

Melhoria e Monitorização do Fluxo da Produção de uma Fábrica de Aparelhagem Elétrica

João Filipe Oliveira e Silva

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Jonas Lima

Orientador na Efacec: Eng. Filipe Lima



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2023-10-23

*À minha Madrinha Paula,
A pessoa que mais positivamente influenciou a minha formação.*

Resumo

Este projeto foi desenvolvido na Unidade do AMT (Aparelhagem de Alta e Média Tensão) da Efacec com o objetivo de aumentar a taxa de ocupação dos trabalhadores e, consequentemente, melhorar o fluxo da produção e reduzir o número médio de dias de atraso na entrega das encomendas. Este último ponto é fulcral num mercado cada vez competitivo, no qual a exigência dos clientes é cada vez maior e a Efacec pretende manter-se na vanguarda apesar das dificuldades financeiras vividas.

O projeto iniciou-se com o estudo e análise das linhas de produção dado que fornecem soluções com bastante customização e modularidade. Deste modo, pretende-se identificar onde podem residir os principais *bottlenecks* da produção e como estes podem ser ultrapassados. Além disso, foram estudados os diferentes softwares utilizados no AMT desde o WMS Atlas e ERP Baan até à mais recente ferramenta desenvolvida internamente SwitchIT que permite visualizar as ordens de produção a serem executadas no momento da pesquisa.

Com base na análise dos dados da produção extraídos das bases de dados destes softwares percebeu-se que a grande diversidade de tarefas e sua duração, conforme a linha de produção, era o principal fator para resultar no atraso do cumprimento das encomendas. Foi feito então o estudo comparativo dos métodos de alocação de recursos com e sem restrição de linhas e desenvolvido o algoritmo (heurística inicial) para a alocação destas tarefas. Dada a falta de dados reais e longe de outros tempos (com uma forte carga sobre a mão de obra dada a abundância de encomendas) que a Efacec pretende voltar a viver, foram simulados/gerados novos dados com base em algumas ordens de produção existentes. Com base nestes dados simulados, foi testado o algoritmo. De seguida, foi aplicada uma meta-heurística para colmatar as limitações da heurística inicial.

Por outro lado, foi desenvolvido uma ferramenta de monitorização, sob a forma de um *website*, da produção que permita efetuar uma ligação mais robusta entre a produção no chão de fábrica e os softwares existentes, nomeadamente o SwitchIT.

Com estas ações desenvolvidas, foi possível concluir que, de facto, uma futura implementação de uma alocação de trabalhadores às tarefas sem restrição de equipas por linha (ou seja, um trabalhador pode trabalhar em qualquer linha), permite diminuir os efeitos do *bottleneck* de algumas das linhas sobre os resultados finais em termos de OTD (*On Time Delivery*) e número médio de dias de atraso. Além disso, com base na execução destes algoritmos de alocação, é possível alimentar esta ferramenta de monitorização efetuando a ligação entre a base de dados das ordens de produção e da *resource pool* de mão de obra e visualizar o estado da produção bem como recorrer a *dashboards* com indicadores de desempenho.

Improvement and Monitoring of the Production Flow of an Electrical Switchgear Factory

Abstract

This project was developed in the AMT Unit (High and Medium Voltage Switchgear) of Efacec with the aim of increasing the employment rate of workers and consequently improving the flow of production and reducing the average number of days of delay in the delivery of orders. This last point is crucial in an increasingly competitive market, in which the demand of customers is increasing and Efacec wants to remain at the forefront despite the financial difficulties experienced.

The project began with the study and analysis of the production lines as they provide solutions with a lot of customization and modularity. Thus, it aims to identify where the main bottlenecks in production may reside and how these can be overcome. In addition, the different software used in the AMT from the WMS Atlas and ERP Baan to the latest tool developed internally SwitchIT that allows to visualize the production orders to be executed at the time of the search were studied.

Based on the analysis of the production data extracted from the databases of these software it was realized that the great diversity of tasks and their duration, depending on the production line, was the main factor to result in the delay in the fulfilment of orders. It was then done the comparative study of the methods of allocation of resources with and without restriction of lines and developed the algorithm (initial heuristics) for the allocation of these tasks. Given the lack of actual data and far from other times (with a strong burden on the workforce given the abundance of orders) that Efacec intends to live again, new data have been simulated/generated based on some existing production orders. Based on these simulated data, the algorithm was tested. A meta-heuristic was then applied to bridge the limitations of initial heuristics.

On the other hand, a production monitoring tool has been developed, in the form of a website, to make it possible to establish a more robust link between production on the factory floor and existing software, namely SwitchIT.

With these actions developed, it was possible to conclude that, in fact, a future implementation of an allocation of workers to tasks without restriction of teams per line (i.e. a worker can work on any line), allows to diminish the effects of bottleneck of some of the lines on the final results in terms of OTD (On Time Delivery) and average number of days of delay. Furthermore, based on the execution of these allocation algorithms, it is possible to power this monitoring tool by connecting the database of production orders and the labor resource pool and visualize the state of production as well as use dashboards with performance indicators.

Agradecimentos

Um trabalho de mestrado tem por base um percurso constituído por inúmeros desafios, alegrias, tristezas, incertezas e muitos percalços pelo caminho. É um processo solitário, mas que reúne contributos de várias pessoas, indispensáveis para encontrar o melhor rumo em cada momento da caminhada.

Manifesto, assim, o meu agradecimento às pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a apresentação final desta tese.

Ao Professor Jonas Lima, meu orientador, que me acompanhou ao longo da tese, agradeço pela orientação prestada, pelo seu incentivo e disponibilidade que sempre demonstrou.

À Efacec, em especial, ao Engenheiro Sérgio Silva e Engenheiro Filipe Lima que foram meus orientadores de estágio, pela sua disponibilidade nos trabalhos de campo, pelo seu incentivo, pela sua disponibilidade e igualmente pelo seu apoio na elaboração deste trabalho. Não posso também esquecer o Engenheiro Manuel Guerra que foi o meu primeiro orientador na empresa, mas que devido a razões profissionais seguiu outro caminho, no entanto, fica aqui o meu agradecimento.

Não poderia deixar de agradecer à minha família por todo o apoio económico, pela força e pelo carinho que sempre me prestaram ao longo de toda a minha vida académica, bem como, à elaboração da presente tese a qual sem o seu apoio teria sido impossível.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	5
1.1	Apresentação da empresa	5
1.2	Enquadramento do projeto na Efacec e motivação	5
1.3	Objetivos do projeto	6
1.4	Metodologia	7
1.5	Estrutura da dissertação	7
2	Revisão da Literatura	9
2.1	Filosofia Lean	9
2.2	Modelos produtivos	9
2.3	Métodos de alocação de recursos	10
2.4	Heurísticas e Meta-Heurísticas	13
2.5	“Manpower Optimization”	14
2.6	Sistemas de Apoio à Decisão	16
2.7	Indicadores de Performance (KPIs)	17
3	Descrição e Análise do estado inicial do processo produtivo	19
3.1	O processo produtivo na Efacec AMT	19
3.1.1	Linha de distribuição primária	19
3.1.2	Linha de distribuição secundária	20
3.1.3	Linha de produção de disjuntores	21
3.2	Força de trabalho	22
3.3	Situação atual de cumprimento de prazos de entrega	22
3.4	Ferramentas informáticas utilizadas	24
4	Apresentação das ações desenvolvidas	27
4.1	Estudo de métodos de alocação de recursos	27
4.1.1	Estruturação do modelo	27
4.1.2	Construção do algoritmo	28
4.2	Apresentação e análise de resultados	32
4.2.1	Apresentação dos cenários	32
4.2.2	Análise dos resultados	32
4.3	Sistema de apoio à decisão para o método de alocação de recursos	35
4.4	Ferramenta de monitorização da produção	36
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	41
	Referências	43
	Anexos	44

Siglas

AMT – Aparelhagem de Alta e Média Tensão

OPF – *One Piece Flow*

OTD – *On Time Delivery*

SAD – Sistema de Apoio à Decisão

TPT – *Throughput Time*

UN – Unidade de Negócio

Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura Societária Efacec	5
Figura 2 - Pilares da Filosofia <i>Lean</i>	9
Figura 3 - Fluxograma do algoritmo de <i>Simulated Annealing</i> [14].....	14
Figura 4 - Planta da UN Efacec AMT	19
Figura 5 - Layout Linha de Produção Primária	20
Figura 6 - Linha de Produção Secundária (Normafix à esquerda e Fluofix à direita).....	20
Figura 7 - Exemplares dos produtos da linha Secundária (Fluofix à esquerda e Normafix à direita).....	21
Figura 8 - Linha de Produção Disjuntores.....	22
Figura 9 - Gráficos indicador OTD nas diferentes linhas de Produção AMT em 2021	23
Figura 10 - Dados OTD no AMT em 2022	24
Figura 11 - Interface WMS "Atlas"	24
Figura 12 - Interface do ERP "Baan"	25
Figura 13 - Interface de SwitchIT que permite visualizar tarefas	26
Figura 14 - Diagrama de apoio ao algoritmo.....	30
Figura 15 - Exemplo de visualização da alocação planeada	35
Figura 16 - Exemplo de Gráfico de <i>Gantt</i> para visualização das tarefas alocadas para uma dada linha	36
Figura 17 - Listagem de Ordens de Produção e atribuição (manual e/ou automática) a um operador.....	38
Figura 18 - Código SQL para a seleção de Operadores para as Ordens de Produção.....	39
Figura 19 - Atribuição manual de Operadores	39
Figura 20 - Trabalho diário desenvolvido por cada Trabalhador	40

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Caracterização da força de trabalho, em número de colaboradores, da produção da EFACEC AMT	22
Tabela 2 - Número de atrasos produção de 2021 (meses 1 a 9) no AMT	23
Tabela 3 - Dados taxa de ocupação relativamente ao Cenário 1	32
Tabela 4 - Dados taxa de ocupação do Cenário 2.....	33
Tabela 5 - Dados taxa de ocupação do Cenário 3.....	34

1 Introdução

1.1 Apresentação da empresa

O projeto desta dissertação foi desenvolvido na Efaced Energia – Máquinas e Equipamentos Elétricos, S.A. que se dedica ao fabrico e manutenção de equipamentos nas áreas de Transmissão e Distribuição de Energia, nomeadamente na Unidade de Negócio AMT (Aparelhagem de alta e média tensão), como se pode ver na Figura 1 abaixo.

A Efaced teve a sua génese na sociedade Empresa Fabril de Máquinas Elétricas, S.A.R.L., fundada em 1948. O objetivo dessa sociedade, que tinha como principais acionistas a ElectroModerna, os ACEC e a CUF, era o “exercício da indústria, comércio, instalações e reparação de material elétrico e mecânico e de todas as atividades correlativas”. É a partir de 1962 que o grupo ganha a denominação atual de EFACED.

Atualmente, o grupo Efaced é composto por diversas empresas localizadas na Europa, América do Norte, América do Sul, Ásia e África (figura 1). Esta expansão internacional é reflexo de uma política da empresa cada vez mais focada na exportação e mercados estrangeiros. A empresa atua nos segmentos da energia, transporte, telecomunicações, indústria e edifícios, serviços e manutenção, logística e ambiente, sendo a sua proposta de valor centrada no desenvolvimento de produtos e sistemas com forte valor acrescentado.

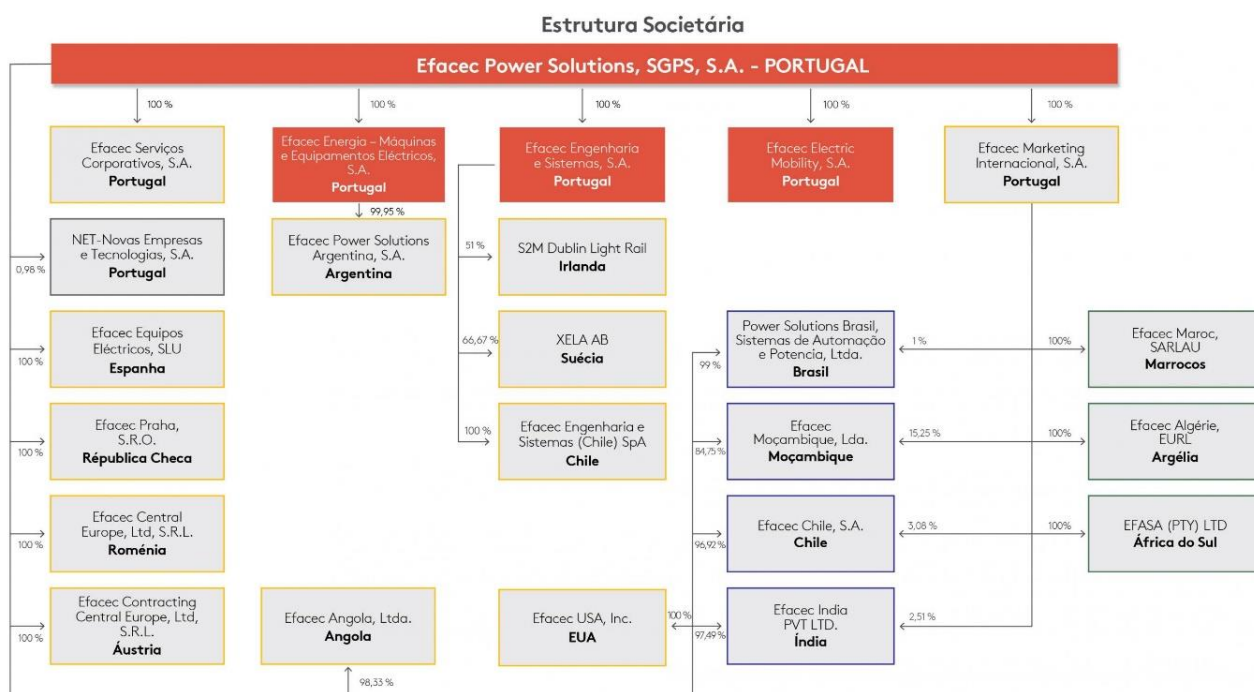


Figura 1 - Estrutura Societária Efaced

1.2 Enquadramento do projeto na Efaced e motivação

Este projeto está enquadrado na Unidade de Negócio AMT (Aparelhagem de Alta e Média Tensão) da empresa Efaced Energia, e surge como resultado do desejo da Efaced em procurar melhorias para as suas atuais linhas de produção localizadas na unidade de negócio AMT, no Polo da Arroteia. A unidade de negócio AMT é responsável pelo fabrico de soluções de aparelhagem em diferentes tensões, caracterizadas por um alto grau de customização e modularidade.

A motivação para este projeto advém, em parte, da necessidade de enfrentar desafios e obstáculos que a empresa está a encontrar na sua produção. A situação atual da Efacec, especialmente no que diz respeito à sua linha de produção, pode ser explicada em termos financeiros e como isso afeta a produção. As restrições financeiras levam a limitações na aquisição de novos equipamentos, tecnologias e recursos necessários para a produção o que resulta numa incapacidade para dar resposta a uma procura crescente e projetos complexos.

Até o momento, a Efacec tem adotado um modelo de distribuição fixa da sua força de trabalho, ou seja, cada trabalhador é responsável por realizar um número específico de tarefas em apenas uma das linhas de produção. No entanto, essa abordagem tem suas limitações em termos de flexibilidade e eficiência. Para atender às necessidades dos clientes e aumentar a produtividade, é essencial explorar alternativas mais flexíveis para alocar a mão de obra disponível às diversas linhas de produção.

Assim, o objetivo central deste projeto é estudar e desenvolver formas mais flexíveis de alocação da força de trabalho, visando aumentar a produtividade e melhorar a entrega dentro do prazo estabelecido (*On Time Delivery*). A adoção de um sistema mais dinâmico de alocação de recursos permitirá uma melhor utilização dos recursos humanos disponíveis, garantindo que a força de trabalho seja alocada de forma eficiente às diferentes linhas de produção, de acordo com as necessidades e procuras específicas de cada uma.

Com esta abordagem, espera-se alcançar melhorias significativas na produtividade da empresa, reduzindo tempos ociosos e aumentando a eficiência geral das linhas de produção. Além disso, a melhoria do *On Time Delivery* contribuirá para a satisfação dos clientes, fortalecendo a reputação da Efacec e a sua posição competitiva no mercado, nomeadamente da unidade de negócio AMT.

1.3 Objetivos do projeto

No âmbito deste projeto, foram estabelecidos dois objetivos principais que visam melhorar e monitorizar o fluxo de produção de uma fábrica, especificamente em relação à alocação de recursos (mão de obra disponível) às tarefas. Estes 2 objetivos são sequenciais e dependem do anterior para o seu sucesso.

Em primeiro lugar, procedeu-se ao estudo de metodologias de alocação de recursos (MOD - Mão de Obra Disponível) às tarefas. O foco está em realizar um estudo aprofundado de metodologias de alocação de recursos, especificamente relacionadas à mão de obra disponível. Isso envolve a revisão bibliográfica e a análise de diferentes abordagens e técnicas utilizadas na indústria para otimizar a alocação de mão de obra às tarefas de produção. Será importante explorar as vantagens e desvantagens de cada metodologia, considerando fatores como eficiência, capacidade de resposta, equilíbrio de trabalho e minimização de tempos ociosos. Além disso, será importante o estudo da construção de heurísticas que permitam executar os algoritmos de alocação.

De seguida, estabeleceu-se um objetivo de melhoria baseado no desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão na alocação de recursos (MOD) às tarefas. Neste caso, será desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão para facilitar a alocação de recursos, especificamente a mão de obra disponível, às tarefas de produção. A ferramenta deverá considerar os diferentes critérios e restrições envolvidos na alocação, como habilidades dos trabalhadores, capacidade de produção, complexidade das tarefas e procura por diferentes tipos de habilidades. Será necessário explorar técnicas de programação e algoritmos adequados para criar uma ferramenta eficaz que otimize a alocação de recursos, garantindo uma distribuição equilibrada e eficiente das tarefas.

Por fim, segue-se um objetivo de monitorização, nomeadamente, de visualização de carga versus capacidade das linhas de produção e dos recursos (através desenvolvimento de ferramenta sob a forma de *website*), após estudo e decisão da alocação dos recursos. O foco está no desenvolvimento de um *website* que irá permitir estabelecer a ligação entre o objetivo anterior e as ferramentas informáticas da empresa (descritas na secção 3.4). Este *website* funcionará como uma plataforma de análise e visualização de dados, para acompanhar e analisar de forma integrada as informações relacionadas à carga de trabalho e à capacidade de produção, bem como de acompanhamento da produção. A ferramenta permitirá visualizar indicadores-chave de desempenho, identificar possíveis *bottlenecks* ou desequilíbrios e tomar decisões proativas para otimizar o fluxo de produção. Será importante definir os indicadores a serem monitorizados, estabelecer métricas de desempenho relevantes e criar painéis interativos que forneçam informações claras e atualizadas sobre a carga e capacidade das linhas de produção e dos recursos.

Ao atingir estes objetivos, espera-se que a dissertação contribua para a melhoria e monitorização do fluxo de produção da fábrica, proporcionando *insights* valiosos sobre a alocação de recursos (mão de obra disponível) e facilitando a tomada de decisões mais informadas e eficazes nesse contexto. O estudo destas metodologias, o desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão e a implementação da monitorização contínua serão elementos-chave para alcançar esses resultados e trazer benefícios tangíveis para a empresa em termos de eficiência operacional, produtividade e utilização otimizada dos recursos disponíveis.

1.4 Metodologia

De modo a abordar este projeto de forma organizada e estruturada, uma metodologia deve ser seguida. Em primeiro lugar, procedeu-se a um estudo detalhado de toda a Unidade de Negócio do AMT a partir de um mapeamento (*value stream mapping*) geral das operações desde o momento que o cliente efetua a encomenda até à sua expedição.

De seguida, o foco passou a estar nas linhas de produção com o acompanhamento de diversas encomendas para melhor perceber o processo produtivo, sendo inicialmente dada mais atenção à linha de distribuição primária, que possui o processo mais complexo dado o alto grau de customização dos seus produtos. Recorrendo às plataformas informáticas usadas no AMT, fez-se recolha de dados e construção dos indicadores de performance (abordados na secção 2.7) que serão essenciais na fase final do projeto para comparação dos diferentes métodos de alocação de recursos.

Esta comparação de métodos de alocação deve estar integrada numa ferramenta de apoio à decisão que permitirá à Efacec perceber se compensa alterar o modo como as linhas de produção estão organizadas e a força de trabalho distribuída.

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos. No primeiro capítulo, é feita uma apresentação do grupo Efacec bem como o enquadramento, motivação e objetivos do projeto. Além disso, é feita uma breve explicação da metodologia usada para o desenvolvimento deste projeto.

No segundo capítulo, tem lugar uma revisão bibliográfica sobre os temas inerentes ao desenvolvimento deste projeto. No capítulo seguinte é apresentado o estado atual da Unidade de Negócio AMT que permitirá contextualizar o projeto bem como analisar as linhas de

produção. Deste modo, será possível identificar na reta final deste capítulo quais as ações a serem desenvolvidas neste projeto.

De seguida, no capítulo 4, serão apresentadas as ações desenvolvidas ao longo do projeto acompanhadas de discussão dos resultados.

Por fim, são apresentadas as conclusões do projeto e será feita uma reflexão do trabalho desenvolvido e consequentes perspetivas de trabalho futuro.

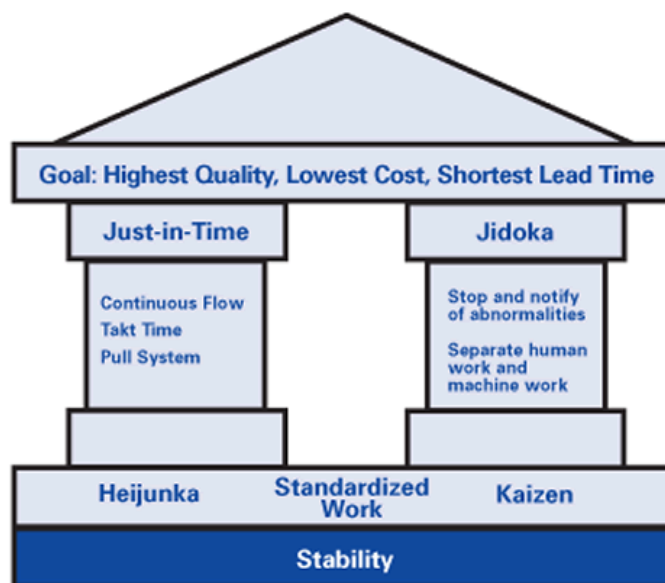
2 Revisão da Literatura

Nesta secção são apresentadas as várias temáticas e referências bibliográficas que estão na base de desenvolvimento deste projeto.

2.1 Filosofia Lean

Este projeto desempenha um papel fundamental na promoção da filosofia *Lean* e da melhoria contínua dentro da Efacec.

A filosofia *Lean* tem as suas raízes nos sistemas de produção Toyota Production System (TPS), criada em 1988 por Taichi Ohno, e tem como principal objetivo a criação de valor eliminando o desperdício.



Toyota Production System "House."

Figura 2 - Pilares da Filosofia *Lean*

O pilar do *Just in Time* é sustentado por conceitos que envolvem: Fluxo Contínuo, Fluxo *Pull*, Gestão Visual e Kanban. Todos estes conceitos serão apresentados e melhor detalhados posteriormente. O Pilar do *Jidoka* é por sua vez baseado em ferramentas que permitem analisar e chegar ao fundo dos problemas (*Poke-Yoke*). De acordo com a Figura 2, ambos os pilares estão assentes no *Kaizen*, melhoria contínua, na utilização e definição de processos estáveis e normalizados (*Standardized Work*) e no *Heijunka* (nivelamento da produção).

Com o estudo e análise de diferentes metodologias de alocação de recursos, este projeto procura identificar oportunidades de melhoria e aplicar abordagens mais eficientes, contribuindo para a procura contínua da excelência operacional e o aperfeiçoamento dos processos de alocação de recursos na Efacec AMT. Além disso, o equilíbrio da carga de trabalho entre os recursos de mão de obra disponível (perspetiva *Heijunka* de nivelamento da produção) contribui para a eficiência e eliminação de desperdícios.

2.2 Modelos produtivos

Uma das maneiras de classificar a organização da produção é mediante o modelo usado, isto é, *Make-to-Stock* ou *Make-to-Order*. Existem ainda outras classificações possíveis, como por exemplo, o *Assembly-to-Order* e o *Engineering-to-Order* que surgem da combinação das

duas grandes classificações *Make-to-Stock* e *Make-to-Order* ou de alterações aos modelos iniciais. [1]

Make-to-Stock (MTS) – O modelo MTS baseia-se em previsões de procura, organizando o plano de produção em função dessas previsões, surgem, portanto, *stocks* de produto acabado aguardando a concretização das encomendas que foram previstas. Este sistema tem o inconveniente da formação de *stocks* de produtos acabados e, conseqüentemente, custos inerentes à existência desses *stocks*. No entanto, tem a vantagem de ter disponível para entrega imediata o produto que o cliente pretende, embora esse facto impeça a existência da personalização dos produtos. Aplica-se a produção de produtos standard.

Make-to-Order (MTO) – O modelo MTO apenas desencadeia necessidades de produção quando existe efectivamente a procura, isto leva a que não exista *stock* de produto final (ou pelo menos este é reduzido) e, assim sendo não existam custos inerentes à existência de *stocks*. Este modelo tem a desvantagem de não ter os produtos para entrega imediata levando a um *lead time* de entrega superior ao modelo MTS. Permite a personalização dos produtos, fazendo com que os produtos possam responder a necessidades específicas dos clientes.

Assembly-to-Order (ATO) – É uma combinação dos modelos *Make-to-Stock* e *Make-to-Order* e consiste em aplicar-se o modelo *Make-to-Stock* até uma parte do processo antes da obtenção do produto final para que posteriormente se aplique o modelo *Make-to-Order* permitindo a personalização do produto mediante as especificações dos produtos finais podendo o *stock* ser utilizado na produção de vários produtos diferentes. Com este modelo personaliza-se o produto ao mesmo tempo que se reduz o *lead time* de entrega.

Engeneering-to-Order (ETO) - É uma extensão do modelo *Make-to-Order* em que existe um desenvolvimento a nível da engenharia do produto para satisfazer as especificações dos clientes existindo assim um elevado nível de personalização.

Por fim, é importante fazer a distinção entre produção em *batch* e OPF (*One Piece Flow*). Na abordagem da produção em *batch*, os produtos são fabricados em lotes, agrupando várias unidades do mesmo produto em uma única etapa de produção. Este agrupamento permite a otimização de recursos, como mão de obra e equipamentos, e o processamento eficiente de grandes volumes de produção. No entanto, a produção em *batch* também apresenta desafios, tais como tempos de espera, maior variabilidade de tempo de ciclo e a possibilidade de aumento dos *stocks* intermédios. Como alternativa surge a produção OPF que visa obter um fluxo contínuo de produção, onde cada unidade de produto é processada individualmente ao longo do tempo. Neste método, o produto percorre o fluxo de produção sem interrupções, resultando em tempos de ciclo mais curtos, menor variabilidade e redução de *stocks* intermédios. [1]

2.3 Métodos de alocação de recursos

A alocação eficiente de recursos desempenha um papel fundamental na gestão e otimização do fluxo de produção em ambientes industriais. Para compreender as técnicas disponíveis para a alocação de recursos, é importante recorrer a livros especializados que abordam esse tema.

Um dos livros amplamente reconhecidos na área é "Operations Management" de Jay Heizer e Barry Render. Este livro fornece uma visão abrangente da gestão de operações, incluindo a alocação de recursos. Ele explora as diferentes estratégias e técnicas utilizadas para melhorar o desempenho operacional em organizações de diferentes setores industriais. Além disso, o livro apresenta exemplos reais e casos de estudo que ilustram a aplicação prática dessas técnicas. [2]

Outra fonte relevante é o livro "Production and Operations Analysis" de Steven Nahmias. Ele oferece uma análise aprofundada dos aspetos quantitativos da gestão da produção, incluindo a alocação de recursos. O livro explora técnicas de modelagem matemática e otimização aplicadas à gestão de operações, proporcionando uma compreensão detalhada dos algoritmos e métodos utilizados na alocação eficiente de recursos. [3]

Além disso, "Operations Research: An Introduction" de Hamdy A. Taha é uma referência clássica no campo da pesquisa operacional, abrangendo diversos tópicos, incluindo alocação de recursos. O livro apresenta técnicas avançadas de modelagem e solução de problemas de otimização, que podem ser aplicadas à alocação de mão de obra disponível em ambientes industriais. Ele também aborda questões relacionadas à incerteza e complexidade dos sistemas de produção, oferecendo *insights* sobre como lidar com esses desafios na alocação de recursos. [4]

No livro "Operations Management" de Jay Heizer e Barry Render, os autores apresentam conceitos chave relacionados com a alocação de recursos que desempenham um papel fundamental na gestão e otimização do fluxo de produção em ambientes industriais. Entre esses conceitos, destacam-se a programação da produção, o balanceamento de linha, a programação de atividades e o escalonamento de tarefas. [2]

Por outro lado, o trabalho de Christof Dillenberger e Arthur Wollensak apresenta um estudo meticoloso sobre a alocação de recursos em cenários de planeamento e agendamento de produção, abordando o problema de atribuir volume de produção de diversos tipos de produtos ao longo de um período de planeamento, recorrendo a múltiplas máquinas. Nesta pesquisa, é proposta uma estrutura onde um tipo de peça pode ser processado por mais de um grupo de máquinas (MGs). Diversos recursos são necessários para cada tipo de peça, como ferramentas, mão de obra e robôs. Esta abordagem oferece uma visão aprofundada da complexidade envolvida na gestão de recursos em ambientes de produção, além de estabelecer a base para a discussão do problema de alocação de recursos. Para esclarecer ainda mais o cenário, os autores categorizam os recursos em quatro grupos, baseados na sua disponibilidade e modo de consumo. Esta segmentação aprofunda a compreensão de como os recursos são alocados e consumidos durante a produção, acrescentando um nível adicional de complexidade ao problema. [6] [7]

Além de descrever o problema e a sua abordagem, o estudo apresenta uma série de restrições relacionadas com a utilização das máquinas, produção, capacidade de armazenamento dos recursos e procura. Da mesma forma, os autores consideram diversos objetivos para a otimização, tais como: a maximização do valor total de produção, a maximização da capacidade de serviço ponderada, a minimização do tempo total de processamento e a minimização do custo total dos recursos. A diversidade dessas restrições e objetivos ilustra a abrangência dos desafios associados à alocação de recursos e otimização da produção.

Para a resolução do problema, os investigadores propõem um modelo matemático que representa o problema de alocação de recursos e otimização de produção. Este modelo incorpora uma série de variáveis e parâmetros que descrevem o problema e estabelecem as relações entre diferentes elementos do sistema de produção. A representação matemática do problema fornece uma visão clara de como os problemas de alocação de recursos e otimização de produção são estruturados e resolvidos.

A programação da produção envolve o planeamento e a coordenação das atividades de produção para otimizar o uso dos recursos disponíveis. Os autores exploram como a alocação eficiente da mão de obra disponível pode ser alcançada através da programação da produção. Por exemplo, eles discutem técnicas para equilibrar o fluxo de trabalho em diferentes estações

de trabalho, a fim de evitar gargalos e minimizar tempos ociosos. Eles demonstram como uma distribuição adequada dos recursos humanos pode melhorar o desempenho geral da fábrica, reduzindo a espera e aumentando a produtividade.

Outro conceito abordado é o balanceamento de linha, que visa distribuir o trabalho de forma equilibrada entre as diferentes estações de trabalho numa linha de produção. Os autores discutem técnicas para determinar a alocação ideal da mão de obra disponível em cada estação, levando em consideração fatores como a procura por produtos, o tempo de processamento e as habilidades dos trabalhadores. Eles fornecem exemplos práticos que ilustram como este conceito pode melhorar a eficiência e reduzir os gargalos na produção.

A programação de atividades é outro aspeto relevante para a alocação de recursos. Os autores exploram como o sequenciamento adequado das atividades de produção pode influenciar a alocação de mão de obra disponível. Eles apresentam técnicas para otimizar a programação das atividades, considerando critérios como a minimização do tempo de espera, a maximização da utilização dos recursos e o cumprimento dos prazos de entrega. Exemplos práticos são fornecidos para ilustrar como a programação de atividades pode melhorar a eficiência e a produtividade na fábrica.

Além disso, o escalonamento de tarefas é discutido como um conceito relevante na alocação de recursos. Os autores exploram como as tarefas podem ser atribuídas aos trabalhadores de forma eficiente, considerando fatores como a capacidade de cada trabalhador, a complexidade da tarefa e a procura por diferentes tipos de habilidades. Eles apresentam técnicas para otimizar o escalonamento de tarefas, garantindo que as atribuições sejam adequadas e equilibradas, evitando a sobrecarga ou ociosidade dos trabalhadores. Exemplos práticos são apresentados para ilustrar como o escalonamento de tarefas pode melhorar a utilização dos recursos humanos e a eficiência operacional.

Escalonamento de tarefas

De acordo com o livro “Operations and Supply Chain Management”, F. Roberto Jacobs e Richard B. Chase abordam conceitos e abordagens essenciais para o agendamento de atividades em operações (*scheduling*). O agendamento desempenha um papel crucial na determinação da sequência de execução das operações para atender à procura dos clientes de forma eficiente. Os autores exploram duas estratégias principais de agendamento: o planeamento avançado (*forward scheduling*) e o retroativo (*backward scheduling*). [1]

O planeamento avançado envolve a programação de cada operação necessária para concluir um pedido, seguindo uma sequência temporal. Isso permite determinar a data mais próxima em que um pedido pode ser concluído. Por outro lado, o agendamento retroativo parte da data de entrega desejada e trabalha em direção ao início das operações necessárias, permitindo determinar quando um pedido deve ser iniciado para ser concluído numa data específica. No entanto, existem limitações a serem consideradas no escalonar das operações. Num processo limitado por máquinas, o equipamento é o recurso crítico que precisa de ser agendado. Por outro lado, num processo limitado por mão de obra, as pessoas são o recurso chave a ser agendado. Na prática, a maioria dos processos enquadra-se numa destas categorias, mas raramente em ambas.

O livro também discute diferentes tipos de processos de produção e as abordagens de agendamento mais adequadas para cada um. Por exemplo, em centros de trabalho de baixo volume, onde são utilizados equipamentos personalizados, instrumentos especializados e produtos industriais de baixo volume, é comum ter esses mesmos centros organizados por função de fabrico, com um grande impacto da mão de obra nos custos dos produtos. Nesses

casos, o agendamento avançado infinito de trabalhos é comumente usado, sendo geralmente limitado por mão de obra, mas com funções específicas que podem ser limitadas por máquinas.

No contexto do agendamento em centros de trabalho, são desempenhadas diversas funções de controlo, como a alocação de pedidos, equipamentos e pessoal, a determinação da sequência de execução dos pedidos e o controlo no chão de fábrica. O sequenciamento dos trabalhos, também conhecido como *priority sequencing*, é uma etapa crítica nesse processo. São utilizadas regras de prioridade, que podem variar entre simples a complexas, levando em consideração uma ou mais informações. Essas regras ajudam a determinar a ordem dos trabalhos em máquinas ou centro de trabalho. [12]

O objetivo principal do agendamento em centros de trabalho é atender aos prazos estabelecidos, minimizar o tempo de fluxo, reduzir o tempo ou custo de configuração, minimizar o *stock* em processo e maximizar a utilização das máquinas. A maximização da utilização é vantajosa para a contabilidade de custos, desde que o equipamento seja utilizado para aumentar a receita, produzindo produtos que tenham procura. No entanto, se a utilização não contribuir para o aumento da receita, ela pode resultar em aumento do *stock*, sem gerar lucros.

Outros indicadores de desempenho importantes incluem o tempo de fluxo, que representa o tempo que um trabalho passa no sistema desde o lançamento até a conclusão e o cumprimento dos prazos. Este último pode ser medido diretamente pelos clientes, num ambiente de produção sob encomenda, ou na forma de requisitos de material para outros processos de fabrico/serviços dentro dos sistemas de fabrico/serviços. É comum utilizar métricas como atraso (*lateness*), que é a diferença entre o tempo de conclusão de um trabalho e a sua data de entrega.

2.4 Heurísticas e Meta-Heurísticas

A alocação de recursos, um problema fundamental em investigação operacional e gestão da produção, tem sido constantemente abordada com várias metodologias de solução, cada uma adaptada às complexidades e nuances do problema em questão. Heurísticas e meta-heurísticas surgiram como ferramentas essenciais para enfrentar esse desafio, equilibrando a otimização da solução e a eficiência computacional.

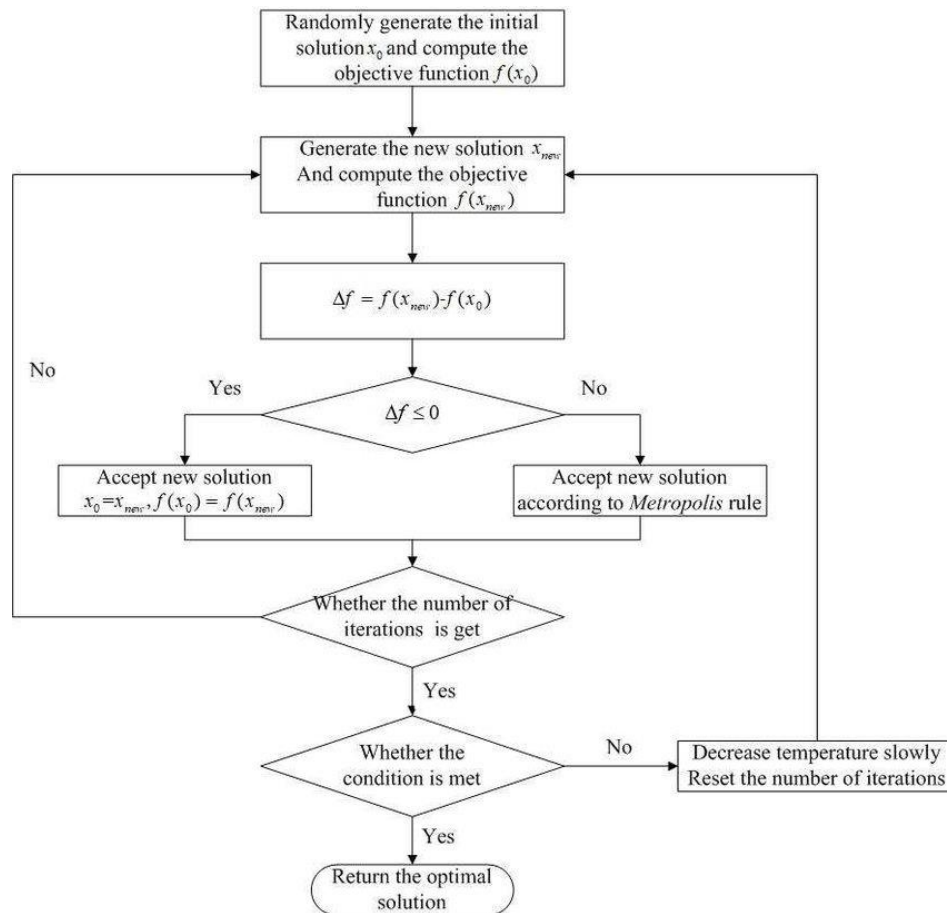
Em primeiro lugar temos as heurísticas, cuja essência reside na busca de uma solução razoavelmente boa usando um método que é tipicamente rápido e direto. Esses métodos são adaptados para problemas específicos, produzindo soluções que podem não ser globalmente ótimas, mas são satisfatórias dadas as restrições de tempo e computação.

Por outro lado, as meta-heurísticas podem ser vistas como um salto evolutivo das heurísticas. São procedimentos ou estratégias de nível superior que orientam as heurísticas subjacentes em direção a melhores soluções. Existem vários exemplos de meta-heurísticas: [11]

Simulated Annealing: Inspirado no processo de recozimento em metalurgia, este método decide, tendo por base as probabilidades, se aceita soluções com base num parâmetro de temperatura, conforme se pode ver no algoritmo da Figura 3. [13] [14]

Tabu Search: Utiliza estruturas de memória para explorar o espaço de solução de forma eficiente, garantindo que soluções previamente visitadas sejam marcadas e não revisitadas.

Ant Colony Optimization: Espelha o comportamento das formigas para encontrar o caminho mais curto entre uma fonte de alimento e o ninho.

Figura 3 - Fluxograma do algoritmo de *Simulated Annealing* [14]

Por exemplo, o artigo de Gonçalo Figueira, intitulado “A decision support system for the operational production planning and scheduling of an integrated pulp and paper mil”, elucida o poder e eficiência das meta-heurísticas. Enquanto as heurísticas estabelecem a base, as metaheurísticas, com suas estratégias expansivas, fornecem a robustez necessária para satisfazer a procura constante de evolução dos sistemas de produção modernos. O trabalho de Gonçalo Figueira serve como um testemunho do poder das meta-heurísticas em derivar soluções eficientes para problemas complexos, destacando a importância destas metodologias no escopo mais amplo da alocação de recursos. [8]

2.5 “Manpower Optimization”

A gestão da força de trabalho (“*manpower optimization*”)   um dos fatores determinantes para a produtividade de uma organização.

Uma das bases para a otimização da utilização dos recursos humanos da organização é a *Job Analysis*. Esta análise estuda as tarefas e responsabilidades necessárias para a organização bem como o conhecimento e a habilidade de cada trabalhador. Se tivermos em atenção o objetivo deste projeto,   possível construir uma matriz de responsabilidades na qual cada trabalhador é habilitado com competências para realizar um número de tarefas independentemente da linha de produção em que esteja envolvido. [15]

Existem duas abordagens para efetuar a análise das funções, uma das quais é a abordagem orientada para o trabalho e a segunda é a abordagem orientada para o trabalhador.

No que diz respeito à abordagem orientada para o trabalho, pode-se dizer que a mesma se centra na tarefa real envolvida num posto de trabalho. Esta abordagem concentra-se principalmente nos deveres, funções e responsabilidades inerentes a um posto de trabalho.

A abordagem orientada para o trabalhador tem por base a análise dos atributos humanos necessários para desempenhar o trabalho na perfeição. Os atributos humanos podem ser classificados em conhecimentos, competências, atitudes e outras características. Sendo o conhecimento, a informação de que as pessoas necessitam para desempenhar o seu trabalho. As competências são as aptidões necessárias para executar cada tarefa. Por sua vez, as aptidões são os atributos que são relativamente estáveis ao longo do tempo. Outras características são todos os outros atributos tais como fatores de personalidade.

Esta análise de funções requer o mapeamento dos atributos humanos, nomeadamente conhecimentos e competências dos trabalhadores e, deste modo, efetuar a correspondência para que funções estes estão aptos a executar.

Mapa de responsabilidades

O mapa de responsabilidades/competências é uma ferramenta essencial na alocação de recursos e na otimização da força de trabalho. Ele desempenha um papel fundamental ao atribuir tarefas, responsabilidades e funções específicas a indivíduos ou equipas dentro de uma organização. Esse mapa fornece uma visão clara e estruturada das responsabilidades de cada membro da equipa, permitindo uma melhor distribuição de recursos e uma otimização eficiente da força de trabalho.

Ao utilizar um mapa de responsabilidades, as organizações podem evitar sobrecarregar ou subutilizar seus recursos. Com uma compreensão clara das responsabilidades de cada indivíduo ou equipa, é possível alocar os recursos de maneira equilibrada e eficiente. Isso leva a uma distribuição mais justa do trabalho, reduzindo o risco de exaustão ou ociosidade dos funcionários.

Além disso, o mapa de responsabilidades é especialmente útil na otimização da força de trabalho. Ele permite identificar habilidades específicas e conhecimentos necessários para realizar determinadas tarefas. Com base nessa informação, é possível atribuir as tarefas aos funcionários mais adequados, levando em consideração suas habilidades, experiências e disponibilidade. Isso resulta em uma alocação mais eficiente dos recursos humanos, maximizando a produtividade e garantindo que cada membro da equipa desempenhe um papel significativo e relevante.

O livro "Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling" de Harold Kerzner é uma referência amplamente reconhecida no campo da gestão de projetos. Nesta obra, Kerzner aborda diversos aspectos relacionados à gestão de projetos, incluindo o papel crucial do mapa de responsabilidades na atribuição de recursos e na gestão eficaz desses projetos. [15]

No contexto da gestão de projetos, o mapa de responsabilidades desempenha um papel fundamental na definição e alocação dos recursos necessários para o sucesso do projeto. Ele permite que os gerentes de projetos identifiquem claramente as tarefas e atividades necessárias para alcançar os objetivos do projeto, bem como os membros da equipe responsáveis por cada uma delas.

Ao estabelecer um mapa de responsabilidades, os gerentes de projetos podem identificar as habilidades, conhecimentos e experiências necessários para cada tarefa específica. Com base nessa compreensão, eles podem alocar os recursos humanos de forma eficiente, atribuindo as tarefas aos membros da equipa mais adequados para executá-las. Isso garante que cada pessoa

tenha um papel definido e relevante no projeto, aproveitando ao máximo as suas capacidades individuais. Além disso, o mapa de responsabilidades ajuda a evitar a duplicação de esforços e a falta de clareza nas responsabilidades. Ao designar responsabilidades específicas a cada membro da equipa, é possível evitar a sobreposição de tarefas e garantir que todas as áreas críticas do projeto sejam cobertas. Isso promove uma distribuição equilibrada do trabalho e evita lacunas na execução das atividades.

Outro aspeto importante abordado por Kerzner é a importância da gestão eficaz dos recursos. Através do mapa de responsabilidades, os gerentes de projetos podem identificar possíveis *bottlenecks* na alocação de recursos e tomar medidas corretivas para otimizar sua utilização. Eles podem realocar recursos de acordo com as necessidades do projeto, garantindo que as tarefas sejam concluídas dentro dos prazos e objetivos estabelecidos. [15]

2.6 Sistemas de Apoio à Decisão

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) desempenham um papel fundamental no processo de escolha do método de alocação de recursos numa organização. Estes sistemas fornecem suporte tecnológico e análises avançadas para auxiliar os responsáveis pela decisão a fazer escolhas informadas e baseadas em dados.

A importância dos SAD na alocação de recursos reside na complexidade das decisões envolvidas nesse processo. Ao lidar com diversos recursos, restrições e objetivos, os gestores enfrentam um desafio significativo para encontrar a combinação ideal que optimize o desempenho e alcance as metas organizacionais. Nesse sentido, os SAD fornecem uma estrutura para analisar diferentes cenários, modelar o impacto das decisões e oferecer *insights* valiosos para orientar a alocação eficiente de recursos. [5]

Estes sistemas são projetados para lidar com grandes volumes de dados, realizar cálculos complexos e apresentar informações de forma clara e compreensível. Estes são capazes de integrar dados de várias fontes, como sistemas de planeamento de recursos empresariais (ERPs), sistemas de gestão de *stock* e sistemas de gestão de cadeias de abastecimento. Com base nesses dados, os SAD podem realizar análises avançadas, como simulações, modelagem preditiva e otimização, para ajudar os gestores a tomar decisões mais robustas e estrategicamente alinhadas. [7]

A utilização de SAD na alocação de recursos oferece várias vantagens. Em primeiro lugar, estes sistemas permitem uma avaliação abrangente e objetiva das diferentes opções disponíveis. Eles ajudam a identificar *bottlenecks*, identificar os recursos mais críticos, avaliar o impacto das restrições e considerar múltiplos objetivos, como maximizar a eficiência, minimizar os custos ou otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Além disso, os SAD permitem uma tomada de decisão mais rápida e precisa. Ao automatizar processos complexos e fornecer informações relevantes em tempo real, estes sistemas permitem aos gestores a responder de forma ágil a mudanças nas condições do mercado, necessidades dos clientes ou disponibilidade de recursos. [10]

Um exemplo da aplicação dos SAD à alocação de recursos é o trabalho desenvolvido por Dillenberger, Wollensak, Escudero e Zhang. Estes descrevem um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) desenvolvido no Centro de Tecnologia de Manufatura Alemã em Sindelfingen. O sistema é baseado em métodos e algoritmos fornecidos por L.F. Escudero, e é destinado a otimizar o planeamento e agendamento de produção de sistemas de manufatura flexíveis (FMS) ou áreas de manufatura semelhantes a oficinas. O problema de planeamento e programação de produção é descrito como a atribuição de uma certa procura necessária aos componentes da oficina ao longo de um período de tempo para o qual existe um planeamento definido. A

complexidade deste problema reside na necessidade de especificar o período de planeamento em termos dos seus subperíodos e as suas durações em unidades de tempo, o conjunto de tipos de peças com os seus requisitos de processamento associados, e para cada tipo de peça, o número de peças a serem produzidas juntamente com os seus prazos de entrega. [6]

Os objetivos são minimizar o tempo total de produção ou, de maneira mais geral, uma função de custo de produção. Este problema resulta num grande problema de otimização combinatória mista e multicritério. O sistema é particularmente útil em situações de alta carga de trabalho, onde é difícil para os seres humanos encontrarem uma programação viável devido à complexidade do problema. Além disso, em situações de subutilização, o sistema ajuda a encontrar a utilização ideal do equipamento disponível. A última parte do artigo apresenta a formulação matemática do problema de programação, que é um grande problema de programação linear. Este problema é resolvido pelo SAD usando o Sistema de Programação Matemática IBM Extended/370 (MPSX/370) Versão 2. No entanto, o valor do sistema não reside apenas na solução algorítmica, mas também fornece funções de diálogo com o utilizador, entrada de dados e representação de resultados. [6]

2.7 Indicadores de Performance (KPIs)

Para a utilização eficaz de um bom Sistema de Apoio à Decisão, é essencial que este proporcione uma representação de resultados através de *Key Performance Indicators* (KPIs) adequados ao contexto do problema. No contexto deste projeto, nomeadamente o problema abordado, objetivos estabelecidos e o tipo de produção, os indicadores de performance mais pertinentes são os descritos abaixo.

Throughput Time (TPT)

O *Throughput Time* (ou tempo de percurso) de um produto diz respeito ao tempo que esse produto demora a atravessar a linha de produção em causa. Pode ser calculado desde a criação do conceito ao lançamento do produto, da encomenda até à entrega, da matéria-prima até às mãos do cliente. Inclui tanto o tempo de processamento como tempo de espera.

Neste caso, recorre-se a dados informáticos e faz-se a diferença entre o último registo semanal de produção (excluindo o registo da equipa de logística, no embalamento) e o primeiro registo semanal da produção (excluindo a reunião de materiais, por parte da equipa de logística) de cada projeto. Em seguida, multiplicou-se o número de semanas por 5 dias (úteis) e calcula-se a média ponderada do TPT por cada tipo de peça.

On Time Delivery (OTD)

O *On Time Delivery* é um KPI que mede a eficácia com que uma organização cumpre seus prazos de entrega. É calculado como a percentagem de produtos ou serviços entregues na data prometida em relação ao total de produtos ou serviços que deveriam ter sido entregues nessa data. Um alto índice de OTD indica que uma empresa está a cumprir suas promessas aos clientes, o que pode levar a uma maior satisfação do cliente e retenção. Por outro lado, um baixo índice de OTD pode indicar problemas com a programação da produção, a gestão do inventário, ou a cadeia de abastecimento que podem necessitar de correção. [9]

Produtividade

É uma medida de eficiência e como tal é uma razão entre o que se obtém e o que é necessário fornecer para se obter. A produtividade pode ser definida como sendo a razão entre

o valor ou a quantidade de produtos que se consegue obter e a quantidade de recursos que são usados para isso. Os recursos normalmente mais valiosos na produção são os recursos humanos, portanto, a produtividade é por defeito entendida como a relação entre a quantidade ou valor dos produtos produzidos e as horas de mão-de-obra gastas para os produzir o que vai de encontro a um dos principais objetivos da dissertação relacionado com a alocação de mão de obra às linhas.

Média de Dias de Atraso

A Média de Dias de Atraso na entrega é a designação utilizada para o indicador que quantifica o atraso (chamado *lateness*) no cumprimento dos prazos de entrega. É um indicador chave que reflete diretamente a eficiência de uma linha de produção e logística ao entregar produtos ao cliente. Este KPI é determinado calculando-se a diferença entre a data de entrega prometida ao cliente e a data real de entrega. Se um produto é entregue antes da data prometida, o atraso é considerado zero. Se um produto é entregue depois da data prometida, o atraso é igual ao número de dias após essa data.

Para cada um desses KPIs, é importante entender não apenas o que eles medem, mas também como eles se inter-relacionam. Por exemplo, esforços para aumentar a produtividade podem, às vezes, levar a um aumento no *Throughput Time*, se os trabalhadores estiverem tão sobrecarregados que não conseguem manter o ritmo. Da mesma forma, focar demais em reduzir o TPT pode levar a cortes de qualidade que reduzem a satisfação do cliente, mesmo que as entregas sejam feitas a tempo. Portanto, é importante equilibrar esses KPIs e entender como as mudanças em um podem afetar os outros.

3 Descrição e Análise do estado inicial do processo produtivo

Neste capítulo é efetuada uma breve descrição de todos os elementos da Unidade AMT e sobre como estes influenciam o projeto desenvolvido.

3.1 O processo produtivo na Efacec AMT

A Unidade de Negócio do AMT pode ser dividida, essencialmente, na linha de distribuição primária (Normacel e QBN 5/7) e secundária (Normafix e Fluofix), como se pode ver na figura 4. Também existe uma linha de produção dedicada à produção de disjuntores (Divac).

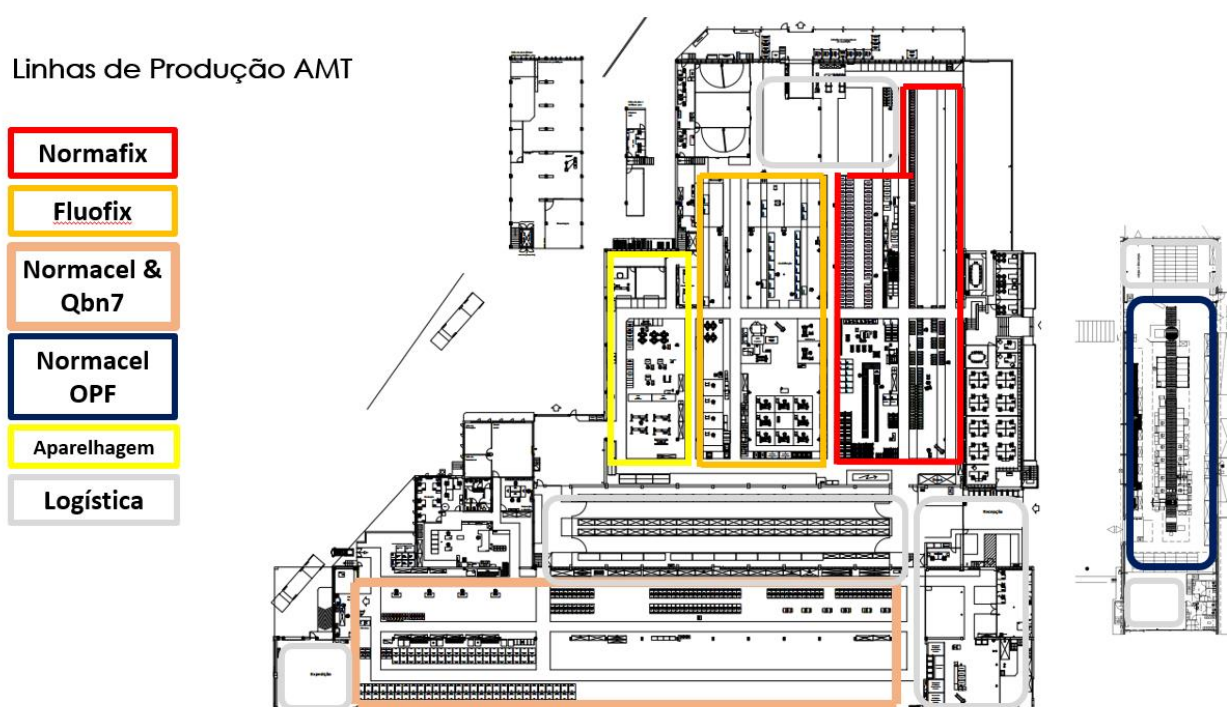


Figura 4 - Planta da UN Efacec AMT

3.1.1 Linha de distribuição primária

Esta linha de produção é dedicada aos produtos do tipo Normacel e QBN 5/7 e existem muitos mais casos de *Engineering-to-Order* (conforme se pode ver no *layout* do chão de fábrica na Figura 5) do que no resto das linhas, no entanto também existem produtos já previamente concebidos que são produzidos desde o início quando é realizada uma encomenda. A área de instalação ocupada é bastante reduzida, sem comprometer a simplicidade da exploração, assim como a acessibilidade para a manutenção.

Tipicamente nesta linha os projetos são de número reduzido e complexidade elevada o que leva a um longo *lead time* de entrega, entre 4 e 6 meses desde que o AMT receciona o pedido de encomenda até o produto final sair da fábrica. Dado o alto grau de customização e modularidade destas encomendas, podem existir projetos complexos que incluem 30 celas a

demorar cerca de 720 horas a serem executas no chão de fábrica, bem como projetos mais simples para produção de apenas 1 cela demorando à volta de 20 horas a ser concluída.

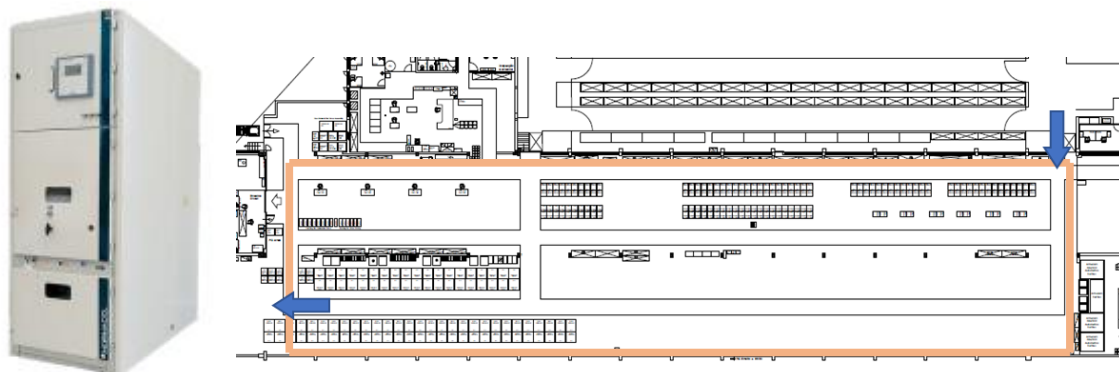


Figura 5 - Layout Linha de Produção Primária

3.1.2 Linha de distribuição secundária

A zona da unidade AMT destinada à produção de soluções de distribuição secundária encontra-se dividida (como é visível na Figura 6) em duas secções: uma dedicada à produção de produtos Normafix e outra para produtos Fluofix, cujos exemplares destes produtos encontram-se na Figura 7.

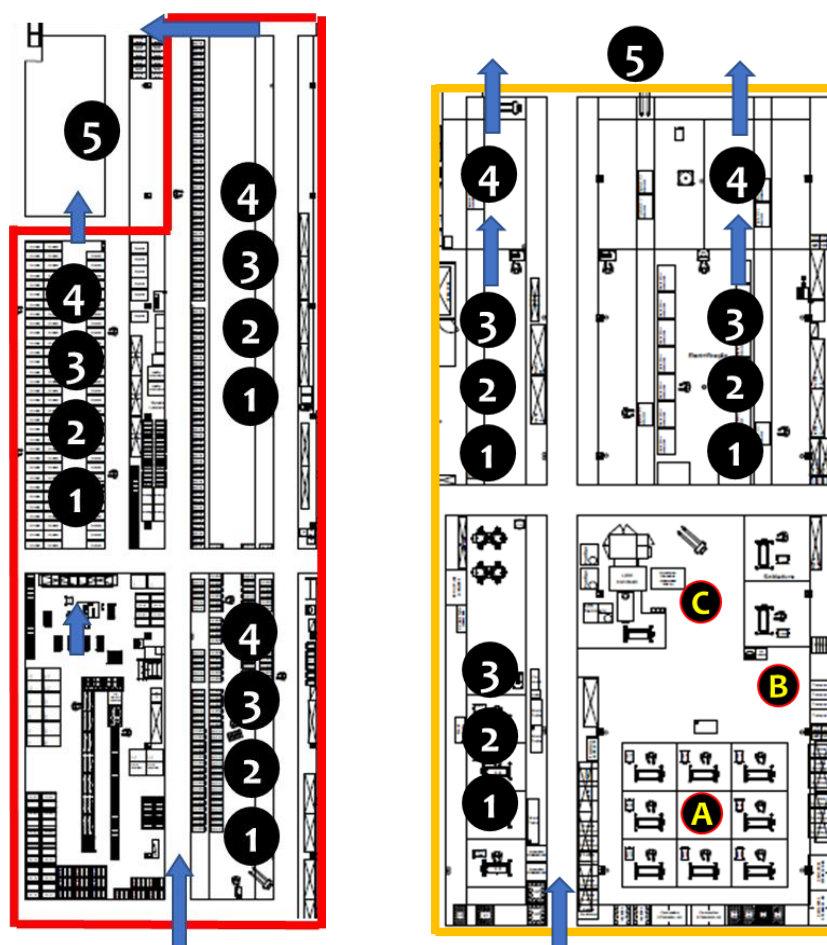


Figura 6 - Linha de Produção Secundária (Normafix à esquerda e Fluofix à direita)

A linha do Normafix funciona numa lógica que combina vários processos produtivos dependendo das solicitações realizadas pelo cliente. A produção do Normafix ocorre numa

configuração de posição fixa, à semelhança do Normacel, embora com dimensões significativamente mais pequenas.

A linha do Fluofix funciona unicamente com a lógica *Make-to-Order* e *Engineering-to-Order* mediante as necessidades de personalização dos produtos, no entanto, na esmagadora maioria não é necessário realizar desenvolvimento da engenharia utilizando-se assim já artigos previamente concebidos. O *lead time* de entrega de um projeto de Fluofix é mais curto comparado com os restantes produtos da Unidade AMT. Nesta linha de produto o *layout* utilizado aproxima-se bastante do *Assembly Line*. Esta disposição é um bocado forçada pelo facto de existir um ensaio que não pode ser realizado por ferramentas móveis e pelo motivo de ser mais estreita a gama de produtos produzida.



Figura 7 - Exemplares dos produtos da linha Secundária (Fluofix à esquerda e Normafix à direita)

Relativamente aos tempos de entrega e produção, esta linha apresenta valores de *lead time* à volta dos 3 meses, enquanto o tempo que estas produções ocupam no chão de fábrica pode ir de apenas 6 horas para projetos mais simples até 100 horas para os mais complexos.

3.1.3 Linha de produção de disjuntores

Esta linha é dedicada à produção de disjuntores que podem ser vendidos individualmente ou utilizados para produção de outras soluções da distribuição primária, os quadros Normacel e QBN 5/7. O produto mais popular da linha dos disjuntores é o Divac, um produto de fácil instalação e manobra, ideal para todas as aplicações em média tensão.

O *setup* da produção, conforme mostra a Figura 8, é composto por estações de trabalho idênticas em que cada trabalhador é atribuído a uma estação e tem um Divac individual a seu cargo. Pode ser auxiliado por um guindaste móvel montado no teto com capacidade para lidar com elementos mais pesados, nomeadamente alguns componentes do produto.

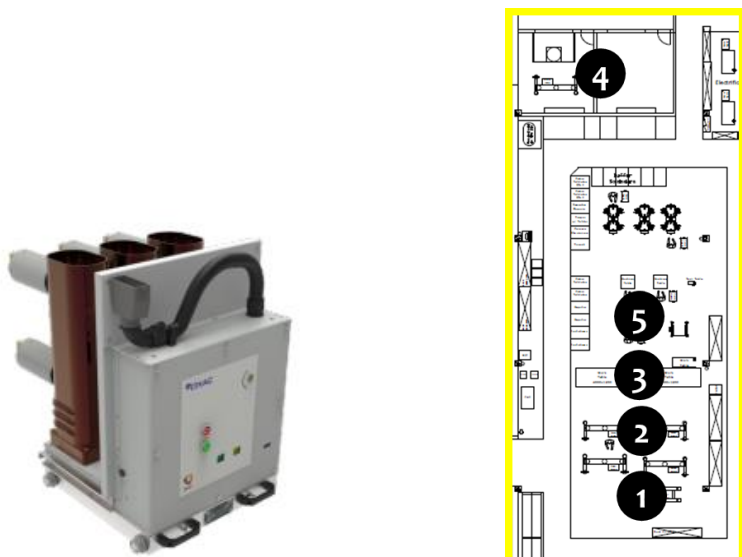


Figura 8 - Linha de Produção Disjuntores

Esta linha de produtos é a que tem produções mais simples e rápidas, normalmente com tempos de chão de fábrica entre 6 e 8 horas.

3.2 Força de trabalho

A força de trabalho responsável pela produção na Unidade de Negócio AMT encontra-se dividida conforme as linhas de produção descritas na secção 3.1. Durante a realização deste trabalho apenas se teve em conta as funções essenciais para a realização dos diferentes tipos de tarefa: Komax, Serralharia, Eletricistas, Inspeção e Ensaio. De referir que cada linha tem um chefe de equipa, responsáveis pela comunicação direta com o Diretor da Produção, mas não foram contabilizados para este trabalho. Abaixo na Tabela 1, é possível encontrar uma caracterização completa da força de trabalho:

Tabela 1 - Caracterização da força de trabalho, em número de colaboradores, da produção da EFACEC AMT

	Primária	Secundária		Disjuntores
		Fluofix	Normafix	
Operador Komax	2	1	1	1
Serralheiro	17	10	3	4
Serralheiro/Eletricista	0	1	1	0
Eletricista	6	0	2	1
Inspeção e Ensaio	2	1	1	1

3.3 Situação atual de cumprimento de prazos de entrega

De seguida, seguem-se tabelas e gráficos de dados recolhidos da produção da Unidade AMT da Efacec em 2021 e 2022. Dada a grave situação financeira vivida pela empresa, conforme documentada no enquadramento deste projeto (secção 1.2), tem vindo a registar-se cada vez mais atrasos no cumprimento das encomendas como se pode ver na Tabela 2. Estas

evidências também são comprovadas pelos gráficos das Figuras 9 e 10 que demonstram não só a diminuição geral do indicador OTD ao longo dos meses, mas também o aumento do número médio de dias de atraso.

Estes atrasos podem explicar-se em parte pela irregularidade de recebimento de encomendas para cada uma das linhas de produção ou pela falta de materiais para executar as ordens de produção que a empresa tem em mãos, que por sua vez contribui para uma taxa mais baixa de ocupação da sua mão de obra. Com este projeto, pretende-se melhorar o modo como as tarefas são alocadas aos recursos de mão de obra e, assim, melhorar indicadores como o OTD e reduzir o número de atrasos.

Tabela 2 - Número de atrasos produção de 2021 (meses 1 a 9) no AMT

Row Labels	num_atrasos	não_atrasos	OTD
2021	985	586	37%
2021M01	103	34	25%
2021M02	128	77	38%
2021M03	208	112	35%
2021M04	138	110	44%
2021M05	87	97	53%
2021M06	106	34	24%
2021M07	75	72	49%
2021M08	58	13	18%
2021M09	82	37	31%
Grand Total	985	586	37%

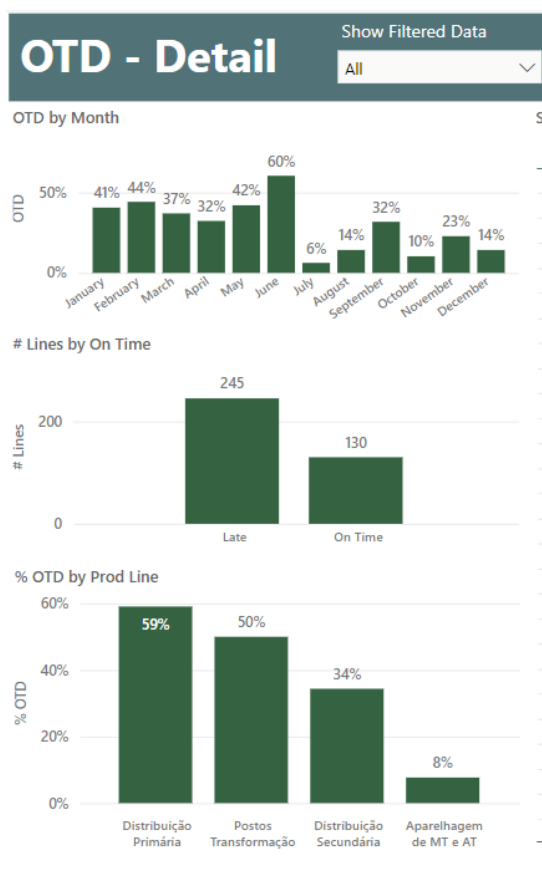


Figura 9 - Gráficos indicador OTD nas diferentes linhas de Produção AMT em 2021



Figura 10 - Dados OTD no AMT em 2022

3.4 Ferramentas informáticas utilizadas

A utilização de sistemas digitais para gerir de forma mais eficiente os processos e movimentações de *stock* dentro de uma unidade fabril tornou-se amplamente difundida na indústria. No caso da unidade AMT, vários sistemas são empregues para apoiar os trabalhadores no seu dia a dia. O WMS utilizado pela unidade é chamado “Atlas” (como se pode ver na interface da Figura 11) e permite que os trabalhadores tenham uma visão detalhada dos SKUs, *stock* e localizações de armazenamento, acompanha os movimentos de entrada e saída, bem como as transferências de localização, exibe procedimentos de recolha de pedidos nos quais os trabalhadores podem confirmar diretamente as operações de recolha num computador, e também podem seguir o recebimento de remessas internacionais. [9]

Atlas Entradas Saídas Procurar Picking Pedidos Transportes Check up Configurar Sair							
Pedidos em curso (246)							
Pedido	# linhas	Sem stock	Fabrico	Destino	Aviamento	Ord.	Observações
ATL0020559	46 (3)	3	E18801323	Normafix 36	2023-10-03		CBTs
ATL0020963	2 (1)	1	K18089961	Divac	2023-10-04		
ATL0020964	3 (1)	1	K18091039	Divac	2023-10-04		
ATL0020991	3 (1)	1	E18101125	Expedição	2023-10-11		E18101125 - CBT - Enviar p/ Quadtel
ATL0018987	434 (64)	58	E18101013	QBN	2023-10-11		Modon
ATL0020250	151 (20)	20	E18101102	Normacel	2023-10-12		E18101102 SE Orgens
ATL0020999	6 (2)	2	K18090184	Normacel	2023-10-12		
ATL0021002	22 (2)	2	F18058409	Expedição	2023-10-13		V18900519 O29002029
ATL0020995	9 (1)		K18088310	Fluofix 24	2023-10-13		Aviar apenas as unidades. Os porta fusíveis serão desmontados das unidades da CEM
ATL0020847	5 (3)	3	E18201835	Fluofix 24	2023-10-13		
ATL0021007	22 (2)	2	K18090254	Divac	2023-10-16		DESTINO: Silopor V18500299 e V18500300 13 x 365120215-01
ATL0021009	16 (1)	1	E18101122	Divac	2023-10-16		E18101122 Torres Vedras Sul Disjuntor
ATL0020900	110 (5)	4	E18101100	Normacel	2023-10-16		E18101100 Ampliação SE Lousada
ATL0020353	16 (3)	3	V18L00020	Expedição	2023-10-16		V18L00020 BONDALTI LMA
ATL0020868	11 (1)	1	K18089635	Normafix 24	2023-10-17		1 x 2HV250410V02 Cabi E18H00183
ATL0020868	11 (1)	1	K18089636	Normafix 24	2023-10-17		1 x 2HV250410V02 E18H00184

Figura 11 - Interface WMS "Atlas"

Um dos sistemas mais importantes do ponto de vista da empresa é o sistema de Planeamento de Recursos Empresariais (ERP), neste caso chamado de “Infor Baan” (comumente referido como “Baan” – interface na Figura 12). Como mencionado anteriormente, um ERP é um sistema usado para ter uma visão unificada de toda a empresa, o que inclui ordens de produção, acompanhamento do stock (contabiliza itens que ainda não foram utilizados fisicamente, mas estão reservados como parte de um pedido), indicadores financeiros, controlo de tempo e outras funcionalidades. Em grande parte, Atlas e Baan trabalham em conjunto, enquanto o Atlas atende a unidade com base no que está fisicamente presente no armazém, o Baan trabalha numa perspetiva mais orientada para negócios. Algumas das integrações entre eles incluem o consumo de stock Baan quando um item é selecionado para produção no Atlas e a criação de ordens de recolha com base em ordens de produção de forma transparente. [9]

Ordem de produção	Item	Quantidade pedida	Data planejada de entrega	Status ordem	Prioridade	Plano	Revisão
K1000261	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	08:00:00	999	P1803	-
K1000262	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K1000263	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K1000273	33411813-01	1.0000 U	09/10/2023	09:56:22	999	P1803	-
K1000938	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K1000939	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K1000940	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K1000941	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K1000942	33411813-01	1.0000 U	28/09/2023	16:00:00	999	P1803	-
K10017431	33411814-01	1.0000 U	22/02/2012	15:47:00	999	P1803	-
K10017910	33411814-01	1.0000 U	02/04/2012	15:33:00	999	P1803	-
K10018738	33411814-01	1.0000 U	21/05/2012	05:00:00	999	P1803	-
K10019109	33411814-01	1.0000 U	06/07/2012	14:49:00	999	P1803	-
K10019832	33411814-01	1.0000 U	24/07/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10020662	33411814-01	1.0000 U	21/07/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10025571	33411814-01	1.0000 U	16/04/2013	08:18:00	999	P1803	-
K10025572	33411814-01	1.0000 U	16/04/2013	08:18:00	999	P1803	-
K10025623	33411814-01	1.0000 U	14/05/2013	08:18:00	999	P1803	-
K10055557	33411814-01	1.0000 U	08/05/2016	05:16:26	999	P1803	-
K10017429	33411815-01	4.0000 U	22/02/2012	15:25:00	999	P1803	-
K10017951	33411815-01	1.0000 U	02/04/2012	15:34:00	999	P1803	-
K10017962	33411815-01	1.0000 U	02/05/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10018274	33411815-01	1.0000 U	02/05/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10018275	33411815-01	1.0000 U	02/05/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10019110	33411815-01	1.0000 U	13/07/2012	14:50:00	999	P1803	-
K10019937	33411815-01	1.0000 U	24/07/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10019950	33411815-01	1.0000 U	24/07/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10020487	33411815-01	1.0000 U	21/07/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10020963	33411815-01	1.0000 U	19/09/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10020964	33411815-01	1.0000 U	19/09/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10022275	33411815-01	1.0000 U	20/11/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10022276	33411815-01	1.0000 U	20/11/2012	08:18:00	999	P1803	-
K10022918	33411815-01	1.0000 U	22/01/2013	08:18:00	999	P1803	-
K10022934	33411815-01	1.0000 U	22/01/2013	08:18:00	999	P1803	-
K10023041	33411815-01	1.0000 U	05/02/2013	08:18:00	999	P1803	-
K10023342	33411815-01	1.0000 U	05/02/2013	08:18:00	999	P1803	-

Figura 12 - Interface do ERP "Baan"

Outros sistemas também são integrados no WMS e/ou ERP. Por exemplo, o "Check-in" é um sistema que auxilia o recebimento de itens e permite que os trabalhadores insiram os produtos recebidos no Atlas e no Baan, executando uma leitura de código de barras ou digitando o identificador do pedido.

Embora a sincronização dos sistemas e a integração perfeita sejam cruciais para uma gestão eficaz, alguns desses sistemas não estão totalmente sincronizados. Um exemplo disso ocorre ao receber os pedidos. Os trabalhadores primeiro inserem os artigos no Atlas, quando eles chegam fisicamente ao armazém. Somente após a verificação e validação no momento da receção dos artigos, os trabalhadores podem inseri-los no Baan, digitando o identificador do pedido de compra. Isso significa que, por um certo período de tempo, os artigos entraram no WMS, mas não no ERP, o que pode causar incertezas para os responsáveis pela tomada de decisão. Outra preocupação está relacionada com os pedidos de recolha, devido ao facto de que todas as peças disponíveis de uma ordem de produção são consumidas no ERP no início do procedimento de recolha, antes mesmo de serem fisicamente recuperadas e confirmadas no WMS. Isso significa que os sistemas têm uma sincronização aproximada, mas não total.

Recentemente, surgiu o SwitchIT que é uma plataforma web desenvolvida pela Engenharia Industrial do AMT que tinha como principal objetivo inicial substituir as SOPs generalizadas (*Standard Operating Procedures*) que existiam no chão de fábrica por SOPs com instruções de montagem específicas para cada produto através de suportes visuais e textuais.

O sistema tem vindo a evoluir e propôs-se a outros objetivos além da visualização das instruções de trabalho (exemplificada na Figura 13) como, por exemplo, controlo em tempo real do processo e sua rastreabilidade, aumento da produtividade com a uniformização da melhor prática de produção, entre outros. É uma plataforma que ambiciona ter uma aplicabilidade transversal a todas as fábricas e é bastante utilizada pelas chefias e outras equipas (como o planeamento) com o intuito de perceber o estado da produção.

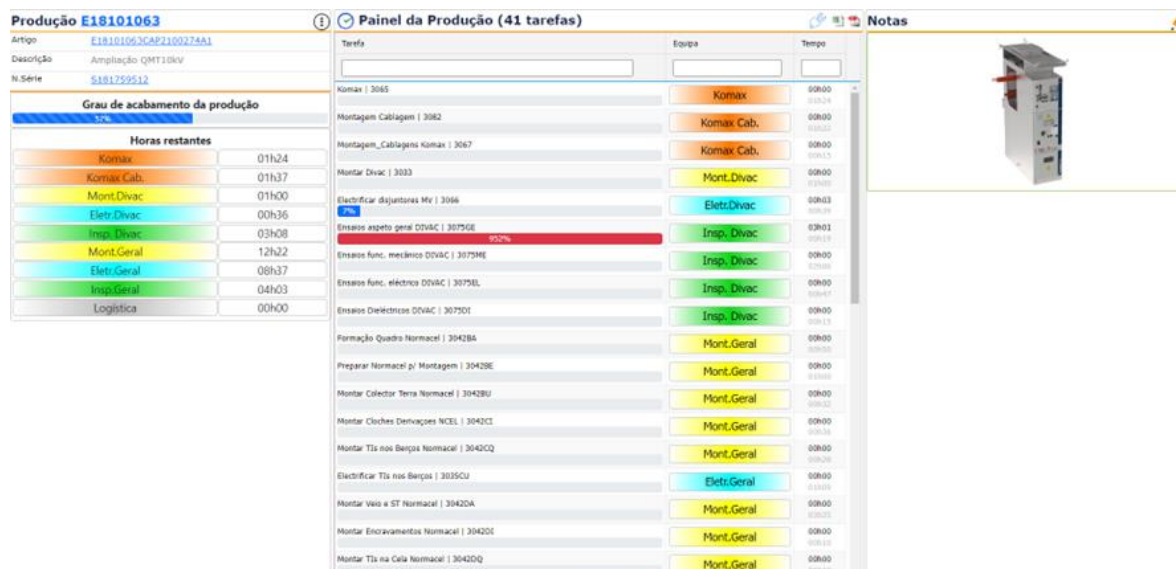


Figura 13 - Interface de SwitchIT que permite visualizar tarefas

A necessidade do SwitchIT ter as funcionalidades descritas anteriormente motivaram também o desenvolvimento de uma ferramenta de monitorização da produção como poderá ser visto no capítulo seguinte.

4 Apresentação das ações desenvolvidas

4.1 Estudo de métodos de alocação de recursos

4.1.1 Estruturação do modelo

Identificação de tarefas

Identificar todas as tarefas envolvidas no processo de produção de aparelhagem elétrica é o primeiro passo para uma alocação eficiente de recursos. Essas tarefas podem incluir tarefas como montagem, soldagem, teste de qualidade, embalagem e outras etapas importantes da fabricação de bens.

Avaliação das competências necessárias

Cada tarefa requer um conjunto específico de habilidades para ser executada de forma eficiente e com qualidade. Nesta etapa, é essencial identificar as competências necessárias para cada tarefa. Por exemplo, a montagem pode exigir conhecimento em leitura de diagramas e habilidades manuais, enquanto a função de eletricista requer formação especializada.

Mapeamento da disponibilidade de recursos

Para alocar as tarefas adequadamente, é necessário ter informações sobre a equipa de trabalho disponível. Isto inclui o número de funcionários, as suas competências e quaisquer restrições de disponibilidade, como licenças médicas ou férias. É importante ter um registo atualizado dessas informações para realizar a alocação de forma precisa.

Priorização das tarefas

Uma vez que as tarefas tenham sido identificadas e as habilidades necessárias tenham sido avaliadas, é necessário estabelecer uma ordem de prioridade. A priorização pode ser baseada em critérios como prazos de entrega, necessidades e importância dos clientes ou urgência das tarefas. Essa classificação permite que o modelo de alocação de recursos tenha em consideração a importância relativa de cada tarefa.

Correspondência entre competências e tarefas

A fase seguinte consiste em comparar as habilidades necessárias para cada tarefa com as competências disponíveis na força de trabalho. O objetivo é encontrar correspondências adequadas entre as habilidades dos funcionários e as habilidades necessárias para realizar cada tarefa. Essa correspondência garante que as tarefas sejam atribuídas a indivíduos com as habilidades apropriadas, maximizando a eficiência e minimizando a necessidade de retrabalho.

Consideração da carga de trabalho

Além de combinar as habilidades, é importante ter em consideração a carga de trabalho de cada funcionário. É fundamental evitar sobrecarregar indivíduos com muitas tarefas ou com competências específicas. Distribuir a carga de trabalho de forma equilibrada promove a eficiência e a satisfação da força de trabalho, evitando a exaustão e o desgaste excessivo.

Monitorização e ajuste

Por fim, é essencial estabelecer um mecanismo de monitorização e ajuste contínuo do modelo de alocação de recursos. Acompanhar o desempenho da alocação ao longo do tempo permite identificar possíveis *bottlenecks*, identificar áreas de melhoria e fazer os ajustes

necessários. Esta abordagem iterativa garante que o modelo de alocação seja adaptado às necessidades em constante mudança da fábrica.

4.1.2 Construção do algoritmo

Nesta secção, pretende-se apresentar o modelo construído de alocação dos recursos de mão de obra disponível aos projetos. O modelo foi desenvolvido com código construído em Python, sendo integrado com o Microsoft Excel.

A solução criada com este modelo divide-se em 3 pontos fundamentais:

- Levantamento dos inputs do modelo: carregamento de todos os dados de entradas fundamentais para o funcionamento do mesmo;
- Execução do algoritmo de alocação de recursos de mão de obra disponível às ordens de produção (projetos);
- Visualização dos resultados obtidos no ponto anterior;

Inputs do modelo:

- Ordens de produção: id da ordem de produção, id da tarefa a desenvolver dentro da ordem de produção, Quantidade pedida, Duração prevista, Data prevista de entrega, Função necessária à sua execução;
- Colaboradores: Nome, horário, função que desempenham (relacionado com o mapa de competências).

Formulação Matemática

O problema de alocação de recursos pode ser formulado como um problema de programação inteira. Dada uma lista de ordens de produção, cada uma com um certo número de tarefas a executar, e uma *pool* de recursos, procuramos encontrar a atribuição ótima de tarefas aos recursos disponíveis, respeitando as restrições de disponibilidade e prioridades. Podemos definir as seguintes variáveis de decisão:

- Variável binária x_{ij} , que indica se a tarefa i foi atribuída ao recurso j ($x_{ij} = 1$) ou não ($x_{ij} = 0$).
- Variável contínua y_i , que representa o tempo de início da tarefa i .

As restrições do problema incluem:

- Restrições de habilidades: Para cada tarefa i , a soma das habilidades dos trabalhadores atribuídos a essa tarefa deve ser igual ou maior que o requisito r_i , ou seja, $\sum_{j=1}^n s_{ij} \geq r_i$.
- Restrições de disponibilidade: A alocação de trabalhadores a tarefas não pode exceder a disponibilidade de cada trabalhador w_i , ou seja, $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq d_i$, onde x_{ij} é uma variável binária indicando se o trabalhador w_i está alocado à tarefa i .
- Restrições de alocação: Cada tarefa deve ser atribuída a um número adequado de trabalhadores, ou seja, $r_i \leq \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq r_i + k$, onde k é um parâmetro que permite uma flexibilidade na alocação de trabalhadores para evitar sobre-alocação ou sub-alocação excessiva.

O objetivo é minimizar a função objetivo, que pode ser definida como a média ponderada das datas de entrega das tarefas cujas data não foram satisfeitas (não foram atribuídas aos recursos a tempo). Esta função objetivo reflete a importância de evitar atrasos na entrega das ordens de produção.

Formalmente, a função objetivo pode ser expressa como:

$$\text{Minimizar: } \sum_i w_i * d_i$$

Onde:

- w_i é um peso associado à tarefa i (por exemplo, pode ser determinado com base na importância do cliente ou na penalidade por atraso).
- d_i é o atraso (em dias) da tarefa i , calculado como a diferença entre a data de entrega desejada e a data de conclusão da tarefa.

Solução Inicial em Python

Para obter uma solução inicial para o problema de alocação de recursos, desenvolveu-se um modelo em Python. É um algoritmo desenvolvido para alocar recursos a tarefas de produção, tendo em consideração várias restrições e prioridades. Este algoritmo é útil em ambientes de produção onde é necessário otimizar o uso de recursos limitados, enquanto se cumprem prazos de entrega.

Segue uma descrição detalhada das várias partes do algoritmo (suportado pelo diagrama da Figura 14):

Inicialização: o algoritmo começa por configurar as folhas de cálculo com a lista de ordens de produção e a força de trabalho de onde vai buscar a informação necessária. Estas informações incluem detalhes das ordens de produção e do grupo de recursos. A rotina de ordenação assegura que as ordens sejam processadas de acordo com a data de entrega, número de ordem e número de tarefa, por ordem crescente.

Alocação de Tarefas: é realizada iterativamente até que todas as tarefas tenham sido alocadas. Ele passa por cada ordem de produção e para cada ordem, passa por cada recurso disponível no grupo de recursos para encontrar o recurso que pode completar a tarefa no menor tempo possível. A diferença entre a data de entrega da ordem e a data atual é usada para determinar a urgência da tarefa. A lógica subjacente considera a disponibilidade do recurso (dentro do horário de trabalho entre 9:00 e 17:00), e o tipo de força de trabalho necessária para a ordem de produção. Além disso, o código verifica se a duração da tarefa é menor ou igual ao tempo disponível. Se essas condições forem verificadas, o recurso é atribuído à tarefa.

Atualização de Status: Após a atribuição bem-sucedida de um recurso a uma tarefa, o *status* do recurso é atualizado para "Atribuído" e o tempo de disponibilidade do recurso é atualizado. O nome do recurso atribuído e o tempo de início real são então registados na folha das ordens de produção.

Looping: O processo de alocação de recursos às tarefas continua até que todas as tarefas tenham sido atribuídas. Depois de todas as tarefas serem atribuídas, o algoritmo irá ordenar as ordens de produção por número de ordem e número de tarefa e exibirá uma mensagem de "tarefas atribuídas".

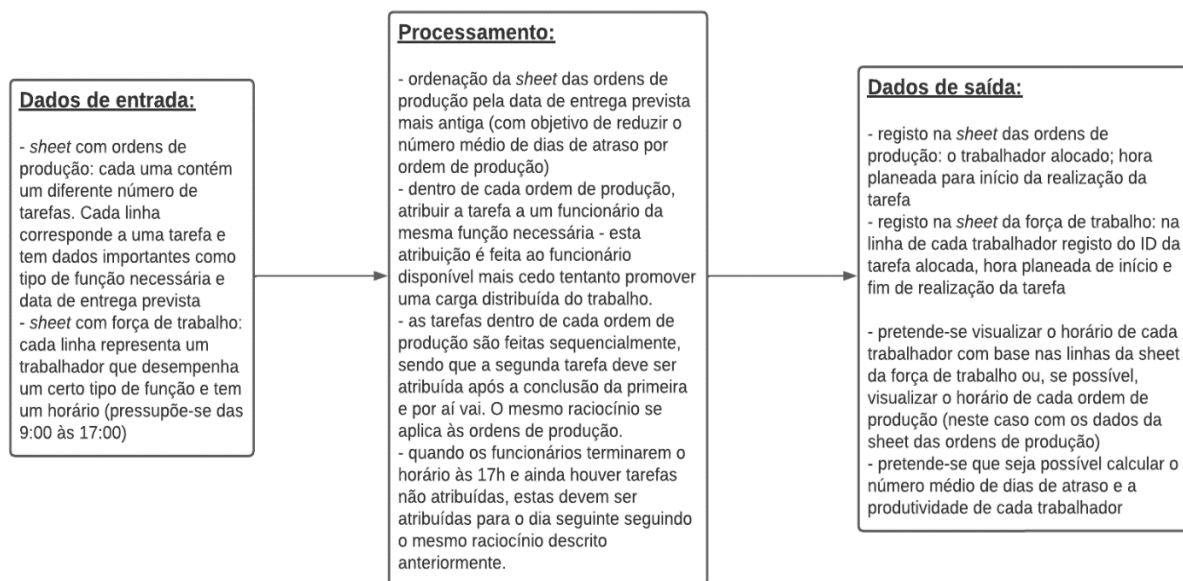


Figura 14 - Diagrama de apoio ao algoritmo

Pressupostos

É importante ter noção que todos os algoritmos têm as suas limitações inerentes e, por isso, é necessário estabelecer pressupostos que permitam trabalhar mitigando os efeitos destas limitações. A compreensão destes pressupostos serve como base para a melhoria contínua do algoritmo.

Em primeiro lugar, é assumida a disponibilidade ininterrupta dos trabalhadores: este algoritmo assume que todos os funcionários estão disponíveis para trabalhar durante o horário de trabalho definido, que começa às 9h00 e termina às 17h00. Não são considerados turnos, pausas para almoço ou descanso ou quaisquer outras interrupções que possam ocorrer durante a rotina de trabalho real.

A priorização de tarefas não é considerada pelo algoritmo. Num ambiente de produção real, algumas tarefas são mais importantes do que outras (devido ao peso do cliente), o que significa que os recursos devem ser priorizados para essas tarefas, mesmo que isso signifique adiar outras o que vai contra o objetivo de com este algoritmo minimizar o número médio de dias de atraso para conclusão de uma ordem de produção.

Por fim, apesar da formulação matemática descrita anteriormente, não existe diferenciação de habilidades entre trabalhadores. Isto é, tem por base um mapa de habilidades com apenas um nível de “especialização”, ou seja, por exemplo todos os eletricitistas são capazes de executar todas as tarefas destinadas a eletricitistas. Isto deve-se ao facto de a empresa não ter parametrizado os níveis de especialização de cada trabalhador.

Limitações do algoritmo

Embora os algoritmos possam ser ferramentas poderosas para lidar com uma infinidade de desafios complexos, é importante saber que eles têm limites. Compreender estas limitações é fundamental para maximizar a eficiência e a eficácia de um algoritmo, pois permite o desenvolvimento de estratégias para mitigá-las e mesmo melhorar o algoritmo. Estas limitações

estão diretamente ligadas à maneira como ele funciona, aos pressupostos que ele assume e às características do problema que ele pretende resolver.

Ineficiência no uso do tempo

O algoritmo atual atribui tarefas aos funcionários com base na primeira tarefa que eles podem realizar. Isso pode resultar num uso ineficiente do tempo do trabalhador, pois pode haver "muitos espaços em branco" (*Schedule gaps*) no horário do trabalhador que não têm tarefas alocadas. Isso pode resultar em períodos de tempo ineficazes que baixam a produtividade global.

Por exemplo, considere-se uma alocação de tarefas em que cada funcionário tem muitos "espaços em branco" no horário. Idealmente, o tempo em branco seria reduzido para que os funcionários usem seu tempo de forma mais eficaz.

Risco de ausência de uma otimização global

O algoritmo de alocação de tarefas não leva em consideração a situação geral ao tomar decisões com base no estado das tarefas e recursos atuais. Isso pode resultar numa solução que não é globalmente ótima quando todos os trabalhos e recursos são levados em consideração, mas sim uma série de soluções ótimas localmente.

Num exemplo de alocação de tarefas que não é globalmente ótima, a sequência de tarefas seria reorganizada de forma a reduzir o tempo total de produção numa solução global ideal.

Meta-heurística: implementação de swaps

No processo de otimização da atribuição de tarefas aos trabalhadores, ficou evidente que a heurística tradicional pode não captar completamente as complexidades inerentes ao problema de atribuição. Sendo assim, decidiu-se tentar aplicar um método meta-heurístico adequado. Dada a natureza do problema, *Simulated Annealing* destacou-se como a meta-heurística mais eficaz, no entanto, uma aplicação direta da mesma parecia um pouco exagerada. Assim, esta inspirou a criação e implementação de uma nova meta-heurística mais simples e intuitiva. [13]

A essência do *Simulated Annealing* baseia-se em soluções de aceitação probabilística, dependendo de um parâmetro de temperatura e da qualidade da solução. Esta nova meta-heurística simplificada gira em torno de um princípio básico: iterativamente fazer pequenas mudanças (*swaps* na lista de ordens de produção) e avaliar se tal mudança levou a uma melhor solução. A principal métrica de desempenho foi a redução do número de dias de atraso na entrega.

Ao contrário da abordagem tradicional de *Simulated Annealing* que envolve uma temperatura inicial e seu calendário de arrefecimento (“*cooling*”) subsequente, este método foi mais direto. Iniciou-se o algoritmo com uma dada atribuição de tarefas e modificou-se iterativamente esta lista de ordens de produção que, por sua vez, alterou a atribuição de tarefas. Após cada ajuste, avaliamos a nova configuração em relação à anterior. Se a nova atribuição resultou em menos dias de atraso, foi aprovada. Caso contrário, mantém-se a atribuição anterior. Este processo foi repetido pelo sistema durante um período de tempo definido pelo utilizador, para um certo número de iterações sejam executadas.

Esta abordagem considera-se inspirada pelo método do *Simulated Annealing*, uma vez que se mantém a essência do teste e melhoria iterativos, mas deixou-se de lado as complexidades dos horários de temperatura e as aceitações probabilísticas. Ao focar em *swaps* simples e comparações diretas, garantiu-se que este método seja intuitivo e computacionalmente eficiente.

4.2 Apresentação e análise de resultados

Nesta seção, apresentamos os resultados obtidos ao aplicar a solução inicial proposta, considerando diferentes cenários. Os cenários considerados são os seguintes:

4.2.1 Apresentação dos cenários

Cenário 1: Restrição de Força de Trabalho por Linha de Produção

Neste cenário, a força de trabalho é restringida às tarefas de uma determinada linha de produção, basicamente, o que corresponde à situação real da UN AMT em que a força de trabalho está dividida por equipas designadas a uma única linha de produção. Isto significa que cada recurso está limitado a executar apenas as tarefas associadas à sua linha de produção. Pretende-se analisar o desempenho da solução inicial neste contexto real e comparar com os resultados dos restantes cenários.

Cenário 2: Flexibilidade de Alocação de Tarefas

Este cenário caracteriza-se pelo facto de a força de trabalho possuir a capacidade de executar tarefas independentemente da linha de produção. Esta abordagem proporciona mais liberdade e uma alocação mais flexível dos recursos, o que permite otimizar a utilização de cada recurso disponível.

Cenário 3: Divisão de tarefas mais longas entre recursos

Por fim, é considerada uma nova lógica de produção, na qual as tarefas mais longas são divididas entre dois trabalhadores em vez de serem realizadas individualmente como foi pressuposto. Deste modo, pretende-se estudar como evolui a taxa de ocupação da força de trabalho quando comparada com o cenário base.

4.2.2 Análise dos resultados

Cenário 1

Tabela 3 - Dados taxa de ocupação relativamente ao Cenário 1

	Produtividade		
	Mínimo	Média	Máximo
Primária	0%	5%	57%
Secundária Fluofix	0%	20%	52%
Secundária Normafix	5%	38%	80%
Disjuntores	31%	44%	54%

Em primeiro lugar, é evidente a disparidade de taxa de ocupação entre linhas:

Primária: Esta linha tem o maior número de trabalhadores. As percentagens de taxa de ocupação dos trabalhadores nesta linha variam significativamente. Muitos trabalhadores não têm trabalho alocado (0% ocupação). A maior taxa de ocupação aqui é para os operadores de Komax, o que sugere que as tarefas tratadas por esses operadores podem ser mais imediatas ou sensíveis ao tempo do que outras. A disparidade na ocupação dos trabalhadores pode indicar distribuição desigual de tarefas ou restrições que impedem que alguns trabalhadores iniciem ou completem tarefas.

Secundária Fluofix: Esta linha parece ter uma distribuição mais equilibrada do trabalho pelas pessoas. A maioria dos trabalhadores aqui tem uma gama de percentagens de ocupação, mas alguns ainda estão próximos de 0%. Isso pode sugerir que existem tarefas que ainda não foram iniciadas ou que a distribuição das tarefas não é uniforme.

Secundária Normafix: Aqui, o intervalo de taxa de ocupação é maior, com percentagens que variam de 5% a 80%. Dado que há um número maior de trabalhadores com percentagens significativas de ocupação, isso sugere que esta linha teve um primeiro dia mais ocupado.

Disjuntores: Esta linha também tem uma gama equilibrada de ocupação. Há uma mistura de trabalhadores com percentagens de ocupação mais elevadas e mais baixas.

A grande disparidade na taxa de ocupação, especialmente entre os trabalhadores com as mesmas funções, sugere que podem existir inconsistências nas tarefas disponíveis para o dia, nomeadamente diferentes cargas de ordens de produção para diferentes linhas.

Os dados sugerem que os Operadores Komax têm uma ocupação consistentemente alta, o que pode igualmente sugerir a existência de um *bottleneck*, pois as restantes funções estão à espera de que as tarefas relacionadas com Komax estejam concluídas de modo a darem seguimento às ordens de produção.

Cenário 2

Tabela 4 - Dados taxa de ocupação do Cenário 2

	Produtividade		
	Mínimo	Média	Máximo
Primária	0%	4%	50%
Secundária Fluofix	0%	21%	59%
Secundária Normafix	11%	42%	73%
Disjuntores	16%	48%	96%

Em primeiro lugar, é perceptível que esta abordagem sem restrições de linhas de produção permite uma variação da taxa de ocupação geral, de 0% para um máximo de 96%. Esta é uma ampla gama, sugerindo que, enquanto alguns trabalhadores estavam totalmente envolvidos, outros estavam completamente parados. De realçar, uma melhor distribuição de trabalhadores numa faixa de média ocupação (entre os 10% e 50%). Esta dispersão é benéfica, uma vez que sugere que muitos trabalhadores estavam envolvidos em tarefas, mas não excessivamente sobrecarregados.

Os dados sugerem que os operadores Komax têm uma ocupação consistentemente alta, o que pode igualmente sugerir a existência de um *bottleneck*, pois as restantes funções estão à

espera de que as tarefas relacionadas com Komax estejam concluídas de modo a darem seguimento às ordens de produção.

Quando comparado com o cenário base, o cenário 2 mostra um aumento notável no número de trabalhadores sem nenhuma tarefa (0% de ocupação). Isso pode indicar ineficiências na alocação de recursos sem restrições de linha, ou também pode ser que certas funções são menos essenciais sem tarefas baseadas em linha. Por outro lado, ter trabalhadores com uma taxa de ocupação extremamente alta, especialmente perto ou de 100%, pode ser preocupante durante longos períodos de tempo. Isso pode indicar que estão sobrecarregados, o que pode levar a uma redução da qualidade do trabalho e a um potencial esgotamento.

Em conclusão, o cenário 2 oferece vantagens e possíveis desvantagens. Enquanto alguns trabalhadores beneficiam claramente do aumento da flexibilidade, outros parecem ser deixados de lado ou subutilizados. Seria essencial equilibrar os benefícios da flexibilidade com as potenciais ineficiências e riscos para o bem-estar dos trabalhadores.

A maior taxa de ocupação aqui é para os operadores de Komax, o que sugere que as tarefas tratadas por esses operadores podem ser mais imediatas ou sensíveis ao tempo do que outras. A disparidade na ocupação pode indicar distribuição desigual de tarefas ou restrições que impedem que alguns trabalhadores iniciem ou completem tarefas.

Cenário 3

Tabela 5 - Dados taxa de ocupação do Cenário 3

	Produtividade		
	Mínimo	Média	Máximo
Primária	0%	5%	57%
Secundária Fluofix	0%	23%	52%
Secundária Normafix	5%	36%	80%
Disjuntores	31%	44%	54%

Dado o facto de existirem algumas tarefas com duração bastante elevada, foi introduzida a possibilidade de tarefas com duração superior a 4h poderem ser divididas por 2 trabalhadores, dando origem a este cujo impacto nas linhas foi:

Primária: Esta linha continua a mostrar uma predominância de baixas taxas de ocupação em ambos os cenários. No entanto, há um ligeiro aumento na ocupação entre certos papéis no terceiro cenário em comparação com o cenário de base.

Secundária Fluofix & Secundária Normafix: No terceiro cenário, há uma mudança mais perceptível em direção ao aumento da ocupação para essas linhas. A estratégia de divisão de tarefas parece ter um impacto mais positivo nestas linhas.

Disjuntores: A linha dos disjuntores também demonstra ocupação variada em ambos os cenários, mas a distribuição parece um pouco mais equilibrada no terceiro cenário, com alguns papéis a refletir um aumento da atividade.

Concluindo, a estratégia de divisão de tarefas entre os trabalhadores no terceiro cenário tem um impacto variado em diferentes funções e linhas de produção. Enquanto algumas funções, especialmente dentro das linhas Secundária Fluofix & Secundária Normafix, beneficiam mais evidentemente desta abordagem, outras, particularmente na linha Primária, permanecem menos afetadas.

4.3 Sistema de apoio à decisão para o método de alocação de recursos

Com este sistema, é possível inserir uma qualquer lista de tarefas, que se pretendam realizar naquele dia, extraídas do *software* SwitchIT conforme descrito na secção 3.3. O *output* estará contido num Excel no qual é possível visualizar pormenorizadamente a distribuição de tarefas para cada equipa conforme se pode ver um exemplo na figura 15 abaixo. Além disso, o código Python do sistema gera um gráfico de *Gantt* que permite visualizar a distribuição das tarefas tanto da perspetiva da Linha de Produção, como de cada trabalhador (abaixo na figura 16 é possível consultar um exemplo de visualização de perspetiva da Linha de Produção).

Por fim, o sistema também gera duas *sheets* adicionais no ficheiro Microsoft Excel: uma para visualizar a data de entrega planeada das ordens de produção e cálculo do número de dias de atraso quando comparado com a data de entrega planeada; e outra que calcula a quantidade de horas que cada trabalhador executa e respetiva taxa de ocupação. Com base nestes *outputs* do sistema, o utilizador deve apoiar-se neles para tomar a sua decisão. É possível ver nas figuras 15 e 16 abaixo, exemplos que irão servir de apoio à decisão para o utilizador.

Order Id	Order Item	Serial Number	Task Id	Worker	Job	Start	End	Duration (h:m)
3340	32809195-01	S181763191				2023-07-28 9:00:00	2023-07-28 9:04:19	0:04
3340	32809195-01	S181763191	26970	Fábio Cunha	3065	2023-07-28 9:00:00	2023-07-28 9:00:31	0:00
3340	32809195-01	S181763191	26971	Márcio Pinto	3082	2023-07-28 9:00:31	2023-07-28 9:04:19	0:03
3341	32809195-01	S181763192				2023-07-28 9:00:31	2023-07-28 9:04:50	0:04
3341	32809195-01	S181763192	26972	Fábio Cunha	3065	2023-07-28 9:00:31	2023-07-28 9:01:02	0:00
3341	32809195-01	S181763192	26973	Fábio Cunha	3082	2023-07-28 9:01:02	2023-07-28 9:04:50	0:03
3342	32809195-01	S181763193				2023-07-28 9:04:19	2023-07-28 9:08:38	0:04
3342	32809195-01	S181763193	26974	Márcio Pinto	3065	2023-07-28 9:04:19	2023-07-28 9:04:50	0:00
3342	32809195-01	S181763193	26975	Fábio Cunha	3082	2023-07-28 9:04:50	2023-07-28 9:08:38	0:03
3361	32811168-01	SN@K18089073				2023-07-28 9:04:50	2023-07-28 10:16:14	1:11
3361	32811168-01	SN@K18089073	27096	Márcio Pinto	3065	2023-07-28 9:04:50	2023-07-28 9:12:02	0:07
3361	32811168-01	SN@K18089073	27097	Fábio Cunha	3082	2023-07-28 9:12:02	2023-07-28 10:16:14	1:04

Figura 15 - Exemplo de visualização da alocação planeada

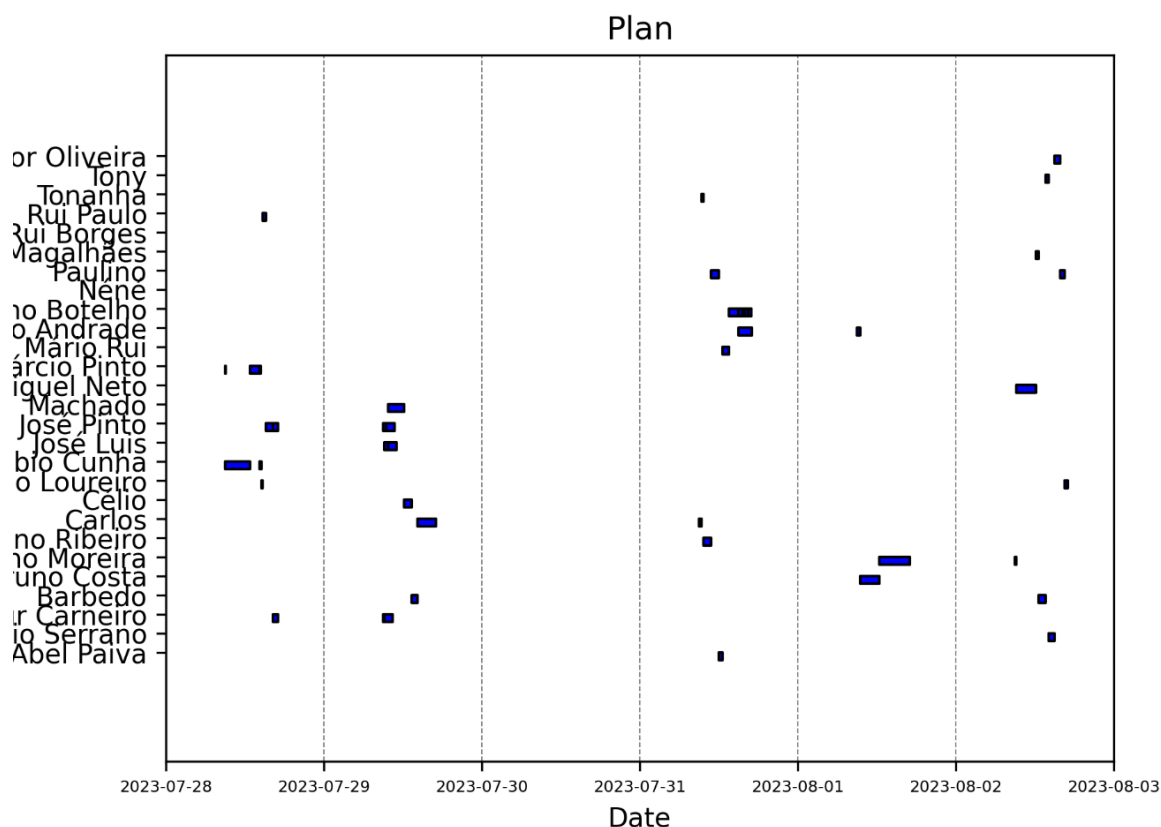


Figura 16 - Exemplo de Gráfico de *Gantt* para visualização das tarefas alocadas para uma dada linha

4.4 Ferramenta de monitorização da produção

O atual sistema tem provado ser fundamental no funcionamento diário da fábrica, oferecendo instruções de trabalho e rastreabilidade em tempo real do processo. No entanto, com a crescente complexidade e exigências do ambiente industrial, surge a necessidade de uma solução mais abrangente e integrada. O desenvolvimento de um novo website pode colmatar várias lacunas existentes. Em primeiro lugar, pode proporcionar uma interface mais intuitiva e amigável ao utilizador, otimizando o acesso à informação e reduzindo o tempo de formação para novos funcionários. Em segundo lugar, ao incorporar análises avançadas e recursos de inteligência artificial, o *website* pode antecipar possíveis gargalos de produção, oferecer insights sobre eficiências operacionais e facilitar uma tomada de decisão mais informada por parte das chefias. Por fim, a expansão para uma plataforma baseada na web garante uma maior interoperabilidade entre diferentes fábricas, permitindo que as melhores práticas sejam compartilhadas e implementadas de forma mais fluída. Esta evolução não apenas complementaria as capacidades do sistema existente, mas também situaria a organização na vanguarda da inovação industrial.

Assim sendo, com o avanço tecnológico, a crescente complexidade das operações e a necessidade de respostas rápidas às mudanças, fez com que surgisse a necessidade de uma ferramenta mais robusta e dinâmica dado que a capacidade de monitorizar, gerir e otimizar os processos de produção em tempo real é crucial para o sucesso de qualquer organização.

Desenvolver um *website* funcional e interativo é uma tarefa complexa que exige um profundo conhecimento em diversas linguagens e ferramentas tecnológicas. Este projeto foi motivado pela necessidade de otimização de um arquivo de alocação de recursos.

Com o trabalho inicial feito em Excel e, embora o Excel seja uma ferramenta poderosa, identificaram-se rapidamente vários desafios. A atualização regular dos conteúdos tornou-se morosa e, frequentemente, sujeita a erros humanos. Além disso, os códigos em VBA, apesar de eficientes, exigiam uma redução das opções de segurança do Excel, o que levantava preocupações sobre a integridade e segurança dos dados.

Para superar essas dificuldades, optou-se pela criação de um *website* dinâmico, armazenando informações numa base de dados MySQL.

O *website* foi construído usando tecnologias modernas, incluindo HTML (estruturação do código), CSS (formatação gráfica), Javascript (dinamismo para a gestão e apresentação da informação), PHP (linguagem de programação) e MySQL (base de dados). O *website* foi estruturado usando HTML, enquanto a formatação gráfica foi estabelecida pelo CSS. O Javascript proporcionou dinamismo, especialmente na apresentação e gestão da informação. Por sua vez, o PHP, uma linguagem de programação conhecida por sua versatilidade na construção de páginas web, foi usado para conectar a interface do utilizador à base de dados MySQL. Esta combinação permitiu a criação de uma interface *user-friendly* e uma *back-end* robusta e escalável.

O *website* foi projetado para proporcionar diversas funcionalidades, entre as quais:

- Importação de dados, facilitando a migração e atualização de dados, o mesmo suporta a importação direta de arquivos CSV ou XLSX.
- Listagem das Ordens de Produção e sistema de filtragem por *Status*, os utilizadores têm a capacidade de listar ordens de produção, filtrá-las por *status* e monitorizar cargas de trabalho individuais
- Possibilidade de eliminação de Registos
- Listagem de Operadores, permite a listagem, edição e atribuição de operadores a grupos específicos
- Listagem de Tarefas e Grupos de Operadores
- Atribuição Manual/Automática de Ordens de Produção a um operador
- Gráfico de atribuição de tarefas (formato *Gantt*), através de gráficos de *Gantt* e outros elementos visuais, os utilizadores podem facilmente interpretar a distribuição de tarefas, alocar recursos e visualizar atrasos de produção
- Cálculo de atrasos entre a data prevista de entrega e a data real do fim da produção
- Indicação do KPI de número médio de dias de atraso por ordem de produção
- Cargas de trabalho por trabalhador
- *Dashboard* informativo com os dados mais relevantes do processo de fabrico, este painel oferecerá uma visão concisa dos principais indicadores e métricas do processo de produção
- Sistema de *Logon/Logout* com pelo menos dois níveis de acesso: administrador – com poderes de inserção, edição e eliminação de dados; utilizador – com apenas permissão de visualização de dados, gráficos e indicadores.

Entretanto, o desenvolvimento do *website* mostrou-se uma tarefa árdua e técnica. Como muitos projetos de desenvolvimento, este *website* enfrentou alguns contratemplos. A transição

de uma ferramenta baseada em Excel para uma solução *web* apresentou múltiplos desafios. A faseada abordagem frequentemente exigiu retrocessos e ajustes, especialmente no que diz respeito à codificação e à estrutura da base de dados. Um dos maiores desafios tem sido a página de "Ordens de Produção" e o processo de atribuição de tarefas. As complexidades envolvendo a seleção e alocação de operadores para tarefas específicas consumiram muito tempo e exigiram reestruturações significativas na base de dados, colocando em causa a garantia da precisão e integridade dos dados importados.

A página de ordens de produção, exigiu uma codificação cuidadosa para alocar operadores a tarefas específicas de produção. As tarefas a serem alocadas eram determinadas por vários critérios, incluindo a disponibilidade de operadores e a necessidade de produção.

Um exemplo dessa complexidade é a *query* SQL, cujo resultado está ilustrado na Figura 17, em que o objetivo é listar os valores para a atribuição de operadores. As relações entre as diversas tabelas da base de dados, como mostrado no Anexo G, indicam a interdependência dos dados e a necessidade de uma correspondência correta para que o sistema funcione de forma otimizada.

Importação Ordens | Ordens | Atribuição de Tarefas | Operadores | Tarefas |

Ordens de Produção

ID Tarefa	ID Ordem	Ordem execução	Duração da Tarefa (seg)	Código do Tipo Tarefa	Descrição	Data Conclusão Prevista	Atribuição
26980	3345	10	195	3065	Komax	2023-04-03 06:09:00.000	
26978	3344	10	195	3065	Komax	2023-04-03 06:09:00.000	
26976	3343	10	195	3065	Komax	2023-04-03 06:09:00.000	
26983	3346	20	180	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:09:00.000	
26981	3345	20	180	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:09:00.000	
26979	3344	20	180	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:09:00.000	
26977	3343	20	180	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:09:00.000	
26982	3346	10	195	3065	Komax	2023-04-03 06:09:00.000	
26963	3336	210	432	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:12:39.000	
26964	3337	10	31	3065	Komax	2023-04-03 06:12:48.000	
26971	3340	20	228	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:12:48.000	
26969	3339	20	228	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:12:48.000	
26967	3338	20	228	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:12:48.000	
26974	3342	10	31	3065	Komax	2023-04-03 06:12:48.000	
26965	3337	20	228	3082	Montagem Cablagem	2023-04-03 06:12:48.000	
26972	3341	10	31	3065	Komax	2023-04-03 06:12:48.000	

Figura 17 - Listagem de Ordens de Produção e atribuição (manual e/ou automática) a um operador

Ainda assim, progressos notáveis foram feitos, como a implementação de um sistema de importação de dados e a construção de múltiplas páginas de gestão e visualização. Também foi dada especial atenção à segurança, com a implementação de um sistema de *login/logout* e a encriptação das passwords na base de dados.

```

Select
    tarefas.ttano,
    tarefas.descricao,
    funcoes.funcao,
    operadores.operador,
    operadores.idoperador,
    funcoes.idfuncao,
    linhas.linha,
    relacaolinhas.tidpline
From
    tarefas Inner Join
    relacaooperadores On relacaooperadores.idfuncao = tarefas.idfuncao Inner Join
    operadores On relacaooperadores.idoperador = operadores.idoperador Inner Join
    funcoes On relacaooperadores.idfuncao = funcoes.idfuncao Inner Join
    linhas On relacaooperadores.idlinha = linhas.idlinha Inner Join
    relacaolinhas On linhas.idlinha = relacaolinhas.idlinha
Where
    tarefas.ttano = '1' And
    relacaolinhas.tidpline = '2'
Order By
    operadores.operador

```

Figura 18 - Código SQL para a seleção de Operadores para as Ordens de Produção

Depois de implementado o código da Figura 18 passou a ser possível filtrar os Operadores disponíveis para cada tarefa e o início do próximo passo: atribuição de Operadores a Tarefas. Esta atribuição para já é feita de modo manual, mas irá permitir ao supervisor da linha monitorizar quem está a executar as tarefas, como se pode ver na Figura 19.

28728	3577	60	2520	1824TE	Posto 4 - Trás Eletrificação	2023-05-29 12:02:00.000	Primária	[6] ▼
28725	3577	30	2520	1822TM	Posto 2 - Trás Montagem	2023-05-29 12:02:00.000	Primária	[17] ▼
28722	3577	150	180	3042	Montar Normacel	2023-05-29 12:02:00.000	Primária	▼
29302	3669	20	180	3082	Montagem Cablagem	2023-05-30 06:21:59.000	Primária	Abel Paiva António Serrano Artur Carneiro Bruno Moreira Bruno Ribeiro Carlos
29301	3669	10	289	3065	Komax	2023-05-30 06:21:59.000	Primária	Célio Fernando Loureiro José Luis José Pinto Machado Nuno Andrade Pedro Magalhães Rui Paulo Tonanha Tony Vitor Oliveira
29329	3677	110	360	3065	Komax	2023-05-31 08:43:28.000	Primária	[4] ▼
29330	3677	210	2052	3082	Montagem Cablagem	2023-05-31 08:43:28.000	Primária	[0] ▼
29238	3662	210	1440	3033	Montar Divac	2023-06-01 06:24:00.000	Divac	
29239	3663	110	4320	3033	Montar Divac	2023-06-01 07:11:50.000	Divac	
31791	3904	110	972	3033	Montar Divac	2023-06-29 06:01:00.000	Divac	
31792	3904	210	72	3060	Embalar E Expedir	2023-06-29 06:01:00.000	Divac	

Figura 19 - Atribuição manual de Operadores

No entanto, alguns aspetos ainda estão pendentes ou em desenvolvimento. Por exemplo, a página principal que exibirá o *dashboard* informativo ainda não foi iniciada, devido a dependências com outros componentes do sistema. A atribuição automática de operadores às ordens de produção também se mantém um desafio, principalmente devido a problemas com a exportação de dados do software de gestão e a necessidade de conversão de formatos de data e

hora aliado à execução do algoritmo de alocação. No entanto, já existe ideias de possíveis gráficos a colocar na interface do *dashboard* como por exemplo o da figura 20.

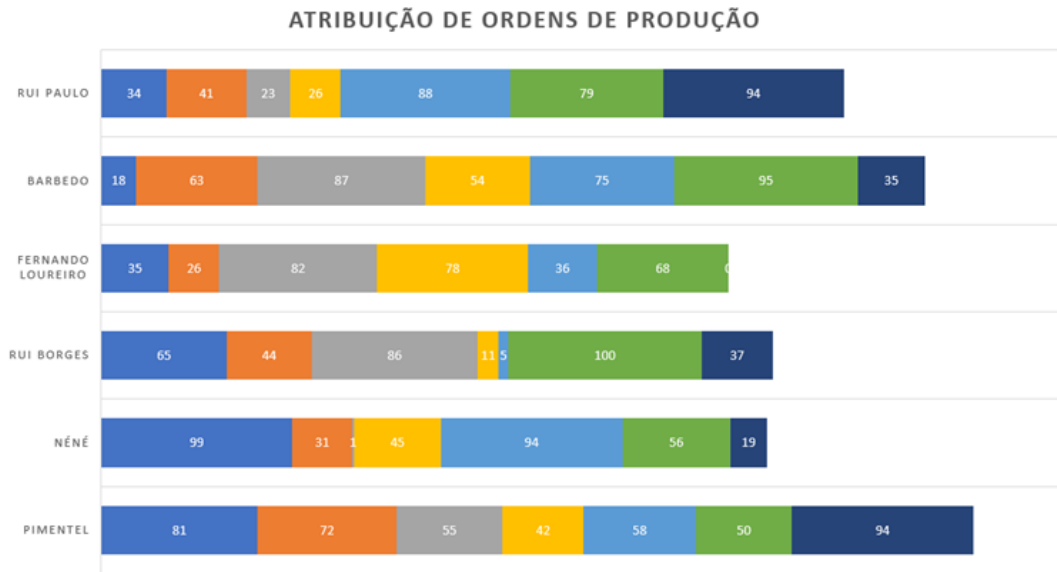


Figura 20 - Trabalho diário desenvolvido por cada Trabalhador

Em termos de perspetivas futuras, o *website*, embora ainda em desenvolvimento, tem o potencial de revolucionar a gestão e monitorização da produção. Uma vez totalmente operacional, permitirá aos utilizadores uma gestão de recursos mais eficiente, transparente e interativa. A implementação de um sistema de *logon/logout*, prevista para uma fase posterior, irá fortalecer ainda mais a segurança e integridade dos dados. Com contínuos refinamentos e otimizações, espera-se que este sistema se torne uma referência na área de alocação e gestão de recursos. Ao ultrapassar os desafios encontrados, a plataforma terá uma robustez técnica e funcional, sendo uma valiosa adição a qualquer sistema de produção.

Em conclusão, este projeto exemplifica a intersecção entre tecnologia e gestão, ilustrando como as soluções digitais podem potenciar a eficiência e a eficácia nos processos de produção. Ainda que os desafios tenham sido numerosos, as potenciais recompensas – em termos de otimização do tempo, precisão de dados e melhorias na tomada de decisão – são inquestionáveis.

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

O esforço para otimizar a alocação de recursos e melhorar a produtividade no sistema de produção da Efacec AMT tem sido um percurso abrangente, realçando múltiplas características dos ambientes de produção modernos. Aqui, é feito um resumo das principais conclusões e *insights* recolhidos, bem como são sugeridas possíveis abordagens de trabalhos futuros.

Em primeiro lugar, a análise de vários cenários de produção forneceu informações valiosas sobre a dinâmica da alocação de recursos. Quer se trate do cenário de base ou da exploração da eliminação das restrições de linha, estas avaliações esclareceram quais os inúmeros fatores que podem influenciar a taxa de ocupação dos trabalhadores e salientaram a essência da alocação estratégica de recursos. O cenário que enfatiza a colaboração, onde as tarefas de mais de 4 horas foram divididas, mostrou potenciais ganhos de eficiência resultantes de esforços coletivos.

Este projeto também teve particular importância no entendimento do papel das Heurísticas e Meta-Heurísticas. A mudança conceitual para a meta-heurística, inspirada na técnica *Simulated Annealing*, introduziu uma nova perspectiva sobre a resolução de problemas. O refinamento iterativo, inerente a esses métodos, significa o potencial em esgotar as soluções ótimas ou quase-ótimas. Estes algoritmos, em sua adaptabilidade, apontam para uma meta promissora para a otimização da produção, particularmente face às necessidades e restrições flutuantes.

De seguida, o desenvolvimento de uma ferramenta de monitorização baseada na *Web*, abrangendo a era digital, no qual é feita a transição de metodologias tradicionais baseadas no Excel para uma plataforma de visualização dinâmica baseada na *web*, sendo um testemunho da adaptabilidade necessária em ambientes de produção modernos. Enquanto o Excel apresentou desafios de escalabilidade e segurança, a solução *web* personalizada, com a sua gama de funcionalidades - desde a importação de dados, filtragem e gestão de tarefas até representações gráficas e sistemas de acesso seguro – proporciona à Efacec AMT uma ferramenta robusta para enfrentar os problemas da produção contemporânea.

Por fim, deve ser tido em consideração o contexto histórico da Efacec. Ao longo da realização deste projeto, a sua realidade foi contextualizada com os desafios passados na Efacec AMT, sublinhando a urgência de otimização de processos e alocação eficaz de recursos. Ao interligar a análise com o histórico da empresa, este esforço ajuda a conceber soluções adaptadas para o AMT da Efacec, enquanto oferece *insights* que poderiam ser generalizados para configurações de produção semelhantes em outros lugares.

Perspetivas de trabalho futuro:

Face às diversas limitações vividas pelo contexto vivido na Efacec AMT durante a realização deste projeto, ficam evidentes diversas oportunidades de melhoria. Em primeiro lugar, será importante efetuar uma análise mais profunda da dinâmica Trabalhador-Tarefa, visto que existe a oportunidade para aprofundar ainda mais a interação entre os conjuntos de habilidades dos trabalhadores, as complexidades das tarefas e as restrições globais do sistema. Tais estudos podem permitir a elaboração de mapas de responsabilidade mais complexos existindo níveis de competência para execução das tarefas, com efeito na eficácia com que os trabalhadores executam a tarefa, por exemplo.

Possibilidade de desenvolvimento da heurística de base para a alocação de recursos, de modo a combater as suas limitações, nomeadamente a existência de espaços em branco no horário dos trabalhadores.

A integração de inteligência artificial e ferramentas de *machine learning* poderia oferecer capacidades de modelagem preditiva. Isso faria com que o sistema passasse de ser meramente reativo para ser proativo, antecipando desafios e preparando soluções antecipadamente.

A existência de mecanismos de *feedback* nos quais trabalhadores, supervisores e outras partes interessadas fornecem regularmente *insights* e *feedback* sobre o processo de produção pode ser o próximo passo. Tais dados de nível de base poderiam ser instrumentais para refinamentos e melhorias de nível micro.

A possibilidade de expansão e escalabilidade da ferramenta de monitorização como foi explicado na secção 4.4 além da adição de novas funcionalidades. O *Website*, embora robusto, pode beneficiar de funcionalidades adicionais, especialmente integrando técnicas de otimização mais avançadas e alcançando dados em tempo real do chão de fábrica para uma visão holística das operações.

Em suma, o percurso seguido neste projeto sublinha a natureza interligada dos sistemas de produção modernos, as ferramentas digitais que os suportam e as metodologias estratégicas que impulsionam as decisões. A combinação de análise em profundidade, avanços tecnológicos e abordagens heurísticas abre um caminho abrangente para o AMT da Efacec e, por extensão, o campo mais amplo da otimização da produção.

Referências

- [1] Jacobs, F. Robert, Chase, Richard B. and Aquilano, Nicholas J. 2009. Operations & Supply Management. New York : McGraw-Hill/Irwin, 2009
- [2] J. H. Heizer and B. Render, Operations Management. Prentice Hall, 1999.
- [3] S. Nahmias and T. L. Olsen, Production and Operations Analysis: Seventh Edition. Waveland Press, 2015.
- [4] H. A. Taha, Operations Research: An Introduction. Pearson Education, 2013.
- [5] Sauter, V. L. (2010). Decision Support Systems for Business Intelligence
- [6] C. Dillenberger, L. F. Escudero, A. Wollensak, and W. Zhang, "On practical resource allocation for production planning and scheduling with period overlapping setups," European Journal of Operational Research, vol. 75, no. 2, pp. 275-286, 1994/06/09/ 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90074-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90074-4).
- [7] Artur Wollensak, Christof Dillenberger & Hansjörg Fromm (1992) A Decision Support System for Production Planning and Scheduling Problems, Journal of Decision Systems, 1:2-3, 261-272, DOI: 10.1080/12460125.1992.10511528
- [8] G. Figueira, P. Amorim, L. Guimarães, M. Amorim-Lopes, F. Neves-Moreira, and B. Almada-Lobo, "A decision support system for the operational production planning and scheduling of an integrated pulp and paper mill," Computers & Chemical Engineering, vol. 77, pp. 85-104, 2015/06/09/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.03.017>.
- [9] Silva, Sérgio. 2011. Melhoria do “On Time Delivery” na Efacec AMT , FEUP, Porto.
- [10] W. K. Wai et al., "Decision Support System for Production Scheduling (DSSPS)," Procedia Computer Science, vol. 96, pp. 315-323, 2016/01/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.144>.
- [11] A. Sioud, C. Gagné, and M. Gravel, "Metaheuristics for Solving a Hybrid Flexible Flowshop Problem with Sequence-Dependent Setup Times," in Swarm Intelligence Based Optimization, Cham, P. Siarry, L. Idoumghar, and J. Lepagnot, Eds., 2014// 2014: Springer International Publishing, pp. 9-25.
- [12] H.-J. Jiang, K.-C. Huang, H.-Y. Chang, D.-S. Gu, and P.-J. Shih, "Scheduling Concurrent Workflows in HPC Cloud through Exploiting Schedule Gaps," in Algorithms and Architectures for Parallel Processing, Berlin, Heidelberg, Y. Xiang, A. Cuzzocrea, M. Hobbs, and W. Zhou, Eds., 2011// 2011: Springer Berlin Heidelberg, pp. 282-293.
- [13] Bouleimen, K., Lecocq, H., 2000. Multi-objective simulated annealing for the resourceconstrained multi-project scheduling problem. In: Proceedings of the 7th International Workshop on Project Management and Scheduling (PMS 2000), Osnabrück, Germany
- [14] A.-H. Zhou et al., "Traveling-Salesman-Problem Algorithm Based on Simulated Annealing and Gene-Expression Programming," Information, vol. 10, p. 7, 12/25 2018, doi: 10.3390/info10010007.
- [15] Kerzner, Harold. 2009. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling - 10th Edition. Jon Wiley & Sons, Inc

Anexos

Anexo A - Sistema de importação de dados para a Base de Dados

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost/joao/index.php?p=importar'. The page title is 'Ordens de Produção'. The breadcrumb navigation is 'Importação Ordens | Ordens | Atribuição de Tarefas | Operadores | Tarefas |'. The main heading is 'Importação de Ordens de Produção'. Below it, there is a prompt 'Selecione o arquivo CSV' and a file selection interface with a button 'Escolher ficheiro', the text 'Nenhum ficheiro selecionado', and an 'Importar' button. At the bottom, a blue banner displays the user 'João Filipe@2023'.

Anexo B - Caso seja necessário apagar um registo errado é mostrada ao utilizador uma mensagem informativa

The screenshot shows the 'Ordens de Produção' page. The breadcrumb navigation is 'Importação Ordens | Ordens | Atribuição de Tarefas | Operadores | Tarefas |'. The main heading is 'Ordens de Produção'. On the right, there is a filter section 'Filtragem dos resultados da Base de Dados' with radio buttons for 'I', 'P', 'W', and 'Todos' (selected). Below this, a green banner displays the message 'O registo foi apagado com sucesso.'.

Apagar	ID Tarefa	ID Ordem	Ordem execução	Duração da Tarefa	Data Conclusão Prevista	Status
✗	11659	1368	50	432	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11648	1368	60	222	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11663	1368	70	733	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11658	1368	80	135	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11666	1368	100	347	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11651	1368	110	627	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11675	1368	130	0	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11652	1368	140	2095	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11650	1368	150	990	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11669	1368	160	1	2023-09-04 06:01:00.000	I
✗	11640	1368	170	215	2023-09-04 06:01:00.000	I

Anexo C – Tarefas e respetivos grupos

[Importação Ordens](#) | [Ordens](#) | [Atribuição de Tarefas](#) | [Operadores](#) | [Tarefas](#) |

Tarefas

Código	Descrição	Grupo
1000	Projeto	
1001	Expedição	LOG
1002	Serviços de Pós-Venda	
1003	Inspecção e Ensaíos	
182000	Posto 0 - Desembalar e Desmontar	WHL
182005	Movimentar	LOG
182100	Posto 10 - Embalamento e Expedição	LOG
1821FE	Posto 1 - Frente Eletrificação	ELP
1821FM	Posto 1 - Frente Montagem	MOP
1821TE	Posto 1 - Trás Eletrificação	ELP
1821TM	Posto 1 - Trás Montagem	MOP
1822FE	Posto 2 - Frente Eletrificação	ELP
1822FM	Posto 2 - Frente Montagem	MOP
1822TE	Posto 2 - Trás Eletrificação	ELP
1822TM	Posto 2 - Trás Montagem	MOP

Anexo D – Login

E-mail

Password

Enviar

João Filipe@2023

Anexo E - Gestão de Operadores: introdução de novos, edição e eliminação de registos

[Início](#) | [Importação Ordens](#) | [Ordens](#) | [Atribuição de Tarefas](#) | [Tarefas](#) | [Operadores](#) | [Funções](#) | [Atribuição de Funções](#)

Operadores

Nome do operador

Inserir

Listagem de Operadores

Apagar	Editar	Código	Operador
✕		1	Abel Paiva
✕		2	Alfredo Soares

Anexo F – Atribuição de funções aos operadores

Início | Importação Ordens | Ordens | Atribuição de Tarefas | Tarefas | Operadores | Funções | Atribuição de Funções

Abel Paiva

▼

Chefe de Equipa

Chefe de Equipa

Eletricista

Operador Komax

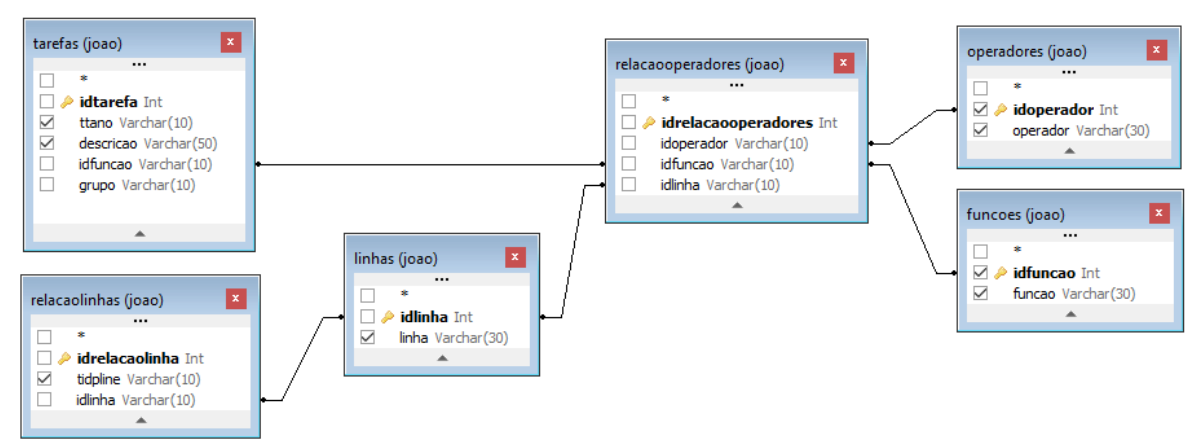
Serralheiro

Atribuir

Listagem de Operadores e suas Funções

Operador	Função	Linha
Abel Paiva	Serralheiro	Primária
Alfredo Soares	Serralheiro	Secundária Normalfix

Anexo G – Relação entre as tabelas essenciais a construção da página Ordens de Produção



Anexo H – Outro exemplo de gráfico a poder ser incluído no Dashboard. Neste caso, visualização da taxa de ocupação de 2 operadores diferentes

