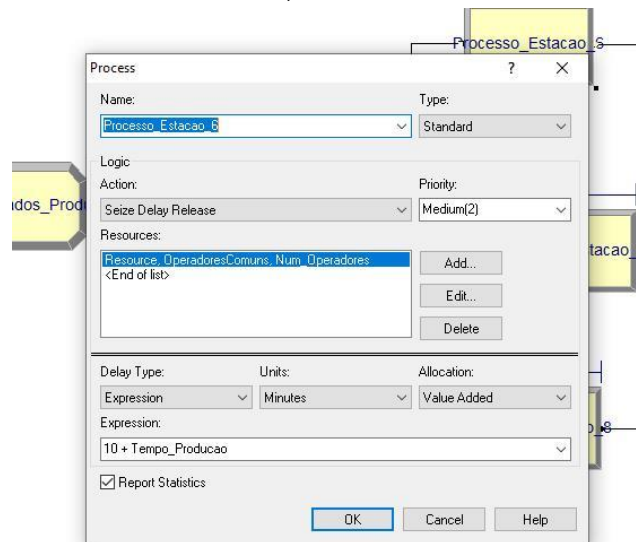


Figura 5.8 Processo

5.2.4. Modelo Final

Após a definição de todos os elementos descritos, obteve-se o modelo do Cenário Atual, ilustrado na figura abaixo. Este modelo constitui a base para a comparação com os cenários de melhoria, permitindo analisar as limitações existentes no planeamento atual e servir de referência para a avaliação dos impactos das propostas.

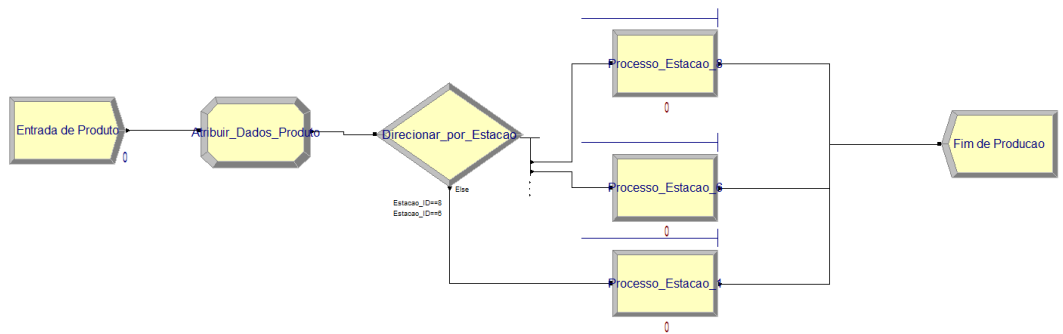


Figura 5.9 Modelo Final

5.3. Proposta 1 – Redução do Tempo de Preparação

Uma das ineficiências identificadas no Cenário Atual refere-se ao tempo de preparação associado às mudanças nas diferentes ordens de produção. Como mencionado anteriormente, este tempo foi modelado no cenário base com uma duração fixa de 10 minutos, independentemente da estação ou do tipo de produto.

A Proposta 1 consiste em reduzir esse tempo médio de preparação para 5 minutos, assumindo a implementação de práticas de melhoria contínua, por exemplo, técnicas associadas ao SMED (Single Minute Exchange of Die), que têm como objetivo encurtar significativamente os tempos de preparação.

5.3.1. Alterações no modelo

A modificação aplicada ao modelo foi exclusivamente nos módulos Process. Mantiveram-se as estações de trabalho (Estação 1, Estação 6 e Estação 8), bem como os recursos associados. No entanto, a lógica do tempo de processamento foi ajustada da seguinte forma:

$$\text{Tempo de Processamento} = 5 + \text{Tempo_Producao}$$

Em vez de considerarmos os 10 minutos fixos de preparação, o novo modelo considera apenas 5 minutos.

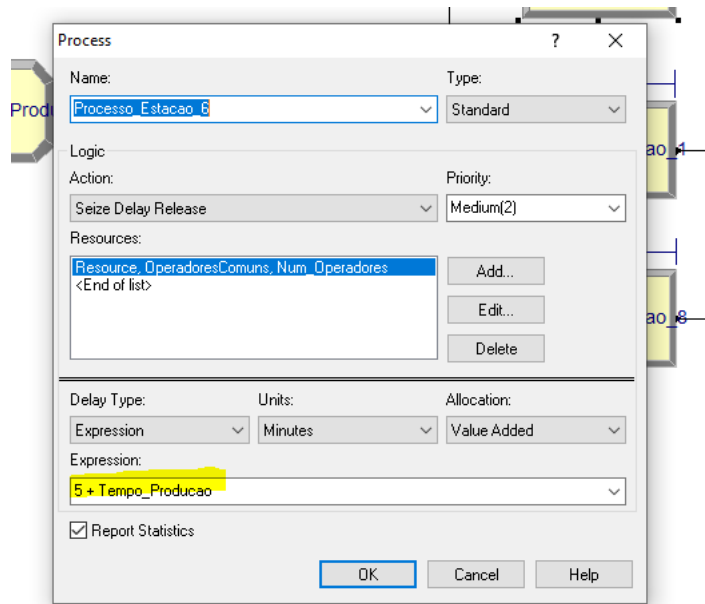


Figura 5.10 configuração do Process com tempo de preparação reduzido

5.3.2. Modelo Final da Proposta 1

A versão final do modelo correspondente a esta proposta encontra-se representada na Figura 5.11. A sua estrutura é idêntica ao Cenário Atual, diferenciando apenas a parametrização dos tempos de preparação, o que irá permitir uma comparação direta entre os dois cenários.

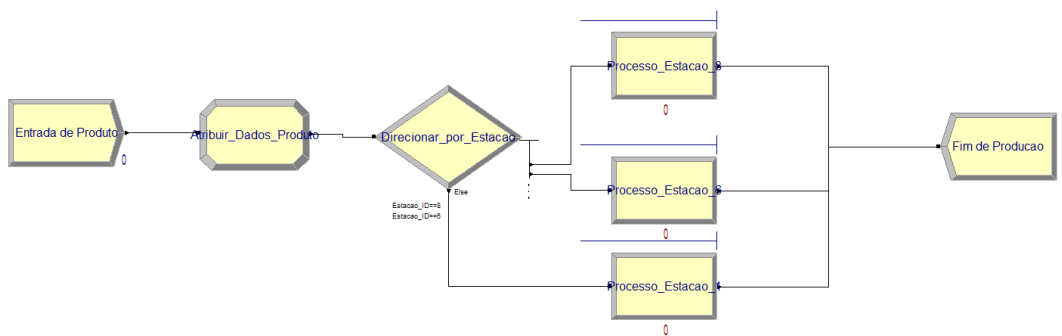


Figura 5.11 Proposta Final da Proposta 1 no Arena

5.4. Proposta 2 – Criação de uma Estação de Apoio

Outra ineficiência que se observa no Cenário Atual é a formação de filas de espera, principalmente na Estação 1. Esta estação apresenta uma elevada carga de trabalho originando períodos de congestionamento e de ociosidade nas outras estações.

Para mitigar esta limitação, a Proposta 2 consiste na criação de uma estação de apoio paralela à Estação 1, com capacidade de absorver parte das ordens de produção quando a fila de espera ultrapassa um limite previamente definido.

5.4.1. Alterações no modelo

Para implementar esta proposta no Arena, foi adicionado um módulo *Decide* imediatamente antes da Estação 1. Este módulo foi configurado do tipo *2-way by Condition*, verificando se o número de entidades em espera na fila da Estação 1 excede o valor de 1.

A lógica definida foi:

Condição: $NQ(\text{Processo_Estacao_1.Queue}) > 1$

- Se a condição for verdadeira: a entidade é desviada para a Estação de Apoio;
- Se a condição for falsa: a entidade segue o fluxo normal, ou seja, segue para a Estação 1.

Desta forma, a Estação de Apoio atua como um recurso alternativo, preparada para realizar as mesmas tarefas da Estação 1.

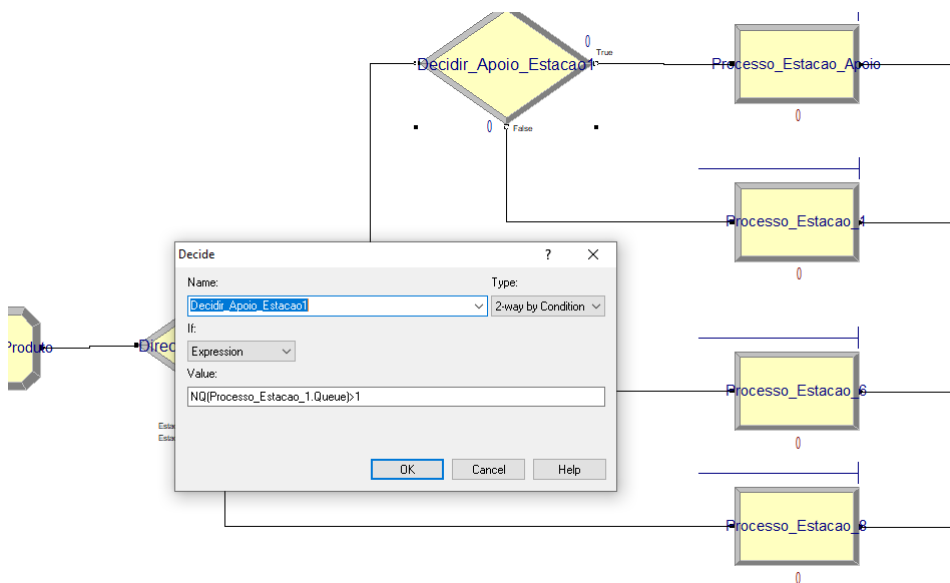


Figura 5.12 Decide para direcionamento à Estação de Apoio

5.4.2. Modelo Final da Proposta 2

A estrutura final do modelo contempla três estações principais (1, 6 e 8), acrescida da Estação de Apoio ligada à Estação 1. A lógica de decisão permite que o sistema escolha dinamicamente qual é a estação mais adequada em função da fila existente, garantindo maior flexibilidade no processo produtivo.

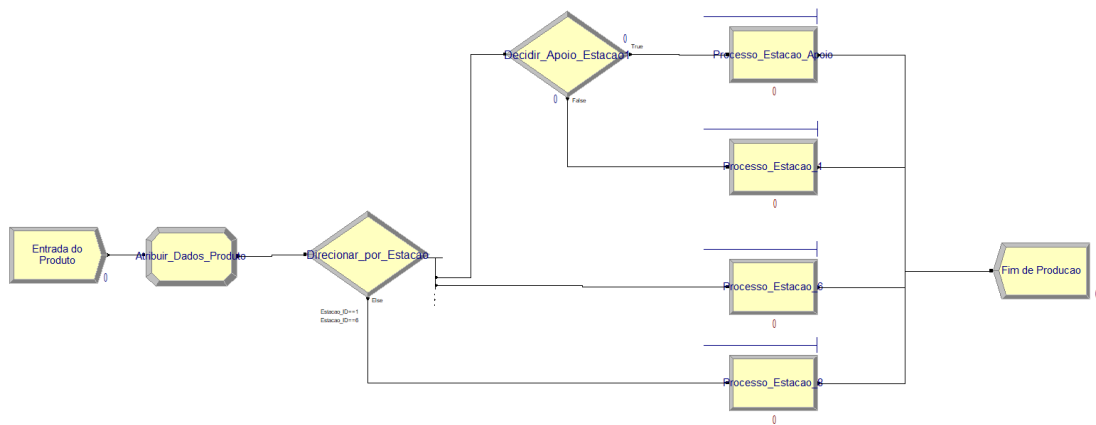


Figura 5.13 Modelo Final da Proposta 2 no Arena

5.5. Proposta 3 – Linha mais lenta

Uma das soluções apresentadas foi reduzir a velocidade de determinadas linhas de produção, com o objetivo de diminuir o número de operadores necessários em cada operação.

5.5.1. Seleção dos Produtos

A estratégia não foi aplicada a todas as referências, apenas às que apresentam um maior impacto na necessidade de mão de obra e que permitem flexibilizar a velocidade sem comprometer a qualidade do resultado. As referências selecionadas foram:

- Drone Spider;
- CS Fun Sparkling Slime;
- CM Fun Vulcões;
- CS2 Fab Slime.

Para estas referências foram ajustadas as taxas de produção, e consequentemente, redefinidos os tempos de produção médios, de forma a reduzir o número de operadores necessários. Os novos parâmetros estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Novos Dados para a Linha mais Lenta

| Referência | Designação | Quantidade | %prod | %acum | Tipo_Produto | Num_Operadores | Estacao_ID | Tempo_Producao |
|------------|------------------------------|------------|--------|--------|--------------|----------------|------------|----------------|
| 80003105 | Criatura Jurássicas | 2000 | 0,0875 | 0,0875 | 1 | 17 | 8 | 100 |
| 80002179 | 10 KIT Ciencias PTES | 1000 | 0,0437 | 0,1312 | 2 | 17 | 8 | 59 |
| 80004464 | Super Rocket XL | 1000 | 0,0437 | 0,1750 | 3 | 16 | 8 | 45 |
| 26008086 | CM FUN Electromagnetismo | 149 | 0,0065 | 0,1815 | 4 | 13 | 6 | 7 |
| 26005696 | CG Ciencia Agua | 1160 | 0,0507 | 0,2322 | 5 | 12 | 6 | 53 |
| 80004111 | Escav A GID | 300 | 0,0131 | 0,2454 | 6 | 14 | 8 | 11 |
| 80004048 | Fun Eletromagnetismo PTES | 500 | 0,0219 | 0,2672 | 7 | 13 | 8 | 18 |
| 80004048 | Fun Eletromagnetismo EM | 500 | 0,0219 | 0,2891 | 8 | 13 | 8 | 18 |
| 80003571 | Drone Spider | 1000 | 0,0437 | 0,3328 | 9 | 10 | 8 | 60 |
| 26008440 | CG Fab Viscosa GID | 1200 | 0,0525 | 0,3853 | 10 | 10 | 6 | 52 |
| 26008147 | CG BLOCO EMBAL ESCAV Y | 1300 | 0,0569 | 0,4422 | 11 | 4 | 6 | 118 |
| 26008150 | CG BLOCO EMBAL ESCAV X | 976 | 0,0427 | 0,4849 | 12 | 4 | 6 | 89 |
| 26006534 | CS Starter Kit Dino Eggs | 1008 | 0,0441 | 0,5290 | 13 | 6 | 6 | 36 |
| 26006752 | Reag V2 Kit Ciencias | 1310 | 0,0573 | 0,5863 | 14 | 8 | 6 | 57 |
| 26008412 | CS FUN Sparkling Slime | 1200 | 0,0525 | 0,6388 | 15 | 8 | 6 | 60 |
| 26007593 | CM Fun Vulcoes | 1008 | 0,0441 | 0,6829 | 16 | 8 | 6 | 56 |
| 26008130 | CS2 Fab Slime | 155 | 0,0068 | 0,6896 | 17 | 8 | 6 | 9 |
| 26008156 | Cont Bloco Escav A | 519 | 0,0227 | 0,7123 | 18 | 4 | 6 | 130 |
| 26008154 | Cont Bloco Escav B | 519 | 0,0227 | 0,7351 | 19 | 4 | 6 | 130 |
| 26004370 | F15 Pugm GID s picto 5g | 800 | 0,0350 | 0,7700 | 20 | 2 | 1 | 21 |
| 26007530 | Cont S1710 4 Peoes Dado Azul | 1163 | 0,0509 | 0,8209 | 21 | 2 | 1 | 15 |
| 26002497 | S710 6 Peoes 2 Dados | 1188 | 0,0520 | 0,8729 | 22 | 4 | 1 | 38 |
| 26004155 | Cont S710 Bolas Algodao | 1700 | 0,0744 | 0,9472 | 23 | 7 | 1 | 100 |
| 26008409 | Cont Envelope+Aut+Folha | 1206 | 0,0528 | 1,0000 | 24 | 8 | 6 | 38 |

5.5.2. Configuração no Arena

No modelo de simulação, a alteração implementada ajustou os valores da distribuição Discrete utilizada para atribuir os atributos: Num_Operadores e Tempo_Producao, a cada entidade. Ficando os atributos da seguinte forma:

- Num_Operadores

DISC(0.0875,17, 0.1312,17, 0.1750,16, 0.1815,13, 0.2322,12, 0.2454,14, 0.2672,13, 0.2891,13, **0.3328,10**, 0.3853,10, 0.4422,4, 0.4849,4, 0.5290,6, 0.5863,8, **0.6388,8**, **0.6829,8**, **0.6896,8**, 0.7123,4, 0.7351,4, 0.7700,2, 0.8209,2, 0.8729,4, 0.9472,7, 1.0,8)

- Tempo_Producao

DISC(0.0875,100, 0.1312,59, 0.1750,45, 0.1815,7, 0.2322,53, 0.2454,11, 0.2672,18, 0.2891,18, **0.3328,60**, 0.3853,52, 0.4422,118, 0.4849,89, 0.5290,36, 0.5863,57, **0.6388,60**, **0.6829,56**, **0.6896,9**, 0.7123,130, 0.7351,130, 0.7700,21, 0.8209,15, 0.8729,38, 0.9472,100, 1.0,38)

5.5.3. Modelo Final

O resultado desta modificação encontra-se representado na Figura 5.14, onde se observa o modelo atualizado com a configuração da Linha mais Lenta.

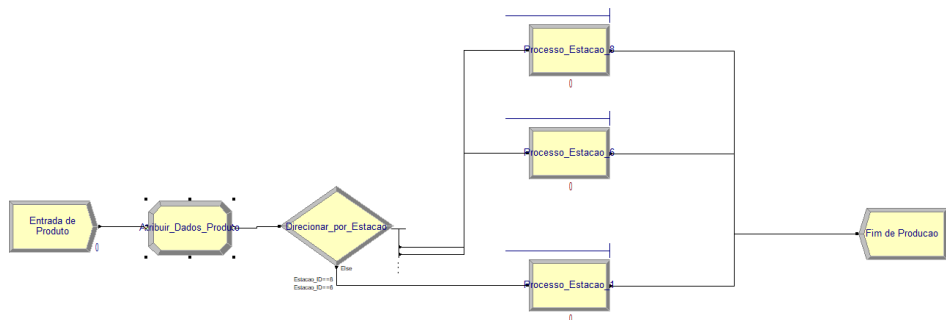


Figura 5.14 Proposta Final da Proposta 3 no Arena

5.6. Proposta 1+2 – Redução do Tempo de Preparação e Recurso a uma Estação de Apoio

Esta proposta trata-se de um cenário híbrido, onde se conjugam duas propostas:

1. Redução do tempo de preparação das operações de 10 para 5 minutos;
2. Criação de uma estação de apoio dedicada a absorver picos de procura, sobretudo na Estação 1, onde se verificam maiores tempos de espera.

A lógica desta proposta é simples: a diminuição dos tempos de preparação aumenta a disponibilidade efetiva para a produção, enquanto a estação atua como mecanismo de flexibilidade, reduzindo gargalos e equilibrando melhor a alocação de operadores.

5.6.1. Alterações no Modelo

A implementação deste cenário no Arena exigiu duas modificações principais:

- Processos com tempos de preparação reduzidos:

No módulo Process, a expressão utilizada passou a ser $5 + \text{Tempo_Producao}$, refletindo a nova configuração (Figura 5.10).

- Inclusão de uma estação de apoio para a Estação 8:

Introduziu-se um Decide adicional do tipo *2-way by Condition*, onde a condição avalia se a fila da Estação 1 tem mais do que uma entidade em espera (Figura 5.12).

- Caso verdadeiro: a entidade segue para a Estação de Apoio.
- Caso falso: a entidade é processada na estação 8.

5.6.2. Modelo Final

A figura 5.15 representa o modelo resultante da combinação das duas propostas.

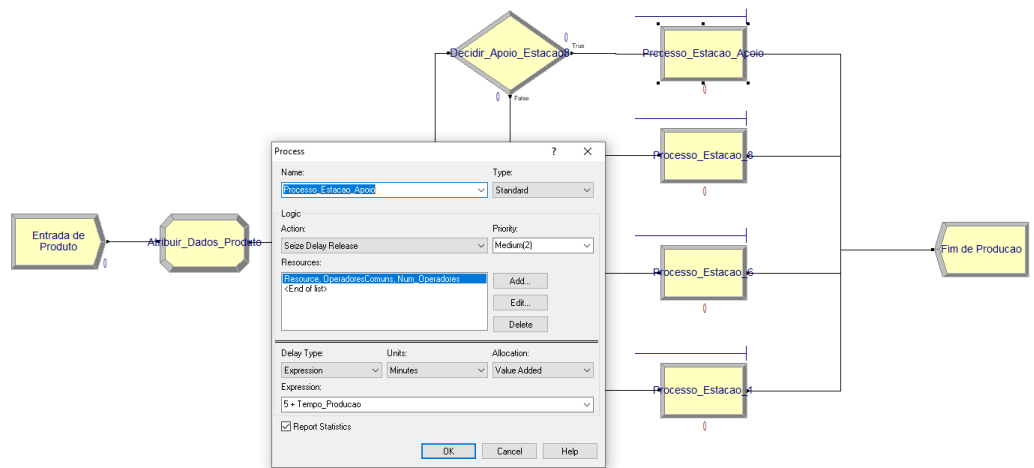


Figura 5.15 Proposta com Tempo de Preparação de 5 minutos e Estação de Apoio

6 Análise e Discussão de Resultados

6.1. Análise Teórica das Propostas

Com base na análise desenvolvida no Capítulo 4, foi possível comparar o desempenho do cenário atual com as diferentes propostas de melhoria consideradas: redução dos tempos de preparação (Proposta 1), criação de estação de apoio (Proposta 2) e linha mais lenta (Proposta 3, incluindo a combinação com a Proposta 1).

No cenário atual, verificou-se um desperdício elevado resultando de duas fontes principais:

- Períodos significativos de operadores sem atividade atribuída, representando subutilização de recursos humanos;
- Impossibilidade de concluir determinadas operações no período de trabalho disponível.

Este cenário traduz-se num custo total de desperdício estimado em 5 559,15 € e na não realização de duas operações previstas para a Estação 1.

A Proposta 1, correspondente à redução dos tempos médios de preparação de 10 para 5 minutos, revelou ganhos moderados. Ainda que tenha permitido uma maior fluidez na alternância entre operações, persistem períodos de ociosidade relevantes e a não realização de todas as operações previstas. O desperdício total deste cenário foi estimado em aproximadamente 5 425,20 €, representando uma economia de apenas 2% relativamente ao cenário atual.

A Proposta 2, que introduz uma estação de apoio, apresentou resultados mais expressivos quando combinada com a redução dos tempos de preparação. Neste caso, verificou-se a possibilidade de realizar mais uma operação face ao cenário atual, bem como uma redução global de 30% no desperdício, o que corresponde a um valor de 3 900,34 €. Este resultado evidencia o impacto positivo da flexibilidade adicional na gestão de recursos e na absorção de sobrecargas pontuais.

Por fim, a Proposta 3, que consistiu na redução da velocidade da linha de produção em determinadas operações críticas, demonstrou ser a alternativa mais eficaz. Quando considerada com tempo de preparação de 10 minutos, resultou na impossibilidade de completar três operações e num desperdício global de 4 419,60 €. Contudo, ao ser combinada com a redução dos tempos de preparação (Proposta 3+1), obteve-se um desempenho significativamente superior, apenas uma operação não é concluída e apresenta um desperdício total de 2 053,55 €, o que representa uma redução de 63% comparado com o cenário atual.

De forma resumida, a análise teórica sugere que:

- O cenário atual é insustentável, com elevados níveis de desperdício e baixa eficiência;
- A Proposta 1, embora positiva, gera impactos limitados;
- A Proposta 2 introduz melhorias significativas, mas não resolve por completo o problema do balanceamento das linhas;
- A Proposta 3, sobretudo quando combinada com a redução dos tempos de preparação, apresenta os melhores resultados globais, reduzindo substancialmente o desperdício e maximizando a utilização dos recursos.

Tabela 6.1: Variação face ao Cenário Atual

| Cenário | Operações Concluídas | Operações Não Concluídas | Desperdício (€) | Variação face ao Cenário Atual |
|---|----------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Cenário Atual | 21 | 3 | 5559,15 | - |
| Proposta 1- Redução do Tempo de Preparação (5 min) | 22 | 2 | 5425,20 | -2% |
| Proposta 2 – Estação de Apoio (com 5 min preparação) | 23 | 1 | 3900,34 | -30% |
| Proposta 3 – Linha Mais Lenta (10 min preparação) | 21 | 3 | 4419,60 | -19% |
| Proposta 3+1 – Linha Mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 min) | 23 | 1 | 2053,55 | -63% |

6.2. Resultados da simulação no Arena

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos a partir das simulações desenvolvidas no Arena, comparando o desempenho do cenário atual com as diferentes propostas de melhoria.

Para a análise foram selecionados quatro indicadores principais:

- Número de Produções Concluídas – reflete a capacidade produtiva alcançada;

- Tempo Médio de Processamento – mede a eficiência das operações;
- Tempo Médio de Espera – indicador da fluidez do fluxo produtivo;
- Taxa de Utilização dos Operadores – avalia a adequação e aproveitamento dos recursos humanos.

A escolha destes indicadores justifica-se pelo facto de permitirem avaliar simultaneamente a produtividade do sistema, a eficiência operacional e o nível de utilização dos recursos humanos, que constituem dimensões críticas no processo de otimização do plano de produção.

6.2.1. Número de Produções Concluídas

A tabela apresenta os resultados obtidos relativamente ao número total de produções concluídas em cada cenário analisado, comparativamente ao cenário atual.

Tabela 6.2: Resultados do Número de Produções

| Cenário | Produções | vs Cenário Atual |
|--|------------------|-------------------------|
| <i>Cenário Atual</i> | 18 | - |
| <i>Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 18 | 100% |
| <i>Estação de Apoio (com 10 min preparação)</i> | 18 | 100% |
| <i>Estação de Apoio (com 5 min preparação)</i> | 19 | 106% |
| <i>Linha Mais Lenta (10 min preparação)</i> | 18 | 100% |
| <i>Linha Mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 19 | 106% |

A análise permite concluir que nenhum dos cenários testados apresenta um desempenho inferior ao Cenário Atual, mantendo-se ou superando-se o número de produções realizadas.

Constata-se que a simples redução do tempo de preparação para 5 minutos ou a introdução de uma Estação de Apoio ou a linha mais lenta com 10 minutos de preparação não alteram o número de produções face ao estado atual, mantendo as 18 unidades concluídas. Já os cenários que combinam duas medidas de melhoria apresentam maior impacto positivo: a introdução de uma estação de apoio com tempos de preparação reduzidos e a linha mais lenta com tempo de preparação reduzido resultam num aumento de 6% na produção total, totalizando 19 produções concluídas. Este resultado evidencia que as ações combinadas potenciam ganhos mais significativos do que a aplicação isolada de medidas, reforçando a importância de uma abordagem integrada para a otimização do sistema produtivo.

6.2.2. Tempo Médio de Processamento

O tempo médio de processamento corresponde à média do tempo dispensado na execução das operações produtivas, excluindo tempos de espera. Este indicador permite avaliar a eficiência operacional e a rapidez com que as ordens de produção são concluídas em cada cenário.

Tabela 6.3: Resultados do Tempo Médio de Processamento

| Cenário | Tempo médio de processamento (min) | vs Cenário Atual |
|--|---|-------------------------|
| <i>Cenário Atual</i> | 67,5 | - |
| <i>Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 62,5 | 93% |
| <i>Estação de Apoio (com 10 min preparação)</i> | 67,5 | 100% |
| <i>Estação de Apoio (com 5 min preparação)</i> | 62,47 | 92,6% |
| <i>Linha Mais Lenta (10 min preparação)</i> | 69,5 | 103% |
| <i>Linha Mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 66,05 | 98% |

A análise da Tabela 6.3 permite identificar que os melhores resultados de eficiência são obtidos quando o tempo de preparação é reduzido para 5 minutos, isoladamente ou em combinação com a Estação de Apoio. Nesses casos, o tempo médio de processamento diminui para valores próximos de 62 minutos, o que representa uma melhoria de cerca de 7% face ao cenário atual.

Por outro lado, a introdução da linha mais lenta com 10 minutos de preparação leva a um aumento do tempo médio de processamento para 69,5 minutos (+3%), evidenciando que esta medida, quando aplicada isoladamente, compromete a eficiência do sistema. Por fim, quando a linha mais lenta é combinada com a redução do tempo de preparação, o desempenho aproxima-se do cenário atual (66 minutos; -2%), sugerindo que o impacto negativo da redução de velocidade pode ser parcialmente compensado pela diminuição dos tempos de preparação.

Assim verifica-se que a redução dos tempos de preparação apresenta-se como a medida mais eficaz para reduzir o tempo médio de processamento, sobretudo quando associada a outras propostas de melhoria.

6.2.3. Tempo Médio de Espera

O tempo médio de espera representa o intervalo médio em que os produtos permanecem inativos no sistema antes de serem processados. Este indicador está

associado a desperdícios na produção, uma vez que períodos de espera significam que os operadores estão subutilizados. A sua análise é fundamental para avaliar o impacto das propostas na redução de ineficiências.

Tabela 6.4: Resultados do Tempo Médio de Espera

| Cenário | Tempo de Espera Médio (min) | vs Cenário Atual |
|--|------------------------------------|-------------------------|
| <i>Cenário Atual</i> | 166,17 | - |
| <i>Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 149,5 | 90% |
| <i>Estação de Apoio (com 10 min preparação)</i> | 161,33 | 97% |
| <i>Estação de Apoio (com 5 min preparação)</i> | 155 | 93% |
| <i>Linha Mais Lenta (10 min preparação)</i> | 161 | 97% |
| <i>Linha Mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 154,29 | 93% |

Os resultados evidenciam que todos os cenários analisados apresentam um desempenho superior ao cenário atual, ainda que em magnitudes diferentes.

A redução do tempo de preparação para 5 minutos destaca-se como a proposta mais eficaz, permitindo uma diminuição de cerca de 10% no tempo médio de espera (149,5 minutos). Este resultado demonstra que a diminuição do tempo de preparação contribui de forma direta para a redução de congestionamentos e períodos de inatividade no sistema.

Por outro lado, a introdução de uma estação de apoio com 10 minutos de preparação e a aplicação da linha mais lenta resultam em melhorias mínimas de reduções de apenas 3%, o que evidencia que, isoladamente, estas medidas não são suficientemente expressivas para alterar o desempenho global.

Já quando a estação de apoio ou a linha mais lenta são combinadas com a redução do tempo de preparação, o desempenho melhora consideravelmente, atingindo valores próximos dos 93% do cenário atual.

Em síntese, a análise mostra que a redução dos tempos de preparação é o fator determinante para a redução do tempo médio de espera.

6.2.4. Taxa de Utilização dos Operadores

A taxa de utilização dos operadores mede a proporção de tempo que os recursos humanos estão efetivamente alocados em atividades produtivas, em relação ao tempo total disponível. Este indicador é crucial, uma vez que níveis elevados de ociosidade representam desperdícios de capacidade produtiva e custos adicionais sem retorno. Assim, maximizar a taxa de utilização é um dos objetivos centrais deste estudo.

Tabela 6.5: Resultados da Taxa de Utilização dos Operadores

| Cenário | Taxa de Utilização (%) | vs Cenário Atual |
|--|-------------------------------|-------------------------|
| <i>Cenário Atual</i> | 86,55% | - |
| <i>Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 84,16% | 97% |
| <i>Estação de Apoio (com 10 min preparação)</i> | 87,51% | 101% |
| <i>Estação de Apoio (com 5 min preparação)</i> | 87,75% | 101% |
| <i>Linha Mais Lenta (10 min preparação)</i> | 88,20% | 102% |
| <i>Linha Mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 min)</i> | 87,85% | 102% |

A análise revela que, de forma geral, os cenários propostos apresentam melhorias face ao estado atual, com exceção do cenário que contempla apenas a redução do tempo de preparação para 5 minutos apresenta uma ligeira diminuição (84,16%).

A implementação de uma estação de apoio, independentemente do tempo de preparação, tem aumentos da taxa de utilização para valores entre os 87,5% e 87,8%. Estes resultados demonstram que tais medidas contribuem para um melhor equilíbrio entre as cargas de trabalho e reduzem os períodos de inatividade dos operadores.

No entanto, os melhores resultados verificam-se nos cenários de linha mais lenta (com ou sem redução do tempo de preparação), que apresentam uma taxa de utilização próxima de 88%, o que corresponde a uma melhoria de 2% relativamente ao cenário atual.

Em suma, os resultados indicam que, enquanto a redução isolada do tempo de preparação não melhora a utilização dos operadores, a criação de uma estação de apoio e a redução da velocidade das linhas, revelam-se estratégias eficazes para minimizar a ociosidade e otimizar o uso da mão de obra disponível.

6.2.5. Análise Global dos Resultados da simulação

Após a análise individual de cada indicador de desempenho, importa realizar uma avaliação global que permita comparar os diferentes cenários e compreender os seus trade-offs.

De forma resumida, os principais resultados podem ser assim resumidos:

- Número de produções: Os cenários com estação de apoio (5 min) e linha mais lenta + redução do tempo de preparação apresentam o melhor desempenho (19 produções, +6% face ao cenário atual).

- Tempo Médio de Processamento: A redução do tempo de preparação (isolada ou combinada com outras medidas) apresenta os melhores resultados, diminuindo 7% o tempo de processamento médio.
- Tempo Médio de Espera: Todos os cenários apresentam melhorias face ao atual, com destaque para a redução do tempo de preparação (5 min), que reduz o tempo de espera em aproximadamente 10%.
- Taxa de Utilização dos Operadores: As propostas de linha mais lenta (com ou sem redução do tempo de preparação) apresentam os melhores resultados com um aumento de 2% na utilização.

Esta análise evidencia que nenhum cenário é claramente superior em todos os indicadores. Cada proposta apresenta vantagens em determinados aspetos e limitações noutros:

- A redução do tempo de preparação melhora o processamento e o tempo de espera, no entanto, não maximiza a utilização dos operadores.
- A estação de apoio permite aumentar o número de produções, mas mantém tempos de espera relativamente elevados.
- A linha mais lenta favorece a utilização dos operadores, mas implica tempos médios de processamento mais elevados.

Assim, verifica-se que a escolha da melhor proposta não é trivial, uma vez que depende da prioridade atribuída a cada critério de desempenho. Se o objetivo principal for aumentar o número de produções, o cenário ideal não será necessariamente o mesmo do que se a prioridade for reduzir o tempo de espera ou maximizar a utilização dos operadores.

Face a esta variedade de critérios e à ausência de uma solução dominante, tornou-se necessário recorrer a um modelo de apoio multicritério à decisão. Neste contexto, será aplicada a metodologia *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, que permite estruturar o problema, ponderar os critérios e apoiar a escolha da alternativa mais adequada ao contexto da empresa.

6.3. Aplicação do AHP

De forma a apoiar a tomada de decisão efetuada pelo Gestor de Operações, optou-se pela utilização do AHP, uma metodologia de apoio multicritério que permite comparar alternativas com base em diferentes critérios de desempenho. O objetivo central desta aplicação é selecionar a proposta de melhoria mais adequada para o processo produtivo em estudo.

A estrutura hierárquica definida encontra-se representada na Figura 6.1. No nível superior está o objetivo global: Escolher a melhor proposta de melhoria.

No segundo nível estão os critérios de avaliação, selecionados com base nos indicadores analisados anteriormente:

- C1- Número de Produções (capacidade de cumprir o plano);
- C2- Tempo Médio de Processamento (eficiência na execução das ordens);
- C3- Tempo Médio de Espera (nível de fluidez no processo);
- C4- Taxa de Utilização dos Operadores (grau de aproveitamento dos recursos humanos).

No último nível encontram-se as alternativas (cenários de simulação):

1. Redução do Tempo de Preparação (5 minutos);
2. Estação de Apoio (com 10 minutos de preparação);
3. Estação de Apoio (com 5 minutos de preparação);
4. Linha mais lenta (10 minutos de preparação);
5. Linha mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 minutos).

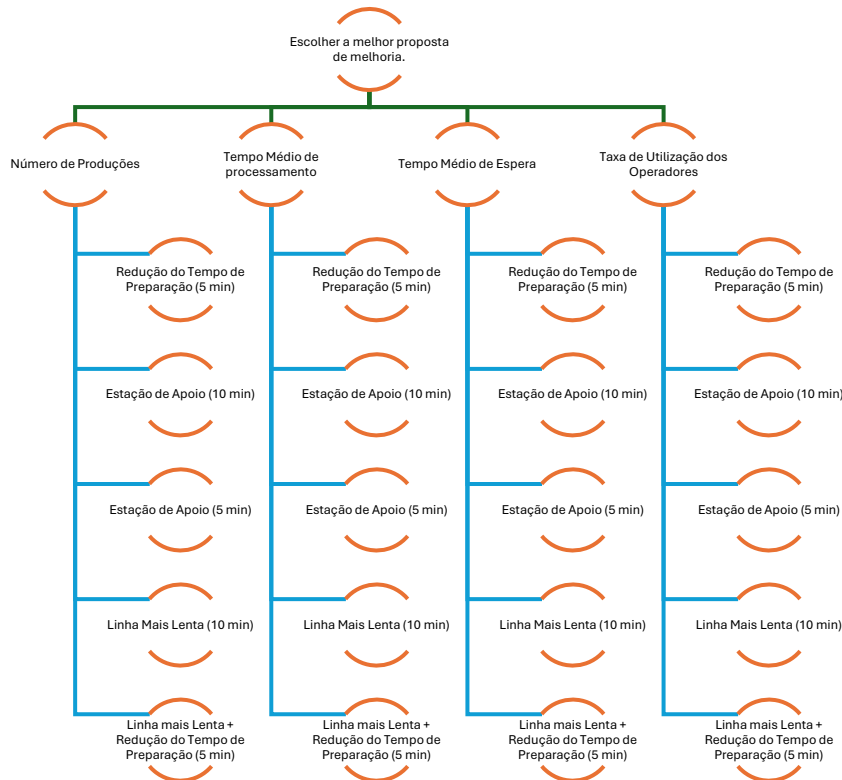


Figura 6.1 Estrutura Hierárquica do AHP

6.3.1. Definição dos Pesos dos Critérios

Após a definição da estrutura hierárquica do problema, foi necessário estabelecer a importância relativa de cada critério. Para tal, recorreu-se à matriz de comparações par a par, seguindo a escala fundamental de Saaty (1 a 9), que permite quantificar preferências relativas entre critérios.

A lógica de atribuição de pesos foi baseada na relevância prática de cada indicador para os objetivos da empresa e segundo a visão do Gestor de Operações:

- O Número de Produções foi considerado o critério mais importante, dado que reflete a capacidade do sistema de cumprir o plano produtivo diário. Este aspeto está diretamente associado à satisfação da procura e ao desempenho global da fábrica.
- A taxa de Utilização dos Operadores surge como o segundo critério em importância, uma vez que está relacionada com a eficiência na alocação dos recursos humanos e com a minimização de desperdício de mão de obra.
- O tempo Médio de Espera foi considerado de importância intermédia, pois influencia a fluidez do processo e a existência de gargalos, ainda que não comprometa diretamente o volume de produção.
- Por último, o Tempo Médio de Processamento recebeu o menor peso, sendo relevante para a eficiência, mas com impacto indireto, dado que diferenças pontuais neste indicador não inviabilizam o cumprimento do plano de produção.

Com base nestas considerações, construiu-se a matriz de julgamentos, apresentada na Tabela 6.6, onde se pode observar a comparação par a par entre os critérios.

Tabela 6.6: Matriz de Julgamento

| | Número de Produções | Tempo Médio de Processamento | Tempo médio de Espera | Taxa de Utilização dos Operadores |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Número de Produções | 1,000 | 7,000 | 5,000 | 3,000 |
| Tempo Médio de Processamento | 0,143 | 1,000 | 0,333 | 0,143 |
| Tempo Médio de Espera | 0,200 | 3,000 | 1,000 | 0,200 |
| Taxa de Utilização dos Operadores | 0,333 | 7,000 | 5,000 | 1,000 |
| Soma | 1,676 | 18,000 | 11,333 | 4,343 |

Tabela 6.7: Matriz Normalizada

| | Número de Produções | Tempo Médio de Processamento | Tempo médio de Espera | Taxa de Utilização dos Operadores | Peso do Critério (Média) |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Número de Produções | 0,597 | 0,389 | 0,441 | 0,691 | 0,529 |
| Tempo Médio de Processamento | 0,085 | 0,056 | 0,029 | 0,033 | 0,051 |
| Tempo Médio de Espera | 0,119 | 0,167 | 0,088 | 0,046 | 0,105 |
| Taxa de Utilização dos Operadores | 0,199 | 0,389 | 0,441 | 0,230 | 0,315 |

6.3.2. Avaliação dos Cenários

Após a definição dos pesos dos critérios, procedeu-se à avaliação das diferentes alternativas de melhoria, considerando os resultados obtidos na simulação no Arena. Para isso, foi construída uma matriz de comparação, onde cada cenário foi avaliado em função dos quatro cenários definidos.

A atribuição dos valores resultou da análise dos indicadores de desempenho de cada cenário (número de produções, tempo médio de processamento, tempo médio de espera e taxa de utilização dos operadores). A estes resultados foram aplicados os pesos normalizados dos critérios, de forma a calcular a pontuação final de cada cenário. A Tabela 6.9 apresenta a matriz normalizada, já ponderada com os pesos atribuídos a cada critério (Tabela 6.8).

Tabela 6.8: Tabela de Julgamento dos Cenários

| | Número de Produções | Tempo Médio de Processamento | Tempo médio de Espera | Taxa de Utilização dos Operadores |
|---|---------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Redução do Tempo de Preparação (5 minutos) | 1 | 7 | 7 | 1 |
| Estação de Apoio (com 10 minutos de preparação) | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Estação de Apoio (com 5 minutos de preparação) | 7 | 7 | 5 | 5 |
| Linha mais lenta (10 minutos de preparação) | 1 | 1 | 3 | 7 |
| Linha mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 minutos) | 7 | 5 | 5 | 7 |

Tabela 6.9: Matriz Ponderada

| | Número de Produções | Tempo Médio de Processamento | Tempo médio de Espera | Taxa de Utilização dos Operadores | Total |
|---|---------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------|
| Redução do Tempo de Preparação (5 minutos) | 0,529 | 0,355 | 0,735 | 0,315 | 1,935 |
| Estação de Apoio (com 10 minutos de preparação) | 0,529 | 0,102 | 0,315 | 1,574 | 2,520 |
| Estação de Apoio (com 5 minutos de preparação) | 3,706 | 0,355 | 0,525 | 1,574 | 6,160 |
| Linha mais lenta (10 minutos de preparação) | 0,529 | 0,051 | 0,315 | 2,204 | 3,099 |
| Linha mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 minutos) | 3,706 | 0,254 | 0,525 | 2,204 | 6,688 |

Da análise desta matriz conclui-se que:

- A proposta com melhor desempenho global é a Linha mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 minutos), que obteve a pontuação mais elevada (6,688).
- Em segundo lugar surge a alternativa Estação de Apoio (com 5 minutos de preparação), com um total de 6,160 pontos.
- Seguem-se a Linha Mais Lenta (10 minutos de preparação) e a Estação de Apoio (10 minutos), com desempenhos intermédios (3,099 e 2,520 respetivamente).
- Por último, a Redução isolada do Tempo de Preparação para 5 minutos apresenta o pior resultado (1,935), confirmando que esta ação, de forma isolada, não é suficiente para alcançar ganhos expressivos.

6.3.3. Discussão dos Resultados do *AHP*

A aplicação do *AHP* permitiu integrar os diferentes cenários de avaliação previamente definidos e obter uma decisão robusta sobre a proposta de melhoria mais vantajosa. Os resultados evidenciam que a alternativa Linha mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 minutos) apresenta o melhor desempenho global.

Esta escolha pode ser interpretada da seguinte forma:

- Número de Produções: A alternativa selecionada, apesar de não assegurar o cumprimento do plano produtivo proposto, é uma das propostas que mais se aproxima da produção máxima possível.
- Taxa de Utilização dos Operadores: O elevado peso atribuído a este critério justifica a vantagem desta solução, uma vez que permite um aproveitamento mais equilibrado e eficiente da mão de obra disponível, reduzindo a ociosidade.

- Tempo Médio de Espera: Embora não seja a solução que minimiza totalmente os tempos de espera, esta apresenta resultados bastante satisfatórios quando comparados com o cenário atual.
- Tempo Médio de Processamento: Este critério, que foi o que teve menor peso relativo, não compromete a decisão final, dado que os resultados obtidos se mantêm dentro de limites aceitáveis.

Importa salientar que se analisássemos algumas propostas apenas de indicador a indicador, estas apresentavam bons resultados em determinados indicadores, como a Estação de Apoio com 5 minutos de preparação quando analisada no tempo médio de espera. No entanto, quando queremos analisar em todos os indicadores a redução dos tempos de preparação e diminuição da velocidade da linha foi a que apresentou maiores ganhos.

Deste modo, o *AHP* revelou-se uma ferramenta essencial para apoiar a decisão, ao permitir uma visão integrada dos resultados e evitar conclusões contraditórias que poderiam advir da análise isolada dos indicadores.

6.4. Resumo Final da Análise

A análise e discussão de resultados realizada neste capítulo permitiu avaliar de forma detalhada o impacto das diferentes propostas de melhoria sobre o desempenho do sistema produtivo.

Numa primeira fase, a análise teórica evidenciou as limitações do cenário atual, onde existem se tornaram evidente elevados desperdícios de mão de obra e pela impossibilidade de concluir todas as operações planeadas. As propostas avaliadas demonstram potenciais ganhos com destaque para a combinação da redução dos tempos de preparação com a diminuição da velocidade da linha, que revelou a maior redução de desperdícios (-63%) e a maior eficiência global.

Posteriormente, os resultados da simulação no Arena permitiram validar e quantificar os impactos das propostas em quatro indicadores-chave: número de produções concluídas, tempo médio de processamento, tempo médio de espera e taxa de utilização dos operadores. A análise mostrou que:

- O número de produções melhora apenas em cenários combinados, atingindo 19 produções concluídas (+6% face ao cenário atual);
- O tempo médio de processamento beneficia sobretudo da redução do tempo de preparação (-7%);
- O tempo médio de espera apresenta reduções em todos os cenários com destaque para a redução do tempo de preparação (-10%);

- A taxa de utilização dos operadores melhora sobretudo nos cenários de linha mais lenta (+2%).

Apesar destas conclusões, nenhum cenário se destacou simultaneamente em todos os indicadores, existindo *trade-offs* entre produtividade, eficiência operacional e utilização da mão de obra.

Face a esta dificuldade em selecionar a proposta mais vantajosa apenas pela análise direta dos indicadores, recorreu-se à metodologia do AHP. A sua utilização permitiu atribuir pesos diferenciados aos critérios, refletindo a importância estratégica da produção concluída e da utilização eficiente dos operadores.

Os resultados do *AHP* confirmaram que a alternativa mais adequada é a combinação da Linha mais Lenta + Redução do Tempo de Preparação (5 minutos), que apresentou o melhor desempenho global, enquanto a redução isolada do tempo de preparação mostrou-se a menos eficaz.

Em resumo, a integração da análise teórica, da simulação e do *AHP* permitiu obter uma visão abrangente e fundamentada, garantindo maior robustez à decisão.

7 Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo otimizar o plano de produção de uma unidade fabril, procurando reduzir desperdícios, melhorar a utilização dos recursos humanos e aumentar a eficiência global do sistema. Para tal, recorreu-se a uma abordagem que combinou a análise teórica do problema, o desenvolvimento de modelos de simulação no software Arena e, finalmente, a aplicação de um modelo de apoio multicritério à decisão, nomeadamente o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A investigação permitiu demonstrar que o cenário atual apresenta fragilidades relevantes, traduzidas em elevados períodos de ociosidade dos operadores e na impossibilidade de concluir determinadas ordens de produção no tempo disponível seja por falta de tempo como de operadores. A análise teórica das propostas de melhoria revelou que a simples redução dos tempos de preparação de 10 minutos para 5 minutos trouxe ganhos limitados, enquanto a criação de uma estação de apoio ou a linha mais lenta podem ter impactos mais significativos, sobretudo quando combinadas entre si.

Os resultados da simulação no Arena confirmaram estas tendências, mostrando que nenhuma proposta apresentou pior desempenho face ao cenário atual, mas que os maiores ganhos surgem da aplicação conjunta de medidas. Em particular, verificou-se que a combinação da linha mais lenta com a redução dos tempos de preparação permitiu aumentar o número de produções concluídas, reduzir o tempo médio de espera e maximizar a taxa de utilização dos operadores, embora à custa de um tempo médio de processamento ligeiramente superior.

A aplicação do AHP foi determinante para integrar os diferentes critérios de avaliação e apoiar a escolha da melhor alternativa. Com base nos pesos atribuídos, que refletiam a importância prática de cada indicador, a proposta com melhor desempenho global foi a linha mais lenta conjugada com a redução dos tempos de preparação. Esta solução destacou-se por equilibrar de forma mais eficaz os diferentes objetivos do sistema, garantindo maior robustez e eficiência na gestão da produção.

Apesar dos contributos alcançados, este estudo apresenta algumas limitações que importa reconhecer. Em primeiro lugar, a análise foi realizada considerando apenas um horizonte temporal correspondente a um dia de produção, sem considerar variações de procura ou vários dias de produção. Além disso, a modelação implicou algumas simplificações, nomeadamente na definição dos tempos de chegada e no sequenciamento das ordens de produção, o que poderá influenciar os resultados obtidos, e não resolver ao problema de produzir todos os produtos planeados para o dia em análise. Por fim, a utilização de um único método multicritério poderá ser vista como uma limitação, uma vez que diferentes técnicas poderiam conduzir a decisões alternativas.

Em termos de contributos, esta dissertação apresenta um duplo impacto. Do ponto de vista prático, fornece à empresa um conjunto de propostas de melhoria fundamentadas e uma ferramenta de apoio à decisão que pode ser replicada em diferentes cenários. Já do ponto de vista académico, reforça a utilidade da simulação de eventos discretos e do *AHP* na otimização de sistemas produtivos, contribuindo para a literatura sobre a integração de metodologias quantitativas em problemas de planeamento industrial.

Em síntese, os resultados obtidos demonstram que a combinação entre redução de tempos de preparação e flexibilização da linha de produção constitui a estratégia mais eficaz para melhorar o desempenho do sistema em análise. A relevância desta investigação consiste na sua capacidade de aliar a vertente académica e aplicabilidade prática, oferecendo soluções concretas para um problema real e ao mesmo tempo abrindo novas perspetivas para trabalhos futuros no domínio da otimização da produção.

7.1. Trabalhos Futuros

As limitações encontradas nesta dissertação abrem portas para futuras linhas de investigação que poderão complementar e aprofundar tais como:

- Horizonte temporais mais longos: expandir a análise para mais do que um dia de produção, considerando diferentes níveis de procura, sazonalidade e a variação da carga de trabalho.
- Integração da incerteza: introduzir variabilidade nos tempos de processamento oriundos de falhas de máquinas, ausências de operadores, entre outros, aproximando o modelo da realidade no ambiente fabril.
- Avaliação de diferentes modelos multicritério: aplicar outras metodologias, como o *TOPSIS*, *ELECTRE* ou *PROMETHEE*, comparando os resultados com os obtidos pelo *AHP*.

- Modelos híbridos: explorar a integração da simulação com técnicas de otimização (heurísticas ou metaheurísticas), de forma a identificar soluções ainda mais eficientes para o planeamento da produção.
- Análise de custos e impacto económico: incluir indicadores financeiros, de forma a quantificar os ganhos económicos associados às diferentes propostas de melhoria.
- Expansão a outros contextos produtivos: avaliar a aplicabilidade do modelo a outros setores industriais, verificando assim a sua robustez e adaptabilidade.

Referências bibliográficas

- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
- George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma quality with Lean speed*. McGraw-Hill.
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). *Going lean*. Lean Enterprise Research Centre.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Rawson Associates.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation* (5th ed.). Pearson.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Zupick, N. B. (2015). *Simulation with Arena* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Pegden, C. D., Shannon, R. E., & Sadowski, R. P. (1995). *Introduction to simulation using SIMAN*. McGraw-Hill.
- Pidd, M. (2004). *Computer simulation in management science* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process* (2nd ed.). Springer.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Springer.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*. Cambridge University Press.

- Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding*. Kluwer.
- Scholl, A. (1999). *Balancing and sequencing of assembly lines*. Physica-Verlag.
- Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The Monte Carlo method. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335–341.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method: (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). *Management Science*, 31(6), 647–656.
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674–693.

Anexos

Resultados do Arena – Cenário Atual

16:25:30

Category Overview

setembro 1, 2025

Tese 1

Replications: 1

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

18

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Time**

| VA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 67.5000 | (Insufficient) | 21.0000 | 128.00 |
| NVA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Wait Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 166.17 | (Insufficient) | 0.00 | 394.50 |
| Transfer Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Other Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Total Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 233.67 | (Insufficient) | 67.0000 | 415.50 |

Other

| Number In | Value | | | |
|------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 24.0000 | | | |
| Number Out | Value | | | |
| Produto | 18.0000 | | | |
| WIP | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 12.1639 | (Insufficient) | 0.00 | 20.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

| VA Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|-----------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 61.4000 | (Insufficient) | 25.0000 | 110.00 |
| Processo_Estacao_6 | 57.5714 | (Insufficient) | 21.0000 | 110.00 |
| Processo_Estacao_8 | 84.1667 | (Insufficient) | 48.0000 | 128.00 |
| Wait Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 190.10 | (Insufficient) | 87.5000 | 304.50 |
| Processo_Estacao_6 | 207.43 | (Insufficient) | 0.00 | 394.50 |
| Processo_Estacao_8 | 98.0833 | (Insufficient) | 0.00 | 295.50 |
| Total Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 251.50 | (Insufficient) | 135.00 | 414.50 |
| Processo_Estacao_6 | 285.00 | (Insufficient) | 67.0000 | 415.50 |
| Processo_Estacao_8 | 182.25 | (Insufficient) | 67.0000 | 394.50 |

Accumulated Time

| Accum VA Time | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 307.00 |
| Processo_Estacao_6 | 403.00 |
| Processo_Estacao_8 | 505.00 |



Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

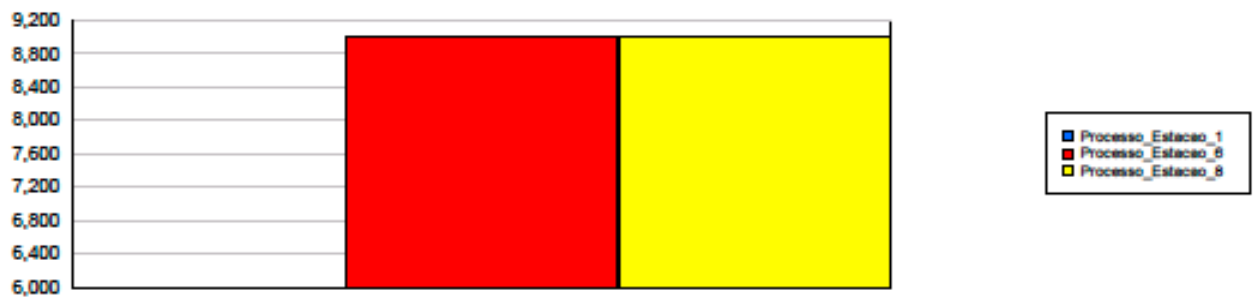
Accumulated Time

| Accum Wait Time | Value |
|--------------------|---------|
| Processo_Estacao_1 | 950.50 |
| Processo_Estacao_6 | 1452.00 |
| Processo_Estacao_8 | 588.50 |



Other

| Number In | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 9.0000 |



| Number Out | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 5.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 7.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 6.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue**Time**

| Waiting Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 220.00 | (Insufficient) | 87.5000 | 369.50 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 230.50 | (Insufficient) | 0.00 | 394.50 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 98.0833 | (Insufficient) | 0.00 | 295.50 |

Other

| Number Waiting | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 2.4444 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 4.1648 | (Insufficient) | 0.00 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 3.2565 | (Insufficient) | 0.00 | 5.0000 |

Resource**Usage**

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 0.8655 | (Insufficient) | 0.00 | 1.0000 |
| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 21.6370 | (Insufficient) | 0.00 | 25.0000 |
| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 25.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 25.0000 |
| Scheduled Utilization | Value | | | |
| OperadoresComuns | 0.8655 | | | |
| Total Number Seized | Value | | | |
| OperadoresComuns | 188.00 | | | |

Proposta 1 – Redução do Tempo de Preparação (5 minutos)

16:28:56

Category Overview

setembro 1, 2025

Tese 1

Replications: 1

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

18

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Time**

| VA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 62.5000 | (Insufficient) | 16.0000 | 123.00 |
| NVA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Wait Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 149.50 | (Insufficient) | 0.00 | 359.50 |
| Transfer Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Other Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Total Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 212.00 | (Insufficient) | 62.0000 | 375.50 |

Other

| Number In | Value | | | |
|------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 24.0000 | | | |
| Number Out | Value | | | |
| Produto | 18.0000 | | | |
| WIP | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 11.4417 | (Insufficient) | 0.00 | 19.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

| VA Time Per Entity | | | | |
|-----------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 56.4000 | (Insufficient) | 20.0000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_6 | 52.5714 | (Insufficient) | 16.0000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_8 | 79.1667 | (Insufficient) | 43.0000 | 123.00 |
| Wait Time Per Entity | | | | |
| | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 172.10 | (Insufficient) | 82.5000 | 269.50 |
| Processo_Estacao_6 | 186.00 | (Insufficient) | 0.00 | 359.50 |
| Processo_Estacao_8 | 88.0833 | (Insufficient) | 0.00 | 265.50 |
| Total Time Per Entity | | | | |
| | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 228.50 | (Insufficient) | 125.00 | 374.50 |
| Processo_Estacao_6 | 238.57 | (Insufficient) | 62.0000 | 375.50 |
| Processo_Estacao_8 | 167.25 | (Insufficient) | 62.0000 | 359.50 |

Accumulated Time

| Accum VA Time | |
|--------------------|--------|
| | Value |
| Processo_Estacao_1 | 282.00 |
| Processo_Estacao_6 | 368.00 |
| Processo_Estacao_8 | 475.00 |



Tese 1

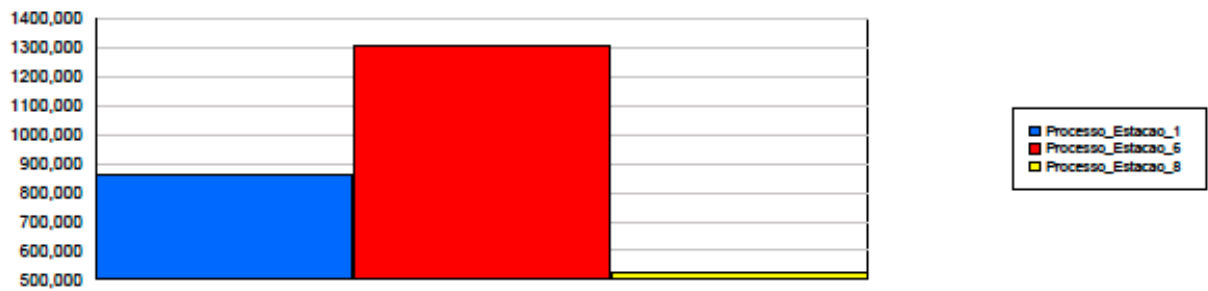
Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Accumulated Time

Accum Wait Time

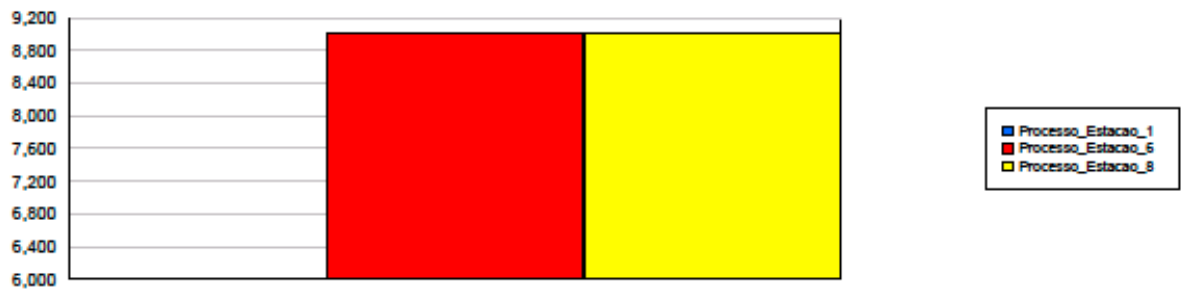
| | Value |
|--------------------|---------|
| Processo_Estacao_1 | 860.50 |
| Processo_Estacao_6 | 1302.00 |
| Processo_Estacao_8 | 528.50 |



Other

Number In

| | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 9.0000 |



Number Out

| | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 5.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 7.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 6.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue**Time**

| Waiting Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 198.33 | (Insufficient) | 82.5000 | 329.50 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 206.75 | (Insufficient) | 0.00 | 359.50 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 88.0833 | (Insufficient) | 0.00 | 265.50 |

Other

| Number Waiting | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 2.2037 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 3.8130 | (Insufficient) | 0.00 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 3.1454 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |

Resource**Usage**

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 0.8416 | (Insufficient) | 0.00 | 1.0000 |
| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 21.0407 | (Insufficient) | 0.00 | 25.0000 |
| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 25.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 25.0000 |
| Scheduled Utilization | Value | | | |
| OperadoresComuns | 0.8416 | | | |
| Total Number Seized | Value | | | |
| OperadoresComuns | 187.00 | | | |

Proposta 2 – Criação de uma Estação de Apoio (10 minutos de Preparação)

22:21:45

Category Overview

setembro 14, 2025

Tese 1

Replications: 1

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

18

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Time**

| VA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 67.5000 | (Insufficient) | 21.0000 | 128.00 |
| NVA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Wait Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 161.33 | (Insufficient) | 0.00 | 362.50 |
| Transfer Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Other Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Total Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 228.83 | (Insufficient) | 67.0000 | 426.50 |

Other

| Number In | Value | | | |
|------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 24.0000 | | | |
| Number Out | Value | | | |
| Produto | 18.0000 | | | |
| WIP | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 12.0028 | (Insufficient) | 0.00 | 20.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process**Time per Entity**

| VA Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 61.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 110.00 |
| Processo_Estacao_6 | 57.5714 | (Insufficient) | 21.0000 | 110.00 |
| Processo_Estacao_8 | 84.1667 | (Insufficient) | 48.0000 | 128.00 |
| Processo_Estacao_Apoio | 62.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 99.00 |

| Wait Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 107.00 | (Insufficient) | 87.5000 | 123.50 |
| Processo_Estacao_6 | 240.14 | (Insufficient) | 0.00 | 362.50 |
| Processo_Estacao_8 | 103.42 | (Insufficient) | 0.00 | 327.50 |
| Processo_Estacao_Apoio | 140.75 | (Insufficient) | 138.00 | 143.50 |

| Total Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 168.00 | (Insufficient) | 135.00 | 233.50 |
| Processo_Estacao_6 | 297.71 | (Insufficient) | 67.0000 | 385.00 |
| Processo_Estacao_8 | 187.58 | (Insufficient) | 67.0000 | 426.50 |
| Processo_Estacao_Apoio | 202.75 | (Insufficient) | 168.50 | 237.00 |

Accumulated Time

| Accum VA Time | Value |
|------------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 183.00 |
| Processo_Estacao_6 | 403.00 |
| Processo_Estacao_8 | 505.00 |
| Processo_Estacao_Apoio | 124.00 |



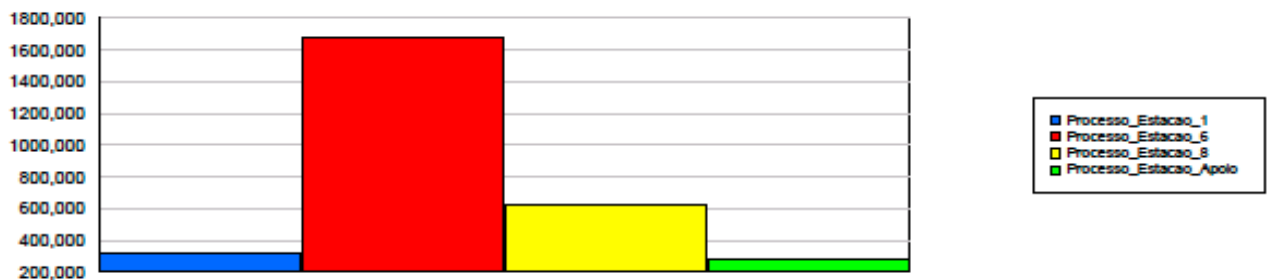
Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Accumulated Time

| Accum Wait Time | Value |
|------------------------|---------|
| Processo_Estacao_1 | 321.00 |
| Processo_Estacao_6 | 1681.00 |
| Processo_Estacao_8 | 620.50 |
| Processo_Estacao_Apoio | 281.50 |



Other

| Number In | Value |
|------------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_Apoio | 2.0000 |



| Number Out | Value |
|------------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 3.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 7.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_Apoio | 2.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue

Time

| Waiting Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 107.00 | (Insufficient) | 87.5000 | 123.50 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 255.25 | (Insufficient) | 0.00 | 362.50 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 146.36 | (Insufficient) | 0.00 | 404.00 |
| Processo_Estacao_Apoio.Queue | 140.75 | (Insufficient) | 138.00 | 143.50 |

Other

| Number Waiting | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 1.3028 | (Insufficient) | 0.00 | 2.0000 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 4.5315 | (Insufficient) | 0.00 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 3.3139 | (Insufficient) | 0.00 | 5.0000 |
| Processo_Estacao_Apoio.Queue | 0.5213 | (Insufficient) | 0.00 | 2.0000 |

Resource

Usage

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 0.8751 | (Insufficient) | 0.00 | 1.0000 |
| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 21.8778 | (Insufficient) | 0.00 | 25.0000 |
| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 25.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 25.0000 |
| Scheduled Utilization | Value | | | |
| OperadoresComuns | 0.8751 | | | |
| Total Number Seized | Value | | | |
| OperadoresComuns | 197.00 | | | |

Proposta 2 - Criação de uma Estação de Apoio (5 minutos de Preparação)

22:20:28

Category Overview

setembro 14, 2025

Tese 1

Replications: 1

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

19

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Time**

| VA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 62.4737 | (Insufficient) | 16.0000 | 123.00 |
| NVA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Wait Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 155.00 | (Insufficient) | 0.00 | 327.50 |
| Transfer Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Other Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Total Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 217.47 | (Insufficient) | 62.0000 | 391.50 |

Other

| Number In | Value | | | |
|------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 24.0000 | | | |
| Number Out | Value | | | |
| Produto | 19.0000 | | | |
| WIP | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 11.2769 | (Insufficient) | 0.00 | 19.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

| VA Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 56.0000 | (Insufficient) | 20.0000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_6 | 53.7500 | (Insufficient) | 16.0000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_8 | 79.1667 | (Insufficient) | 43.0000 | 123.00 |
| Processo_Estacao_Apoio | 57.0000 | (Insufficient) | 20.0000 | 94.0000 |
| Wait Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 97.0000 | (Insufficient) | 82.5000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_6 | 230.25 | (Insufficient) | 0.00 | 327.50 |
| Processo_Estacao_8 | 93.4167 | (Insufficient) | 0.00 | 297.50 |
| Processo_Estacao_Apoio | 125.75 | (Insufficient) | 123.00 | 128.50 |
| Total Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 153.00 | (Insufficient) | 125.00 | 208.50 |
| Processo_Estacao_6 | 284.00 | (Insufficient) | 62.0000 | 383.00 |
| Processo_Estacao_8 | 172.58 | (Insufficient) | 62.0000 | 391.50 |
| Processo_Estacao_Apoio | 182.75 | (Insufficient) | 148.50 | 217.00 |

Accumulated Time

| Accum VA Time | Value |
|------------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 168.00 |
| Processo_Estacao_6 | 430.00 |
| Processo_Estacao_8 | 475.00 |
| Processo_Estacao_Apoio | 114.00 |



Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

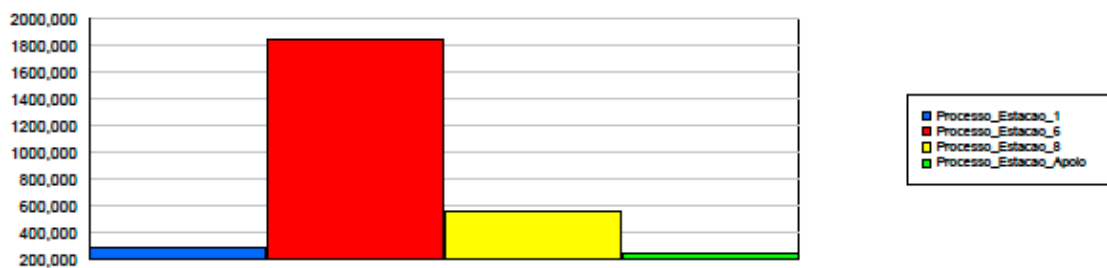
Process

Accumulated Time

Accum Wait Time

Value

| Process | Value |
|------------------------|---------|
| Processo_Estacao_1 | 291.00 |
| Processo_Estacao_6 | 1842.00 |
| Processo_Estacao_8 | 560.50 |
| Processo_Estacao_Apoio | 251.50 |



Other

Number In

Value

| Process | Value |
|------------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_Apoio | 2.0000 |



Number Out

Value

| Process | Value |
|------------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 3.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_Apoio | 2.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue**Time**

| Waiting Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 162.88 | (Insufficient) | 82.5000 | 360.50 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 230.25 | (Insufficient) | 0.00 | 327.50 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 132.79 | (Insufficient) | 0.00 | 369.00 |
| Processo_Estacao_Apoio.Queue | 125.75 | (Insufficient) | 123.00 | 128.50 |

Other

| Number Waiting | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 1.2065 | (Insufficient) | 0.00 | 2.0000 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 4.1611 | (Insufficient) | 0.00 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 3.1380 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_Apoio.Queue | 0.4657 | (Insufficient) | 0.00 | 2.0000 |

Resource**Usage**

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 0.8775 | (Insufficient) | 0.00 | 1.0000 |
| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 21.9370 | (Insufficient) | 0.00 | 25.0000 |
| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 25.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 25.0000 |
| Scheduled Utilization | Value | | | |
| OperadoresComuns | 0.8775 | | | |
| Total Number Seized | Value | | | |
| OperadoresComuns | 205.00 | | | |

Proposta 3 – Linha mais Lenta (10 minutos)

16:30:20

Category Overview

setembro 1, 2025

Tese 1

Replications: 1

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

18

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity

Time

| VA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 69.5000 | (Insufficient) | 21.0000 | 128.00 |
| NVA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Wait Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 161.00 | (Insufficient) | 0.00 | 405.50 |
| Transfer Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Other Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Total Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 230.50 | (Insufficient) | 67.0000 | 428.50 |

Other

| Number In | Value | | | |
|------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 24.0000 | | | |
| Number Out | Value | | | |
| Produto | 18.0000 | | | |
| WIP | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 12.1417 | (Insufficient) | 0.00 | 20.0000 |

Tese 1

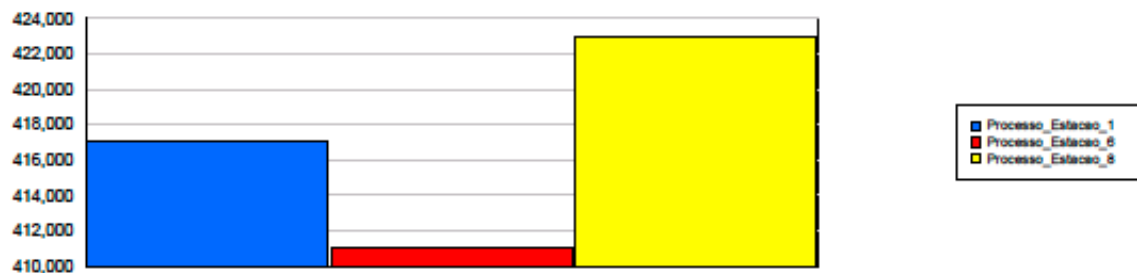
Replications: 1 Time Units: Minutes

Process**Time per Entity**

| VA Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|-----------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 69.5000 | (Insufficient) | 25.0000 | 110.00 |
| Processo_Estacao_6 | 58.7143 | (Insufficient) | 21.0000 | 110.00 |
| Processo_Estacao_8 | 84.6000 | (Insufficient) | 48.0000 | 128.00 |
| Wait Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 190.33 | (Insufficient) | 87.5000 | 262.50 |
| Processo_Estacao_6 | 209.00 | (Insufficient) | 0.00 | 405.50 |
| Processo_Estacao_8 | 58.6000 | (Insufficient) | 0.00 | 112.50 |
| Total Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Processo_Estacao_1 | 259.83 | (Insufficient) | 135.00 | 360.50 |
| Processo_Estacao_6 | 267.71 | (Insufficient) | 67.0000 | 426.50 |
| Processo_Estacao_8 | 143.20 | (Insufficient) | 67.0000 | 218.00 |

Accumulated Time

| Accum VA Time | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 417.00 |
| Processo_Estacao_6 | 411.00 |
| Processo_Estacao_8 | 423.00 |



Tese 1

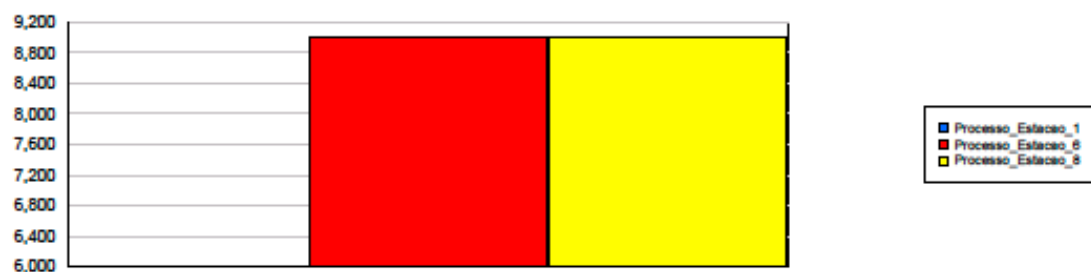
Replications: 1 Time Units: Minutes

Process**Accumulated Time**

| Accum Wait Time | Value |
|--------------------|---------|
| Processo_Estacao_1 | 1142.00 |
| Processo_Estacao_6 | 1463.00 |
| Processo_Estacao_8 | 293.00 |

**Other**

| Number In | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 9.0000 |



| Number Out | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 7.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 5.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue**Time**

| Waiting Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 190.33 | (Insufficient) | 87.5000 | 262.50 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 233.38 | (Insufficient) | 0.00 | 405.50 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 108.08 | (Insufficient) | 0.00 | 355.50 |

Other

| Number Waiting | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 2.1148 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 4.2074 | (Insufficient) | 0.00 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 3.3676 | (Insufficient) | 0.00 | 5.0000 |

Resource**Usage**

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 0.8820 | (Insufficient) | 0.00 | 1.0000 |

| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 22.0500 | (Insufficient) | 0.00 | 25.0000 |

| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 25.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 25.0000 |

| Scheduled Utilization | Value |
|-----------------------|--------|
| OperadoresComuns | 0.8820 |

| Total Number Seized | Value |
|---------------------|--------|
| OperadoresComuns | 184.00 |

Proposta 3 – Linha mais Lenta (5 minutos)

16:31:11

Category Overview

setembro 1, 2025

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

| System | Average |
|------------|---------|
| Number Out | 19 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity**Time**

| VA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Produto | 66.0526 | (Insufficient) | 16.0000 | 123.00 |
| NVA Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Wait Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 154.29 | (Insufficient) | 0.00 | 372.50 |
| Transfer Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Other Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 0.00 | (Insufficient) | 0.00 | 0.00 |
| Total Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 220.34 | (Insufficient) | 62.0000 | 414.50 |
| Other | | | | |
| Number In | Value | | | |
| Produto | 24.0000 | | | |
| Number Out | Value | | | |
| Produto | 19.0000 | | | |
| WIP | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| Produto | 11.4194 | (Insufficient) | 0.00 | 19.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

| VA Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 64.5000 | (Insufficient) | 20.0000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_6 | 53.7143 | (Insufficient) | 16.0000 | 105.00 |
| Processo_Estacao_8 | 82.0000 | (Insufficient) | 43.0000 | 123.00 |

| Wait Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|----------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 171.50 | (Insufficient) | 82.5000 | 237.50 |
| Processo_Estacao_6 | 188.43 | (Insufficient) | 0.00 | 372.50 |
| Processo_Estacao_8 | 97.2500 | (Insufficient) | 0.00 | 320.50 |

| Total Time Per Entity | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|-----------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1 | 236.00 | (Insufficient) | 125.00 | 327.50 |
| Processo_Estacao_6 | 242.14 | (Insufficient) | 62.0000 | 388.50 |
| Processo_Estacao_8 | 179.25 | (Insufficient) | 62.0000 | 414.50 |

Accumulated Time

| Accum VA Time | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 387.00 |
| Processo_Estacao_6 | 376.00 |
| Processo_Estacao_8 | 492.00 |



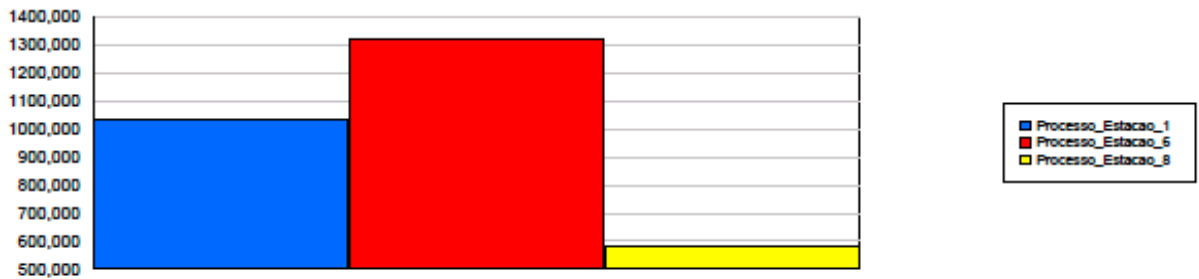
Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Process

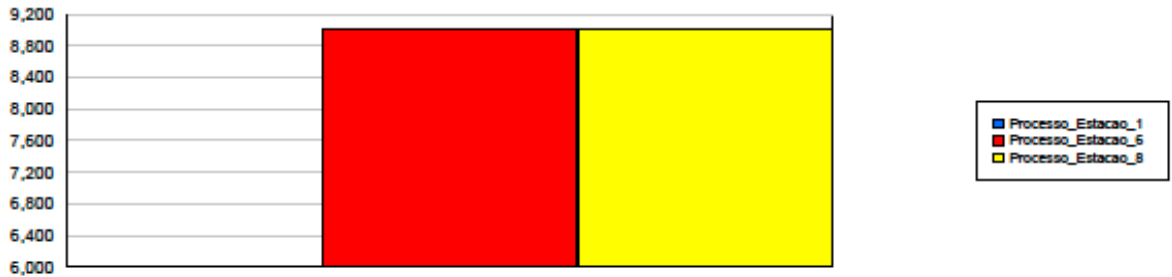
Accumulated Time

| Accum Wait Time | Value |
|--------------------|---------|
| Processo_Estacao_1 | 1029.00 |
| Processo_Estacao_6 | 1319.00 |
| Processo_Estacao_8 | 583.50 |



Other

| Number In | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 9.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 9.0000 |



| Number Out | Value |
|--------------------|--------|
| Processo_Estacao_1 | 6.0000 |
| Processo_Estacao_6 | 7.0000 |
| Processo_Estacao_8 | 6.0000 |

Tese 1

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue**Time**

| Waiting Time | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 171.50 | (Insufficient) | 82.5000 | 237.50 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 210.63 | (Insufficient) | 0.00 | 372.50 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 139.36 | (Insufficient) | 0.00 | 392.00 |

Other

| Number Waiting | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Processo_Estacao_1.Queue | 1.9056 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |
| Processo_Estacao_6.Queue | 3.8704 | (Insufficient) | 0.00 | 8.0000 |
| Processo_Estacao_8.Queue | 3.2231 | (Insufficient) | 0.00 | 4.0000 |

Resource**Usage**

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| OperadoresComuns | 0.8785 | (Insufficient) | 0.00 | 1.0000 |
| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 21.9630 | (Insufficient) | 0.00 | 25.0000 |
| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Value | Maximum Value |
| OperadoresComuns | 25.0000 | (Insufficient) | 25.0000 | 25.0000 |
| Scheduled Utilization | Value | | | |
| OperadoresComuns | 0.8785 | | | |
| Total Number Seized | Value | | | |
| OperadoresComuns | 201.00 | | | |