



# **ANÁLISE E MELHORIA DE UM SOFTWARE DE GESTÃO ERP CONSIDERANDO A COEXISTÊNCIA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS COMPETITIVAS EM PARALELO**

**DIOGO JOSÉ DA COSTA ALMEIDA**  
outubro de 2020

# ANÁLISE E MELHORIA DE UM SOFTWARE DE GESTÃO ERP CONSIDERANDO A COEXISTÊNCIA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS COMPETITIVAS EM PARALELO

Diogo José Da Costa Almeida

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

# ANÁLISE E MELHORIA DE UM SOFTWARE DE GESTÃO ERP CONSIDERANDO A COEXISTÊNCIA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS COMPETITIVAS EM PARALELO

Diogo José Da Costa Almeida

Estudante n.º 1160341

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Luis Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira.

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

## **AGRADECIMENTOS**

Deixo aqui um agradecimento à SEGIN por me ter possibilitado realizar esta dissertação na empresa e acima de tudo pela visão e conduta que demonstraram ao apostarem de forma séria, rigorosa e profissional neste projeto. Em particular, agradecer ao Eng. João Miguel Sousa por me ter proposto o desafio inicial de criar um escalonador de produção para o SEGIN.

Agradecer também ao meu orientador, o Professor Doutor Luis Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, docente no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pela sua orientação criteriosa, exigente e, acima de tudo, pela disponibilidade total que demonstrou desde início. Identifico-me totalmente com a sua forma de orientação.

Uma palavra ainda para o Professor Doutor Manuel Pereira Lopes, docente também ele do ISEP, pelo apoio prestado em termos de abordagem ao escalonamento da produção. Sendo uma área tão complexa e específica, tenho de destacar o profundo conhecimento técnico nesta temática que me transmitiu.

página propositadamente em branco

## RESUMO

A gestão estratégica, sendo a área responsável pela tomada de decisões com maior impacto para a sustentabilidade de qualquer organização, deve ser absoluta prioridade para os gestores, que devem procurar exercer as melhores práticas com vista à tomada de decisões estratégicas que conduzam ao sucesso das organizações que lideram.

Neste trabalho, é apresentada uma visão diferenciadora acerca da temática da gestão estratégica ao considerar-se que a coexistência de múltiplas estratégias distintas com vista à obtenção de vantagem competitiva não só pode ser uma realidade, como pode, inclusive, resultar em melhores resultados quando comparada com a visão clássica que defende a utilização de uma única estratégia competitiva transversal a toda a organização. Decorrente desta visão, e tendo por base uma empresa de software de gestão ERP, são apresentadas várias soluções para incorporar no ERP SEGIN direcionadas para vertentes estratégicas distintas.

De realçar a solução desenvolvida para o problema de escalonamento de produção que permitiu uma redução combinada de 13% no número de atrasos nas entregas a clientes, no tempo total de fluxo e no tempo de não utilização de máquinas, bem como para a solução de tratamento de não conformidades que originou à SEGIN, até ao momento, receitas de 3175,5€, sendo que, futuramente, este valor pode aumentar significativamente. Os resultados obtidos validam a coexistência de estratégias competitivas como forma de alcançar o sucesso de uma organização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão estratégica, Estratégias competitivas, ERP, Escalonamento da produção

página propositadamente em branco

## ABSTRACT

Strategic management, being the area responsible for making decisions with the biggest impact on the sustainability of any organization, must be an absolute priority for managers who must seek to exercise best practices in order to make strategic decisions that lead to the success of organizations that they lead.

In this work, a differentiated vision is presented on the theme of strategic management when considering that the coexistence of multiple distinct strategies to obtaining competitive advantage can not only be a reality, but can even result in better results when compared with the classic view that defends the use of a single competitive strategy across the entire organization. As a result of this vision, and based on an ERP management software company, several solutions are presented to be incorporated in ERP SEGIN directed to different strategic aspects.

It is worth highlighting the solution developed for the production scheduling problem that allowed a combined reduction of 13% in the number of delays in deliveries to customers, in the total flow time and in the time of not using machines, as well as the solution for the treatment of non- that led to SEGIN, until now, revenues of € 3175.5, and in the future, this value may increase significantly. The results obtained validate the coexistence of competitive strategies as a way to achieve the success of an organization.

**KEYWORDS:** Strategic management, Competitive strategies, ERP, Production scheduling

página propositadamente em branco

## ÍNDICE

RESUMO .....	I
ABSTRACT .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABELAS .....	XIII
LISTA DE SIGLAS.....	XV
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento e pertinência .....	1
1.2. Questão e objetivos de investigação.....	2
1.3. Opções metodológicas .....	3
1.4. Apresentação da empresa.....	3
1.5. Estrutura do trabalho .....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	5
2.1. Levantamento de estudos científicos relacionados com a problemática do escalonamento da produção .....	5
2.2. Conceitos e objetivos do escalonamento da produção .....	9
2.3. Enquadramento histórico.....	10
2.4. Enquadramento na função gestão da produção.....	11
2.5. O problema do escalonamento da produção e a sua complexidade.....	11
2.6. Definições, variáveis e notação .....	13
2.7. Avaliação de Desempenho .....	13
2.8. Regras Heurísticas Simples.....	14
2.9. Escalonamento Determinístico e Escalonamento Estocástico.....	14
2.10. Escalonamento Estático e Dinâmico .....	15
2.11. Escalonamento na implantação industrial Máquina Única .....	15
2.12. Técnicas de Resolução .....	16
2.12.1. Técnicas Exatas.....	16
2.12.2. Técnicas Aproximadas .....	17
2.12.3. Meta Heurística algoritmo genético.....	18
2.12.4. Meta-Heurística Discrete Artificial Bee Colony (DABC).....	19
2.12.5. Meta-Heurística Simulated Annealing (SA) .....	20
2.12.6. Meta-Heurística Tabu Search .....	21
3. ANÁLISE E MELHORIA DO ERP Segin ENQUADRADA NUMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA DIFERENCIADORA.....	23
3.1. Visão do autor acerca da temática da gestão estratégica e aplicação ao caso da Segin... 23	23
3.2. Identificação de problemas e oportunidades de melhoria .....	32
3.2.1. Inexistência de processos para o escalonamento da produção .....	32
3.2.2. Gestão da Qualidade sem tratamento de informação de NCs .....	33

3.2.3. Planeamento e gestão da manutenção limitado .....	34
3.3. Propostas de resolução e de melhoria dos processos .....	36
3.3.1. Escalonador de Produção.....	36
3.3.1.1. Seleção de ordens de fabrico que serão alvo de escalonamento.....	37
3.3.1.2. Cálculo do escalonamento com recurso a regras de despacho .....	37
3.3.1.3. Ajuste resultado consoante parâmetros definidos pelo cliente .....	40
3.3.1.4. Operacionalização do escalonamento obtido em chão de fábrica.....	42
3.3.1.5. Integridade, mapeamento e passagem da informação do escalonador para o SEGIN.....	46
3.3.1.6. Resolução do mesmo problema com recurso à meta-heurística Simulated Annealing.....	46
3.3.2. Consultas de Tratamento e Análise de Não conformidades.....	48
3.3.2.1. Análise dos custos e das quantidades por defeito .....	49
3.3.2.2. Análise dos custos e das quantidades por referência (código de artigo) .....	49
3.3.2.3. Análise detalhada de não conformidades.....	50
3.3.3. Reformulação do processo de planeamento da manutenção.....	51
3.3.3.1. Centro de monitorização de equipamentos com base num sistema de indústria 4.0.....	51
3.3.3.2. Manutenção preditiva com base no centro de monitorização de equipamentos	53
3.3.3.3. Operacionalização e comunicação do plano de manutenção .....	55
3.4. Aplicação da metodologia de identificação da tendência estratégica da SEGIN pós implementação das soluções .....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
4.1. Apresentação e discussão de resultados escalonador de produção .....	63
4.2. Apresentação e discussão de resultados das consultas de análise de não conformidades	69
4.3. Apresentação e discussão de resultados das novas funcionalidades do módulo de manutenção .....	70
4.4. Visão global resultados obtidos .....	71
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	72
5.1. Conclusões finais .....	72
5.2. Dificuldades encontradas .....	75
5.3. Limitações e trabalhos futuros.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	77
APÊNDICE A – RESULTADOS DA EXPERIÊNCIA DO PROBLEMA DE ESCALONAMENTO COMPARANDO AS TÉCNICAS RD E SA .....	83

página propositadamente em branco



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Logótipo SEGIN [6] .....	3
Figura 2 – Fases do escalonamento da produção .....	9
Figura 3 – Etapas do planeamento da produção .....	11
Figura 4 - Comportamento de uma heurística construtiva [27] .....	17
Figura 5 - Comportamento de uma técnica de pesquisa local [27] .....	18
Figura 6 - Algoritmo genético [35] .....	19
Figura 7 - Algoritmo simplificado DABC [35] .....	20
Figura 8 - Algoritmo simplificado Simulated Annealing [35].....	21
Figura 9 - Algoritmo Tabu Search [35].....	22
Figura 10 - Posicionamento estratégico abstrato da SEGIN em relação a concorrente sem escalonador.....	27
Figura 11 - Posicionamento estratégico abstrato da SEGIN em relação a concorrente com escalonador.....	28
Figura 12 - Funcionalidades SEGIN antes de melhoria por tipologia de manutenção.....	35
Figura 13 – Ecrã inicial do escalonador .....	38
Figura 14 – Janela de identificação do escalonamento e do colaborador.....	38
Figura 15 - Ecrã final de ajuste e validação do escalonamento .....	39
Figura 16 - Critérios de avaliação de desempenho num caso real de escalonamento.....	39
Figura 17 - Ponderações variáveis gerais de desempenho .....	40
Figura 18 - Ponderações variáveis detalhadas de desempenho .....	41
Figura 19 - Pesos por ordens de fabrico.....	41
Figura 20 - Resultados de cada regra já com priorização incorporada / Sequência final para o problema de escalonamento .....	42
Figura 21 - Ecrã para impressão do relatório de escalonamento .....	42
Figura 22 - Relatório escalonamento (Opção A) .....	43
Figura 23 - Relatório escalonamento (Opção B) .....	45
Figura 24 - Tratamento e interligação da informação do escalonador excel para o SEGIN .....	46
Figura 25 - Ecrã de aplicação meta heurística simulated annealing .....	47
Figura 26 - Parâmetros e respetivo controlo do simulated annealing.....	48
Figura 27 – Ecrã análise dos custos e das quantidades por defeito.....	49
Figura 28 - Ecrã análise dos custos e das quantidades por referência (código de artigo) .....	49
Figura 29 – Ecrã análise detalhada de não conformidades .....	50
Figura 30 – Módulo de manutenção SEGIN após soluções implementadas.....	51
Figura 31 - Consulta monitorização de equipamentos .....	52
Figura 32 - Exemplo aplicação de filtros consulta de monitorização de equipamentos .....	52
Figura 33 - Novo campo no SEGIN relativo às regras de manutenção preditiva e exemplo de preenchimento.....	54
Figura 34 - Caminhos possíveis para cada medição de um equipamento .....	54
Figura 35 - Email padrão alerta de medição fora de valores padrão .....	55
Figura 36 - Ecrã para impressão do relatório do plano de manutenção.....	56
Figura 37 - Relatório plano de manutenção.....	57
Figura 38 - Gráfico radar resultados metodologia para identificação de tendência estratégica.....	61

---

Figura 39 - Gráfico circular resultados metodologia para identificação de tendência estratégica .	61
Figura 40 - Diferentes perspectivas de avaliação de resultados escalonador .....	63
Figura 41 - Parâmetros considerados para o SA na experiência efetuada .....	64
Figura 42 - Gráfico resultados da solução SEGIN na componente de comparação de regras de despacho .....	65
Figura 43 - Gráfico comparação dos resultados obtidos para os 3 ambientes distintos .....	66
Figura 44 - Gráfico percentagem de melhorias técnicas abordadas em comparação com ambiente sem solução de escalonamento .....	66
Figura 45 - Gráfico comparação dos 3 ambientes de escalonador em relação à frequência de escolha como melhor técnica .....	67
Figura 46 - Gráfico de funil frequência de cada uma das 9 regras de despacho utilizadas no escalonador SEGIN .....	68

página propositadamente em branco



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento de estudos científicos relacionados com a problemática do escalonamento da produção .....	5
Tabela 2 - Algoritmo para minimização do número de tarefas em atraso [35].....	16
Tabela 3 - Contextos que propiciam a coexistência de mais do que uma estratégia competitiva..	24
Tabela 4 - Metodologia de priorização de ações estratégicas com vista à maximização do posicionamento estratégico em relação aos concorrentes.....	29
Tabela 5 - Metodologia de priorização de melhorias com base no posicionamento estratégico – Aplicação ao caso SEGIN .....	30
Tabela 6 - Metodologia para identificação de tendência estratégica de uma empresa que siga a visão de coexistência de estratégias competitivas .....	32
Tabela 7 – Comparação das características presentes no desenvolvimento de uma solução de escalonamento entre a SEGIN e CALÇADOS SA .....	36
Tabela 8 - Regras de despacho utilizadas e respetiva lógica.....	39
Tabela 9 - Passo 3 metodologia identificação da tendência estratégica .....	60
Tabela 10 - Passo 4 metodologia identificação da tendência estratégica .....	60
Tabela 11 - Frequência de escolha entre solução SEGIN e solução com recurso a SA .....	67
Tabela 12 - Frequência por regra de despacho na solução SEGIN.....	68
Tabela 13 - Visão global resultados obtidos.....	71

página propositadamente em branco

## LISTA DE SIGLAS

---

ABC	<i>Artificial Bee Colony</i>
COVID-19	<i>Corona Virus Disease</i>
CR	<i>Critical ratio</i>
DABC	<i>Discrete based artificial bee colony</i>
EDD	<i>Earliest due date</i>
ERP	<i>Enterprise Resources Planning</i>
FCFS	<i>First come first serve</i>
FIFO	<i>First In First out</i>
FJSP	<i>Job shop flexível</i>
ISEP	<i>Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
LPT	<i>Longest processing time</i>
LWKR	<i>Least Work Remaining</i>
MOPRN	<i>Most Operations Remaining</i>
MWKR	<i>Most Work Remaining</i>
NC	<i>Não conformidade</i>
NE	<i>Nash equilibrium</i>
PCO	<i>Preferred customer order</i>
RS	<i>Random selection</i>
SA	<i>Simulated Annealing</i>
SPT	<i>Shortest procesing time</i>
TS	<i>Tabu Search</i>
WSPT	<i>Weighted Shortest Processing Time</i>

---

página propositadamente em branco

# 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado o problema em estudo, os objetivos a atingir com esta dissertação, bem como, a o enquadramento e a pertinência de abordar esta problemática. Também serão apresentadas as opções metodológicas, os resultados esperados com esta dissertação e ainda será feita uma breve apresentação da empresa onde decorreu este trabalho.

## 1.1. Enquadramento e pertinência

A alteração do sentido no binómio procura-oferta e o crescente desenvolvimento tecnológico que vivenciamos nas últimas décadas têm contribuído para um aumento significativo dos desafios, da exigência e das dificuldades sentidas pelos gestores nos dias que correm.

O aumento da concorrência e a cada vez maior pressão dos clientes que exigem padrões de qualidade cada vez maiores, têm como consequência a erosão das margens de lucro. Só com estratégias de gestão eficazes, modernas, flexíveis e eficientes podemos alisar o efeito desta erosão, atingindo assim a tão desejada sustentabilidade empresarial.

As estratégias com vista à obtenção de vantagens competitivas em relação aos demais concorrentes são amplamente conhecidas, estudadas e utilizadas. Das várias estratégias existentes, a diferenciação, pela sua íntima relação com a inovação tecnológica, é uma das mais utilizadas atualmente.

O presente trabalho apresenta uma visão baseada na coexistência de estratégias de vantagem competitiva dentro de uma organização como forma de atingir o sucesso. Esta visão é diferente daquela defendida por Michael Porter (1985) in [1], um dos principais autores e percussores da área da gestão estratégica, que defende que estas estratégias genéricas não produzem os melhores resultados quando exercidas em simultâneo. Esta coexistência de estratégias, ainda que considerando apenas a diferenciação e a liderança pelo custo, já foi levemente abordada por Charles W. L. Hill (1988) in [2].

Para além da utilização de técnicas, processos e ferramentas e filosofias de gestão adequadas, as empresas precisam de ter uma enorme capacidade adaptativa devido ao facto de vivermos num período caracterizado pela mudança constante e pela grande quantidade de informação.

É precisamente com vista a gerir esta enorme quantidade e variedade de informação que as empresas recorrem cada vez mais a sistemas de informação complexos, rápidos, ágeis e que permitam uma tomada de decisões racional, fundamentada, objetiva, eficaz e eficiente. Surgem assim os *softwares* de gestão também conhecidos por *Enterprise Resources Planning* (ERP) que têm como objetivo o auxílio na gestão operacional das empresas e ainda, no caso de alguns ERPs, fornecer informação preciosa para a gestão de topo tomar as decisões estratégicas.

A pertinência de abordar um assunto relacionado com estes ERPs prende-se com a forte presença no mercado destes *softwares*. Em Portugal, segundo o Instituto Nacional de Estatística, em 2019, cerca de 41,9% das empresas com mais de 10 pessoas ao serviço utilizaram um software ERP sendo que para empresas entre 10 e 49 pessoas, a percentagem de utilização é de 35,6%. Já para empresas entre 50 e 249 pessoas corresponde a 70,4% e para empresas com 250 ou mais pessoas a percentagem corresponde a 91,8% [3].

Um dos módulos/funções da gestão mais associados/influenciados por um ERP é o módulo da produção. A importância desta área da gestão é tão significativa que é aqui que geralmente está representada a maior fatia de custos para as empresas e é aqui que, por exemplo, falhas no processo de produção com conseqüente atraso nas datas de entrega acordadas, se refletem na relação com o cliente e conseqüentemente na sustentabilidade da organização. Assim sendo, é pertinente dar especial enfoque a eventuais alterações nesta área da gestão da produção devido ao seu grande impacto nos custos da organização.

É na interligação entre estes dois vetores acima descritos - estratégias de gestão eficientes e modernas e função produção nos ERPs – que surge uma das grandes problemáticas da gestão operacional: o escalonamento da produção. Importar enquadrar esta função do escalonamento da produção naquilo que é o mercado das empresas fornecedoras de *softwares* ERP para perceber a pertinência de abordar esta temática.

A principal razão para que tão poucas empresas de *software* de apoio à gestão apresentem soluções de escalonamento, é naturalmente a maior validação para a pertinência desta dissertação. Efetivamente, o escalonamento da produção é um dos problemas mais complexos da gestão operacional e apesar de ter sido amplamente estudado desde os primeiros tempos, a comunidade científica tem noção de que estamos bastante longe de obter um modelo que otimize esta problemática para as várias condicionantes e especificidades das várias empresas. Para termos uma noção da complexidade deste problema, importa dizer que não existe nenhum método que forneça uma solução ótima para fluxos que envolvam mais de três máquinas e “n” tarefas. Veremos mais adiante detalhadamente os fatores que tornam este problema tão complexo [4].

O que os autores foram mostrando ao longo dos últimos anos é que embora não existam soluções ótimas, existe um conjunto de técnicas que produzem resultados positivos especialmente quando comparados com empresas que realizam o escalonamento da produção sem recorrer a nenhuma técnica efetiva/racional.

Das principais empresas líderes de mercado, apenas uma apresenta uma solução que visa auxiliar o escalonamento da produção. Assim sendo, ao conseguir implementar uma solução destas no software SEGIN, representaria uma vantagem competitiva para a empresa, podendo trazer não só um aumento da quota de mercado e dos lucros da SEGIN, mas também um aumento de novos clientes que passariam a utilizar este software com o escalonador.

## **1.2. Questão e objetivos de investigação**

Esta dissertação teve como ponto de partida a seguinte questão de investigação: pode a coexistência de várias estratégias competitivas em paralelo constituir uma filosofia de gestão que promova resultados positivos e sustentáveis?

Decorrente desta questão e considerando a aplicação prática na empresa SEGIN, foram desenvolvidas soluções para fazer face a alguns dos problemas/oportunidades de melhoria mais críticos da SEGIN. Destaque para a solução de escalonamento da produção sobre a qual incidirá a maior parte da pesquisa e revisão bibliográfica.

Em termos de objetivos podemos elencar os seguintes como os principais a atingir com esta dissertação:

- Exposição da visão do autor e criação de metodologias com vista à validação da questão de investigação acima colocada;
- Levantamento de artigos científicos, pesquisa e revisão bibliográfica acerca da problemática de escalonamento da produção;
- Levantamento de problemas/oportunidades de melhoria no ERP SEGIN;
- Implementação de uma solução no SEGIN para o escalonamento da produção;
- Comparação da solução de escalonamento criada para o SEGIN com uma outra solução desenvolvida orientada para a investigação e comparação científica;
- Implementação de soluções para os restantes problemas/oportunidades de melhoria mais críticos do SEGIN;
- Avaliação das soluções implementados no SEGIN sob o espectro da nova visão estratégica apresentada.

### 1.3. Opções metodológicas

Para esta dissertação, o método científico mais apropriado é o método hipotético-dedutivo. Este método tem como característica principal o debruçar sobre um problema já existente, já abordado e estudado por outros autores. O passo seguinte neste método trata-se de apresentar uma visão, ou uma nova teoria ou ainda uma nova abordagem tendo como princípio as teorias já existentes com dedução das consequências em formato de teste, e por fim, sobre esse teste é efetuada uma tentativa de refutação por meio de observação e experimentação [5].

### 1.4. Apresentação da empresa

A SEGIN é uma empresa, situada em Vila Nova de Gaia, que desenvolve o *software* SEGIN. Fornece soluções de planeamento e controlo da produção, recolha de dados da produção, monitorização em tempo real, supervisão e análise da performance. O *software* de gestão inclui os mais diversos módulos de apoio à gestão (Compras, Vendas, Recursos Humanos, Financeiro, Qualidade, etc).

É uma empresa com 25 anos de experiência nas tecnologias de informação e o seu sucesso é um resultado direto do profundo conhecimento que tem das necessidades dos seus clientes. Ao longo destes 25 anos tem apresentado um crescimento constante da quota de mercado e da carteira de clientes. Tem atualmente cerca de 20 colaboradores e podemos ver o seu logótipo representado na Figura 1.



Figura 1 - Logótipo SEGIN [6]

A equipa SEGIN tem uma longa tradição e forte presença no sector da indústria, albergando clientes das mais diversas áreas industriais e auxiliando as organizações na maximização do lucro e na tomada de decisões mais esclarecidas.

## 1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho segue a estrutura clássica tendo em consideração o método científico escolhido para esta dissertação e encontra-se dividido em 5 capítulos distintos.

No primeiro capítulo, a introdução, destaque para a apresentação da empresa onde este trabalho foi realizado e destaque também para o enquadramento e pertinência e objetivos deste trabalho.

O segundo capítulo diz respeito à revisão de literatura e fundamentação teórica. Neste capítulo é ainda apresentado um rigoroso levantamento de artigos científicos acerca da área do escalonamento da produção.

De seguida, o terceiro capítulo, designado por melhoria do ERP SEGIN enquadrada numa abordagem estratégica diferenciadora, apresenta um levantamento de problemas/oportunidades de melhoria e são apresentadas as soluções concebidas para cada um dos pontos levantados. Neste capítulo é ainda demonstrada a visão do autor sobre a temática da gestão estratégica e são descritas metodologias criadas para ir ao encontro desta visão.

O quarto capítulo, denominado por resultados e discussão, versa sobre a apresentação e discussão dos resultados obtidos para cada uma das soluções implementadas no software SEGIN, não descurando, a discussão de resultados na vertente científica na solução de escalonamento da produção.

Por fim, o quinto capítulo, intitulado conclusões e trabalhos futuros, engloba as conclusões ao trabalho realizado, a proposta de trabalhos futuros decorrentes desta dissertação e aborda ainda o contexto particular forçado pela pandemia internacional e as dificuldades inerentes.

No final, são ainda apresentadas as referências bibliográficas que sustentam este trabalho e os apêndices.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, primeiramente, encontra-se um levantamento de artigos científicos acerca da temática do escalonamento da produção. De seguida, são abordados em detalhe diversos pontos acerca desta área tais como conceitos, enquadramentos quer no plano histórico quer no plano da gestão da produção, notação e variáveis clássicas, tipologias de escalonamento e ainda são abordadas em detalhe algumas das técnicas mais utilizadas de resolução deste problema.

### 2.1. Levantamento de estudos científicos relacionados com a problemática do escalonamento da produção

Segue-se, na Tabela 1, o levantamento de alguns artigos/estudos científicos que têm por base a utilização de técnicas de resolução de problemas de escalonamento da produção tendo como fatores diferenciadores entre si as técnicas utilizadas, o ambiente industrial para o qual se adequam, os pressupostos considerados e a metodologia de avaliação de resultados.

Tabela 1 - Levantamento de estudos científicos relacionados com a problemática do escalonamento da produção

Referência	Descrição
(Sel & Hamzadayi, 2018) [7]	Neste estudo é considerado um problema de escalonamento da produção encontrado numa tipologia de produção job-shop, sendo ainda considerado um sistema produtivo discreto e dinâmico. De forma a considerar o impacto de possíveis avarias ou alterações nas datas de entrega, é utilizado um modelo de simulação (software ARENA 10.0). Foram incorporadas no modelo de simulação as seguintes regras de escalonamento: EDD, SPT e a FIFO sendo também utilizada a heurística de simulated annealing (SA). O estudo chega à conclusão que quer o SA quer a heurística SPT apresentam melhores resultados que a EDD e a FIFO.
(Bissoli, Altoe, Mauri, & Amaral, 2018) [8]	Este trabalho aborda o problema de escalonamento de job shop flexível (FJSP). Este é uma extensão do problema de job shop (JSP) com maior aproximação à realidade por permitir que uma operação de um determinado trabalho possa ser processada por máquinas alternativas. Uma das particularidades deste trabalho é o de considerar uma abordagem bi-objetiva na resolução deste problema, considerando os seguintes critérios: makespan e o atraso total. Para tal foi utilizada a meta-heurística simulated annealing. A análise dos dados da SA revelou resultados bastantes competitivos quando comparados com os algoritmos utilizados na literatura.
(Zeng & Wang, 2018) [9]	Neste artigo é proposto um método baseado na melhoria artificial de um algoritmo imune com vista a resolução de um problema de flexible job-shop. Primeiramente, é estabelecido um modelo matemático do FJSP e o tempo total de processamento mais curto é tomado como função objetivo. De seguida, é utilizado um algoritmo artificial imune para resolver o problema e um algoritmo de otimização Patrick swarm de forma a incorporar no algoritmo imune diversidade de população e prevenir a obtenção de um ótimo local. Por último, testa-se a performance do algoritmo, mostrando os resultados que o algoritmo proposto consegue obter melhor estruturas de FJSP e principalmente apresenta mais vantagens na resolução de problemas de grande escala quando comparado com outros algoritmos.

<p>(Henneberg &amp; Neufeld, 2016) [10]</p>	<p>Este trabalho apresenta uma variante bastante interessante relativamente à maioria dos trabalhos relativos a problemas de flow shop scheduling. Considera a existência de operações que não necessitam de ser processadas em todas as máquinas. É proposta uma modificação na heurística NPS-set construtiva que gera de forma eficaz escalonamentos não permutacionais. Além do referido, é apresentado um método de duas fases baseado no algoritmo do simulated annealing que considera especialmente operações em falta na sua constituição. São testados quer a heurísticas NP-set quer a SA de duas fases tendo em conta o critério de tempo total de fluxo. Os resultados mostram que a heurística NP-set e o considerar de operações em falta pode melhorar significativamente a performance dos algoritmos.</p>
<p>(Teramoto, Morinaga, Wakamatsu, &amp; Arai, 2018) [11]</p>	<p>Neste artigo é evidenciada a importância que o escalonamento de produção do tipo job shop tem assumido tendo em conta a transição do binómio baixo-mix alto volume para alto-mix baixo volume. É apresentada como desvantagem do simulated annealing o facto de não ser possível obter boas soluções de forma eficiente se a solução inicial não for dada apropriadamente. A investigação foca-se no desenvolvimento de um método eficiente utilizando o simulated annealing num problema de job shop tendo como objetivo a minimização do lead time médio. Com vista à redução deste tempo médio de lead time foram utilizados métodos de limitação de vizinhos através do foco no tempo de espera das operações. Os resultados provam que os métodos propostos foram eficazes para os exemplos estudados.</p>
<p>(Zhang &amp; Zhao, 2019) [12]</p>	<p>Este trabalho utiliza uma abordagem bastante particular na resolução do problema clássico de flow shop ao considerar como ponto central de análise a eficiência energética resultante da resolução deste problema de flow shop. Integra uma solução híbrida entre um algoritmo simulated annealing melhorado e algoritmos genéticos. Os resultados evidenciam que mais de 20% dos recursos energéticos podem ser poupados sem qualquer dispêndio adicional de recursos validando assim a eficácia do algoritmo.</p>
<p>(Yazdani, Gholami, Zandieh, &amp; Mousakhani, 2009) [13]</p>	<p>Este estudo aborda o problema do escalonamento job shop flexível com objetivo de minimização do makespan. Elenca as duas principais dificuldades do FJSP como sendo a alocação de cada operação a uma máquina dentro de um conjunto de máquinas com capacidade para executar determinada operação e a sequenciação das várias operações em todas as máquinas. É proposta a utilização da heurística do simulated annealing que explora o espaço de soluções usando técnicas de pesquisa local estocásticas enquanto tenta evitar mínimos locais aceitando com determinada probabilidade mudanças para soluções piores. A performance deste algoritmo foi comparada com 20 problemas de literatura tendo validado a qualidade deste estudo.</p>
<p>(Wu, Shen, &amp; Li, 2019) [14]</p>	<p>Este artigo, à semelhança de outro já aqui apresentado, considera o consumo energético na resolução do problema de FJS. Para além de considerar o consumo energético considera simultaneamente o efeito da deteriorização das máquinas o que faz com que os tempos de processamento não sejam determinísticos. Primeiramente, é formulado um modelo que representa esta deteriorização dos equipamentos para obter o tempo de processamento efetivo. De seguida, é formulado um modelo multiobjectivo que considera o consumo energético e a deteriorização no FJSP. Por fim, é utilizado o <i>simulated annealing</i> com vista à resolução do problema sendo utilizada uma heurística que visa obter ganhos energéticos sem atrasos no <i>makespan</i>. Os resultados obtidos mostram que o algoritmo proposto é capaz de resolver o problema de forma eficaz e eficiente.</p>

<p>(Hernández-Ramírez, et al., 2019) [15]</p>	<p>Neste artigo é proposto um algoritmo híbrido denominado de AntGenSa com vista à resolução do problema de job shop flexível. Este algoritmo resulta da combinação do Ant colony Systems com o simulated annealing e com o algoritmo genético. Para avaliar a performance deste algoritmo foram consideradas principalmente a qualidade da solução, mas também se considerou o tempo de execução. Os resultados experimentais mostram que a performance deste algoritmo AntGenSA é altamente competitivo quando comparado com o estado da arte.</p>
<p>(Nie, Wang, &amp; Pan, 2019) [16]</p>	<p>Este trabalho aborda o problema do escalonamento flexível job shop tendo em conta o objetivo de maximizar a eficiência de fabrico e também tendo em conta o objetivo de maximizar a satisfação do cliente relativa aos prazos de entrega. É desenvolvido um modelo de otimização baseado na teoria de jogos onde cada trabalho e cada máquina é considerado um jogador. Os jogadores comportam-se com o objetivo de maximizar os seus ganhos enquanto o trabalhador tem como objetivo a minimização do makespan. Para resolver este jogo é usado uma abordagem de pesquisa Nash equilibrium (NE) baseada no algoritmo genético. Os resultados obtidos são validados através de benchmark.</p>
<p>(Zhang, Zhang, Song, Wang, &amp; Zhou, 2019) [17]</p>	<p>Neste artigo, como em tantos outros apresentados, o problema do FJS é considerado tendo em vista a minimização do makespan. Para resolver este problema NP-hard, a pesquisa de vizinhança local baseada no algoritmo genético é proposta de forma a evidenciar a capacidade de pesquisa e para equilibrar a intensificação e a diversificação. São guardadas as soluções ótimas ou soluções próximas da ótima durante o processo iterativo. Para avaliar a performance do algoritmo proposto foram consideradas instâncias de benchmark de diversos tamanhos. Consequentemente, os resultados indicaram que o algoritmo proposto é eficiente e eficaz.</p>
<p>(Wang, Zhou, Xu, Wang, &amp; Liu, 2012) [18]</p>	<p>Este estudo propõe, com vista à resolução de um problema de flexible job shop, a utilização da meta-heurística Artificial Bee Colony (ABC) com objetivo de minimizar o makespan. Primeiramente são utilizadas múltiplas estratégias de forma combinada para gerar soluções iniciais com um certo grau de qualidade e de diversidade tal como as fontes de alimentação. Seguidamente são aplicados operadores de crossover e de mutação para gerar as novas fontes de alimentação vizinhas para as abelhas trabalhadoras. Por fim é proposto um mecanismo de atualização da população para evitar uma convergência prematura do algoritmo e criado um sistema que descodifica a solução obtida num escalonamento efetivo.</p>
<p>(Gao, et al., 2016) [19]</p>	<p>Este estudo aborda a problemática do flexible job shop com tempo de processamento fuzzy. É proposta a utilização de uma versão melhorada da meta-heurística abc tendo como fator diferenciador o considerar a incerteza relativa aos tempos de processamento através da modelação fuzzy. Os objetivos do estudo são a minimização do makespan fuzzy e a maximização da carga de trabalho fuzzy das máquinas. São realizadas extensas experiências computacionais tendo em conta 5 casos de benchmark e 8 instâncias reais. Este algoritmo é comparado com 6 heurísticas tendo as conclusões indicado que o mesmo é capaz de resolver o FJSP considerado tempos de processamento fuzzy de forma eficaz.</p>

<p>(Lin &amp; Chong, 2016) [20]</p>	<p>Esta pesquisa apresenta uma abordagem baseada no algoritmo tabu search com reinício (TSA-R) com objetivo de minimizar o tempo médio de atraso no problema do job_shop scheduling. Os vários trabalhos têm datas de conclusão distintas. O TSA_R usa regras de despacho para obter a solução inicial e realiza a pesquisa de novas soluções no espaço de vizinhança com base no caminho crítico dos trabalhos e blocos de operações. O TSA-R aplica um novo esquema com vista à exploração das soluções iniciais e as suas estruturas de vizinhança. Os resultados computacionais comprovaram a eficiência do algoritmo proposto.</p>
<p>(Li &amp; Gao, 2016) [21]</p>	<p>Neste artigo é proposto um algoritmo híbrido entre o algoritmo genético e o tabu search com vista à resolução do problema de flexible job shop com objetivo de minimização do makespan. O algoritmo híbrido proposto apresenta boa capacidade de pesquisa e consegue equilibrar a intensificação e diversificação. Para avaliar a performance deste algoritmo foram usadas 6 instâncias de benchmark tendo sido também comparados tempos computacionais com outros algoritmos. Os resultados indicaram que o método proposto resultou na melhor solução para vários casos de benchmark.</p>
<p>(Pezzella, Morganti, &amp; Ciaschetti, 2008) [22]</p>	<p>Este estudo apresenta um algoritmo genético para o flexible Job shop problem. O algoritmo integra estratégias diferentes na geração da população inicial, na seleção dos indivíduos e na reprodução de novos indivíduos. Os resultados computacionais evidenciaram que, quando comparados com outros algoritmos genéticos, a integração de diversas estratégias numa ferramenta genética conduz a melhores resultados. Os resultados são ainda bastante comparáveis com aqueles obtidos com o Tabu Search sendo este o melhor algoritmo conhecido.</p>
<p>(Elrahman Elgendy, Hussein, &amp; Elhakeem, 2017) [23]</p>	<p>Este artigo aborda o flexible job shop problema num contexto de ambiente dinâmico caracterizado pela chegada de novos trabalhos, avarias de máquinas, e variações nos tempos de processamento transformando assim este problema no mais complexo do sistema produtivo. Foi desenvolvido um algoritmo genético com objetivo de minimizar o makespan para lidar com os problemas de sequenciamento e roteamento típicos de um FJSP para além de representar o ambiente dinâmico como o aparecimento de novos trabalhos e as variações de tempos de processamento. Os resultados indicaram que o algoritmo proposto é eficaz na resolução do DFJHP.</p>
<p>(Yin, Li, &amp; Zhou, 2011) [24]</p>	<p>Neste artigo é apresentado um algoritmo <i>discreto</i> baseado na artificial bee colony denominado DABC. Primeiramente, para tornar este algoritmo adequado para a resolução do JSSP é apresentada uma fonte de alimentação como uma permutação de trabalhos discreta e é usado uma operação <i>discreta</i> para gerar novas fontes de alimentação. De seguida são apresentadas operações de mutação para adequar o DABC ao JSSP. É usada técnica de pesquisa local para selecionar os indivíduos com determinada probabilidade. Por fim, para evitar mínimos locais é usada a processo de pesquisa local pairwise. Os resultados comprovam quer a eficácia quer a eficiência do algoritmo.</p>
<p>(Vilcot &amp; Billaut, 2011) [25]</p>	<p>Este estudo, com base nas indústrias de impressão, aborda o FJSP com o objetivo de minimização de dois critérios: makespan e atraso máximo. São propostos dois algoritmos tabu-search para encontrar um conjunto de soluções non-dominated. O primeiro é baseado na minimização de um critério sujeito a uma restrição do segundo critério e o segundo é baseado na minimização de uma combinação linear. Para este segundo algoritmo foi ainda utilizado um terceiro critério – o atraso total.</p>

De uma forma geral, este conjunto de artigos comprova que a utilização destas várias técnicas na resolução do problema de escalonamento da produção é, na sua maioria, eficaz e eficiente, comprovando ainda que a especificidade e diversidade de contextos industriais é colmatada com técnicas de resolução com variações das técnicas clássicas e com introdução de mecanismos para fazer face a esta especificidade. Estes artigos indicaram que técnicas mais abrangentes e flexíveis fornecem também resultados positivos na resolução do problema de escalonamento da produção.

## 2.2. Conceitos e objetivos do escalonamento da produção

Pinedo (2012) apresenta uma das definições mais aceites pela comunidade científica, ao descrever o processo de escalonamento como um processo de decisão que é usado de forma regular quer na indústria quer nos serviços e que lida com a alocação de recursos a tarefas em determinados períodos temporais com objetivo de otimizar uma determinada medida de desempenho [26]. De uma forma idêntica, Lopez and Roubellat (2008) apresentam uma outra definição possível para o problema do escalonamento é a organização no espaço temporal de um conjunto de tarefas, tendo em conta restrições de tempo e de capacidade dos recursos necessários à execução destas tarefas [27].

De facto, qualquer empresa, por muito pequena que seja, realiza a distribuição das operações pelos postos de trabalho, máquinas, trabalhadores etc. (recursos) num determinado momento temporal (tempo). De uma forma puramente fundamentalista, o simples ato de um operador realizar uma operação numa determinada máquina num determinado dia em função de uma qualquer ação de planeamento da produção voluntária ou não pode ser considerado como escalonamento da produção.

O escalonamento não envolve apenas a sequenciação de tarefas, mas também determina o início e o fim de uma determinada operação baseada na sequência onde está inserida [28]. De uma forma mais objetiva, o escalonamento indica: O que fazer; Quando fazer; Onde fazer; Por quem; e Com que equipamento [27]. A Figura 2 representa as 3 grandes fases em que se pode decompor o escalonamento da produção.

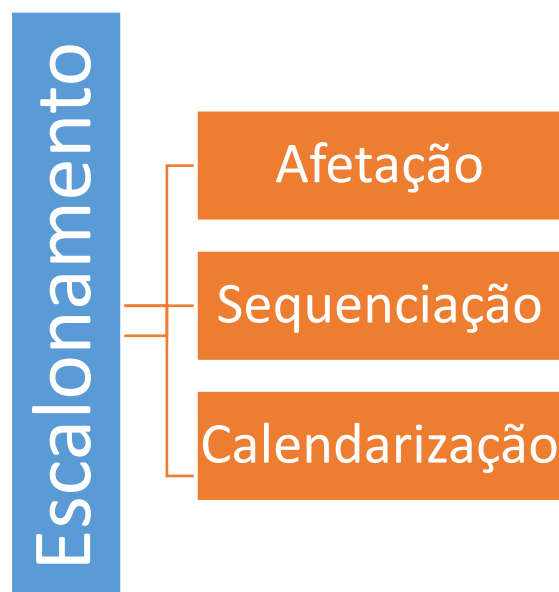


Figura 2 – Fases do escalonamento da produção

Por sua vez, Baker e Trietsch (2009), apresentam a existência de duas grandes restrições fundamentais em qualquer problema de escalonamento [29]:

- Limitação na capacidade dos equipamentos (máquinas e não só);
- Restrições tecnológicas na ordem que algumas ordens e/ou operações podem seguir.

Assim sendo, uma qualquer solução para um problema de escalonamento deve dar resolução a estas duas restrições, podendo-se assim colocar o problema através das seguintes questões [29]:

- Como deve ser feita a alocação dos recursos disponíveis pelas várias tarefas?
- Em que momento temporal cada tarefa deve ser executada?

Tendo em conta estas duas questões podemos fazer uma subdivisão do escalonamento da produção em dois problemas: problemas de afetação (primeira questão) e problemas de sequenciamento (segunda questão) [27, 30].

O objetivo do escalonamento da produção, segundo Lisboa e Gomes (2008), consiste em determinar a sequência mais conveniente no processamento de um conjunto de encomendas, de modo a otimizar um determinado critério considerado relevante na performance organizacional [4].

Já segundo Roldão e Ribeiro (2007), os principais objetivos são: cumprimento dos prazos de entrega, redução dos tempos de fluxo (melhorando a eficiência de utilização das máquinas) e reduzir as existências em curso [30].

### **2.3. Enquadramento histórico**

Para fazer um enquadramento histórico do escalonamento da produção temos que ter em conta a grande alteração a que se assistiu nos finais do século XIX, onde as primeiras grandes empresas industriais, que outrora realizavam apenas atividades artesanais e em ambientes muito pouco especializados, passaram a estabelecer a sua atividade em ambientes fabris altamente especializados, onde passaram a produções em grande escala [31]. É neste seguimento que começam a surgir as primeiras noções, ainda que ténues, relacionadas com economias de escala, padronização do trabalho, redução de custos, racionalização de recursos, etc. que mais tarde Frederick Taylor viria a sistematizar.

É precisamente neste ambiente de mudança, e já no início do século XX que Frederick Taylor (1911) faz a separação entre Planeamento e Execução. Esta separação acaba por ser o ponto percussor do surgimento dos primeiros métodos de escalonamento à medida que as empresas viam aumentar a complexidade dos seus sistemas produtivos [32].

Gantt, (1916), propõem o desenvolvimento de uma lista das tarefas que devem ser realizadas num dado dia, que o departamento de planeamento da produção deveria calendarizar para serem implementadas pelo chefe de oficina, que continuava a intervir ativamente no plano, através de alterações na sequência e alocação do trabalho. O escalonamento de operações proposto por Gantt utilizava além da quantidade de produtos, o tempo para controlar o desenrolar das operações [33].

Cerca de meio século depois, por volta de 1960, com as evoluções assistidas em termos de capacidade computacional houve capacidade para hierarquizar os diferentes problemas de escalonamento pela sua dificuldade [34].

Desde os finais do século XX até aos dias de hoje, têm sido os anos mais promissores e produtivos no que ao surgimento de técnicas de resolução deste problema diz respeito. Primeiramente com a sistematização de técnicas de otimização, de aproximação e técnicas evolutivas e mais recentemente com a utilização de meta-heurísticas de forma combinada (técnicas híbridas)[35].

## 2.4. Enquadramento na função gestão da produção

Tendo por base a divisão hierárquica academicamente usada para o planeamento: planeamento estratégico, planeamento tático e planeamento operacional, o escalonamento da produção situa-se claramente na componente operacional do planeamento. A Figura 3 representa as etapas envolvidas até ao escalonamento da produção.

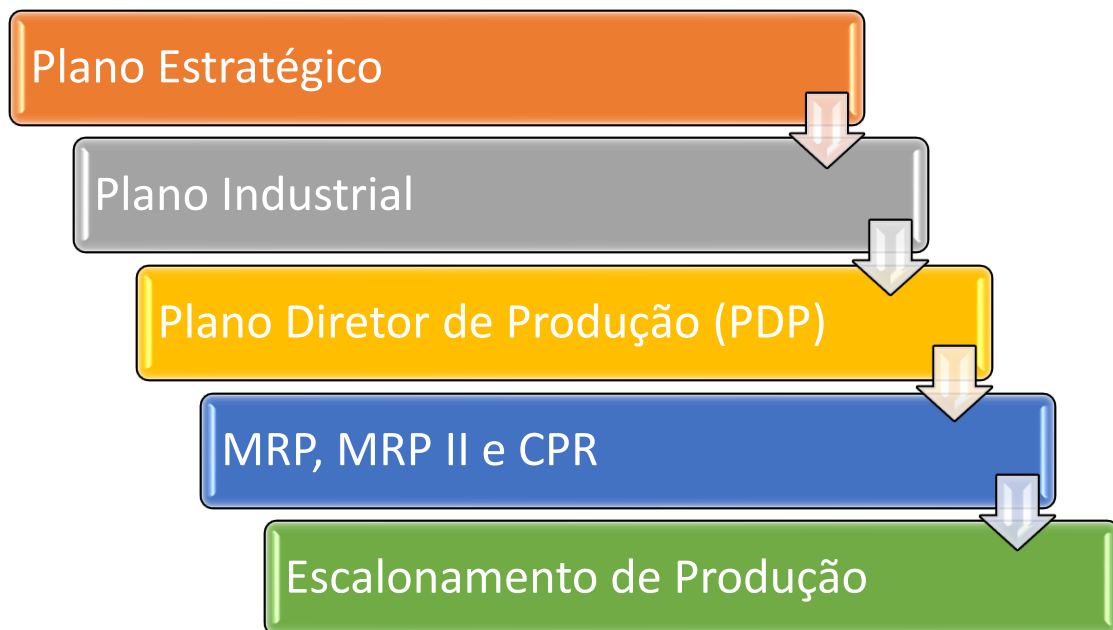


Figura 3 – Etapas do planeamento da produção

Importa ainda referir que, motivado pela doutrina de Deming (1999) e pelo seu ciclo de gestão (também conhecido por ciclo PDCA) [35, 36] a fase de controlo assume uma importância fundamental em qualquer processo de gestão ao qual o escalonamento da produção não constitui exceção. Para realçar esta importância da fase de controlo basta reparar que, com a chegada de novas ordens de produção, um escalonamento considerado positivo e eficiente pode transformar-se rapidamente num escalonamento obsoleto e muito pouco eficiente ou mesmo inaplicável.

## 2.5. O problema do escalonamento da produção e a sua complexidade

Tendo em conta que não existe um modelo que forneça uma solução ótima para problemas de escalonamento que envolvam mais de 3 postos de transformação, este é um dos problemas mais complexos da gestão operacional.

Este problema vê aumentada ainda mais a sua complexidade se tivermos também em conta a incerteza associada ao processamento das várias ordens de produção. Esta incerteza pode surgir devido a paragens não previstas por avarias de máquinas ou por acidentes de trabalho, devido a falhas no cumprimento do prazo de entrega das matérias-primas ou ainda devido a uma fraca

padronização do trabalho que tem como consequência tempos de processamentos bastante distintos mediante o operador que realiza a tarefa.

Existem vários fatores que influenciam o escalonamento da produção e que devem ser considerados quando da procura pela sequência de trabalhos que traduza os melhores resultados. Segundo Lisboa e Gomes [4], estes são os fatores mais importantes que influenciam o escalonamento da produção:

- O número de encomendas a executar;
- O número de máquinas que integram o circuito de fabrico;
- O tipo de fluxo de fabrico existente na unidade;
- O ritmo de chegada das encomendas;
- O critério utilizado na avaliação das diversas sequências possíveis.

Dos pontos acima destacam-se os últimos 3 pela sua variância consoante cada empresa e pelo seu impacto na complexidade do problema.

O terceiro ponto refere-se à sequência produtiva que as várias ordens de produção devem seguir. Se as várias ordens a executar seguem todas uma mesma sequência, aplica-se o conceito de flow-shop e a complexidade do problema é mais baixa. Se estivermos perante sequências de processamentos distintas, o conceito aplicado é o de job-shop e a complexidade do problema aumenta exponencialmente.

Em relação ao 4 ponto, este diz respeito ao processo de chegada das várias ordens de produção. Se as ordens chegam todas ao mesmo tempo trata-se de um sistema de chegada estático. Se pelo contrário, a frequência de chegada é intermitente trata-se de um sistema de chegada dinâmico.

Devido à importância do quinto ponto, será dedicada uma secção desta revisão bibliográfica para discutir os vários critérios de avaliação utilizados.

Por sua vez, Roldão e Ribeiro apresentam um maior número de fatores que influenciam o escalonamento da produção (os autores optam pela terminologia de programação de operações) [30]:

- As datas de entrega são fixadas exogenamente (em vez de endogenamente em função dos recursos disponíveis);
- As sequências de operações não são predefinidas (ou seja, para a mesma tarefa pode haver diferentes sequências);
- Uma mesma operação pode realizar-se em postos de trabalhos diferentes (e não num posto de trabalho bem definido);
- Os tempos de operação são decompostos em tempos de preparação e tempos de processamento, sendo ambos considerados na programação;
- Os tempos de preparação são considerados variáveis em função da sequência estabelecida;
- São considerados tempos de movimentação entre as operações;
- Uma mesma máquina pode processar várias tarefas em simultâneo (multifunção);
- A estrutura do produto é variável, o que origina para o mesmo produto sequências variáveis.

## 2.6. Definições, variáveis e notação

O escalonamento da produção, sendo na sua gênese um problema universalmente conhecido e estudado, apresenta uma série de definições, variáveis e notações comumente utilizadas pela comunidade científica que passo a detalhar:

**Tarefa** – Uma tarefa é uma atividade de trabalho representada no espaço temporal com uma data de início,  $t_i$ , e/ou uma data de conclusão,  $C_i$ , onde a sua execução é caracterizada por uma duração,  $p_i$  [27]. Assim sendo:

$$C_i = t_i + p_i \quad (\text{Equação 1})$$

**Operação** - Em problemas onde as tarefas são executadas em partes, uma operação é parte de uma tarefa que apenas utiliza um recurso. Podemos afirmar que a operação é a unidade básica da tarefa.

**Recurso** – Um recurso  $k$  é uma necessidade técnica ou humana para a execução de uma tarefa e disponível em limitação quer de quantidade quer de capacidade [27].

Em todos os problemas de escalonamento, considera-se quer o número de máquinas, quer o número de recursos como sendo finitos. O número de tarefas é representado por “ $n$ ” e o número de máquinas representado por “ $m$ ”. Para representar uma tarefa usa-se  $j$ , enquanto  $i$  representa uma máquina. Se uma tarefa apresenta um conjunto de operações, então o par  $(i,j)$  representa a atividade de processamento da operação  $j$  na máquina  $i$ . Tendo em conta estas variáveis básicas, temos assim que [26]:

- $p_{ij}$  - Representa o tempo de processamento da tarefa  $j$  na máquina  $i$ . Se for omitido o  $i$  de máquina, sendo apenas representado por  $p_j$  é porque o tempo de processamento da tarefa não depende da máquina onde vai ser processada ou indica que apenas pode ser processada numa máquina;
- $r_j$  - Representa a data de lançamento da tarefa  $j$ . Habitualmente representa o instante em que a ordem de fabrico é libertada na oficina para ser executada;
- $d_j$  - Representa a data de entrega para a tarefa  $j$  (acordada através do planeamento interligado com o compromisso com o cliente, que se não for cumprida leva a organização a incorrer numa penalidade ou representar um custo de insatisfação e potencial perda definitiva do cliente);
- $w_j$  - Representa o peso da tarefa  $j$  relativamente às outras tarefas do sistema, isto é, representa a importância ou prioridade de uma tarefa relativamente a outra numa medida de desempenho. Se não existir é porque todas as tarefas têm a mesma importância. Pode representar valor já envolvido na tarefa ou o custo de manter esta tarefa no sistema.

## 2.7. Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho das regras heurísticas pretende medir o grau de concretização dos objetivos definidos pelas empresas. Para esta avaliação recorre-se a alguns critérios de avaliação de desempenho tais como [27, 31]:

- Atraso Total - Somatório dos atrasos de todas as tarefas em relação aos seus prazos de entrega;
- Atraso médio por tarefa – Quociente do atraso total pelo número;
- Número de tarefas de tarefas atrasadas - Somatório do número de tarefas atrasadas em relação ao prazo de entrega;

- Tempo total de fluxo de todas as tarefas - Somatório do tempo de fluxo de todas as tarefas considerando o tempo de realização de cada uma desde o momento 0 até ao momento da sua conclusão;
- Tempo total de não utilização das máquinas - Somatório do tempo de não utilização das várias máquinas considerando-se para seu apuramento o intervalo entre o momento 0 e a conclusão da última hora dessa tarefa;
- Tempo médio de não utilização das máquinas - Quociente entre o tempo total de não utilização das máquinas e o número de máquinas;
- Percentagem de utilização das máquinas relação entre o tempo de utilização de cada máquina e o seu tempo de fluxo;

## 2.8. Regras Heurísticas Simples

No que diz respeito às principais regras heurísticas/métodos analíticos utilizados na otimização de certos critérios, existe um grande consenso entre os vários autores desta temática em considerar as seguintes regras como as mais conhecidas/utilizadas [5, 28, 31]:

- **Earliest Due Date (EDD)** – O objetivo é o prazo de entrega. A que tiver o prazo de entrega mais curto é a primeira a ser processada;
- **Folga** – O objetivo é o prazo de entrega através do respeito das folgas. É a primeira tarefa com menor folga;
- **First come first serve (FCFS)** – A primeira a chegar é a primeira a ser processada;
- **Shortest Processing Time (SPT)** – A que tiver menor tempo de processamento é a primeira a ser processada;
- **Longest Processing Time (LPT)** – A que tiver maior tempo de processamento é a primeira a ser executada;
- **Critical Ratio (CR)** – É a primeira tarefa com menor rácio crítico. É definido através do quociente  $[(\text{Data de Entrega} - \text{Data Corrente}) / \text{Tempo de transformação ainda por realizar}]$ ;
- **Preferred customer order (PCO)** – A ordem é definida de acordo com a preferência por cliente;
- **Random Selection (RS)** – De modo aleatório;
- **Número de Operações (NOP)** – É a primeira tarefa com menor número de operações por executar;
- **Most Work Remaining (MWKR)** - Quando uma máquina fica livre, de todas as entidades na fila de espera respetiva, é selecionada para processamento a entidade cujo somatório dos tempos de processamentos nas operações a efetuar (nessa e nas próximas máquinas) é maior;
- **Least Work Remaining (LWKR)** - Quando uma máquina fica livre, de todas as entidades na fila de espera respetiva, é selecionada para processamento a entidade cujo somatório dos tempos de processamentos nas operações por efetuar, é menor;
- **Most Operations Remaining (MOPRN)** - Quando uma máquina fica livre, de todas as entidades na fila de espera respetiva, é selecionada para processamento a entidade com maior número de operações por efetuar.

## 2.9. Escalonamento Determinístico e Escalonamento Estocástico

Quando as condições do nosso problema de escalonamento, tais como, tempos de processamento, tempos de setup e priorização de trabalhos, são conhecidas diz-se que estamos perante

escalonamento determinístico. Estas condições não são influenciadas por incerteza nos dados do problema [27, 32].

No lado oposto, o escalonamento estocástico não assume a existência de valores determinísticos para os tempos de processamento, tempos de setup, ou outros valores usados no escalonamento. No lugar dos valores determinísticos são considerados distribuições que representem o comportamento destes valores.

Uma das formas mais utilizadas para representar a incerteza característica de um problema de escalonamento estocástico é o recurso a modelos fuzzy. Existem modelos fuzzy que simplesmente adicionam o fator de incerteza nas restrições e outros que permitem modelar esta mesma incerteza em todos os parâmetros do problema [35].

Existem inúmeros exemplos onde esta incerteza foi incorporada com recurso a modelos fuzzy. Ver [19] onde é utilizada a meta-heurística artificial bee colony para resolver o problema do escalonamento com recurso a um modelo fuzzy para os tempos de processamento. Em [37, 40] este modelo fuzzy é usado juntamente com algoritmos genéticos. Em [40] é usado juntamente com a aplicação do simulated annealing.

## **2.10. Escalonamento Estático e Dinâmico**

Num ambiente industrial, é perfeitamente normal que, após termos uma solução de escalonamento para um conjunto de tarefas inicialmente conhecido e este escalonamento já estar em curso, isto é, já estão a ser processadas tarefas com base no escalonamento obtido, chegarem novas ordens que necessitem de ser processadas. A partir de aqui, o próximo passo definirá se estamos perante um escalonamento estático ou dinâmico.

Caso incorporemos estas novas ordens nos nossos modelos de escalonamento estamos perante um sistema dinâmico. Esta incorporação das novas ordens no nosso escalonamento pode ser feita de duas formas diferentes: de forma reativa, onde existe uma alteração da solução obtida ou de forma preditiva onde a possibilidade de chegadas de novas ordens é considerada no problema de escalonamento inicial [27, 40].

Caso contrário, visto que há um conjunto fixo e delimitado de tarefas consideradas no início do problema e que mais nenhuma interferirá na solução obtida e operacionalizada, estamos perante escalonamento estático.

## **2.11. Escalonamento na implantação industrial Máquina Única**

Os problemas de máquina única constituem o caso mais básico de um problema de escalonamento. Embora seja difícil encontrar em ambiente industrial problemas tão sintéticos como este, a sua compreensão é essencial para abordar os problemas mais complexos.

De forma a compreendermos o comportamento de um sistema complexo, é vital compreender as suas partes, e muitas vezes o problema de máquina única constitui uma parte de um problema de escalonamento maior [29].

É uma tipologia que não requer a afetação de recursos visto que apenas temos uma máquina, sendo por isso apenas necessário resolver o problema de sequenciamento das tarefas.

Raghavachari (1986) in [41] e Kanet (1981) in [42], nos seus estudos de sequenciamento de  $n$  tarefas numa só máquina afirmaram que a sequência ótima é “estruturada em V”, isto é, que a sequência ótima as tarefas deveriam ser processadas por ordem decrescente de tempo de processamento. Uma conclusão muito interessante a com grande representatividade em situações concretas de ambiente industrial pode ser vista em [44], onde foi demonstrado, que a aplicação de regras heurísticas a operações, em vez de tarefas conduz a melhores resultados quando relacionadas com prazos de entrega. De forma sucinta elencam-se os seguintes problemas de máquina única:

- **Minimização do Tempos de Execução** - O problema pode ser resolvido através do SPT (*Shortest Processing Time*), ou seja, ordenando as tarefas por ordem não decrescente dos tempos de processamento. Podemos ainda acrescentar ponderações a cada tarefa através do método WSPT (*Weighted Shortest Processing Time*) que ordena as tarefas por ordem não decrescente da razão entre os tempos de processamento e a ponderação [27, 30];
- **Minimização do Atraso** – Este problema pode ser resolvido através EDD (*Earliest Due Date*) que ordena as tarefas por ordem crescente das datas de entrega;
- **Minimização do Número de Tarefas em Atraso** – Este problema não pode ser resolvido simplesmente com a aplicação direta de uma das heurísticas simples. De qualquer forma, um algoritmo possível para a resolução é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Algoritmo para minimização do número de tarefas em atraso [35]

<b>Passo 1</b>	Dividir as tarefas em dois grupos. Grupo B com as tarefas que serão concluídas atempadamente e grupo A com tarefas que terão atraso;
<b>Passo 2</b>	Aplicar a heurística EDD ao grupo B
<b>Passo 3</b>	Calcular as datas de conclusão das tarefas em B, se todas cumprirem as datas, terminar. Senão identificar a primeira tarefa em atraso em B.
<b>Passo 4</b>	Identificar a tarefa com maior tempo de processamento e movê-la para A
<b>Passo 5</b>	Voltar ao passo 2 até terminar

## 2.12. Técnicas de Resolução

Nas próximas secções serão apresentadas de forma categorizada entre técnicas exatas e técnicas aproximadas abordagens que podem ser seguidas com vista à resolução do problema de escalonamento da produção.

### 2.12.1. Técnicas Exatas

São técnicas de otimização que garantem soluções ótimas independentemente do problema ou do seu tamanho. Na maior parte das vezes a sua utilização requer a enumeração completa de todas as soluções [35]. Estas técnicas apresentam como principal desvantagem apresentarem um tempo de resolução bastante morosos, principalmente nos problemas de maior dimensão tornando impraticável a sua aplicação na maioria das situações industriais. Destacam-se as seguintes técnicas:

**Programação Dinâmica** – é baseada na divisão recorrente de um problema em sub-problemas mais simples. Esta subdivisão tem por base o princípio de *Bellman's* que diz que “Uma sub-solução de uma solução ótima é também ótima” [45]. O procedimento evita a enumeração total do espaço de soluções ao não considerar soluções que não podem atingir a solução ótima [45, 46].

**Branch and X** – é uma família de métodos de otimização (que inclui o *Branch and Bound*, *Branch and Price* e o *Branch and Cut*) que são baseados na enumeração implícita de todas as soluções do problema considerado. O problema de otimização é resolvido através de uma árvore de decisão onde cada ramo representa um sub-problema e cada folha uma solução, permitindo reduzir o espaço de pesquisa apenas aos ramos e assim encontrar a solução ótima [34, 45, 46].

**Programação por Restrições** – é uma linguagem construída tendo por base conceitos de árvores de decisão e implicações lógicas. Sendo que cada variável pode adotar um número finito de valores, o processo aplica as várias restrições recursivamente, de maneira a encontrar soluções viáveis, permitindo assim descartar aqueles que não cumpram as restrições. As restrições devem ser apresentadas sob forma matemática ou através de símbolos [34, 46].

### 2.12.2. Técnicas Aproximadas

Ao contrário das técnicas descritas anteriormente, as técnicas aproximadas não garantem a solução ótima, contudo, apresentam como principal vantagem a supressão da desvantagem das técnicas exatas (tempos de resolução impraticáveis para problemas com dimensão considerável).

Estas técnicas têm sido amplamente utilizadas em contexto industrial precisamente por garantirem um bom equilíbrio na dicotomia qualidade da solução – tempo de resolução. Destacam-se os seguintes métodos:

**Heurísticas construtivas** – Estas heurísticas construtivas produzem soluções na forma  $s = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , partindo de uma solução inicial vazia,  $s[0]$ , e indo acrescentando a cada iteração  $k$  ( $k = 1, \dots, n$ ), um elemento  $x_0(k)$  solução de um sub-problema. Veja-se a Figura 4 para entender a abordagem de uma heurística construtiva ao longo das várias iterações [28, 46].

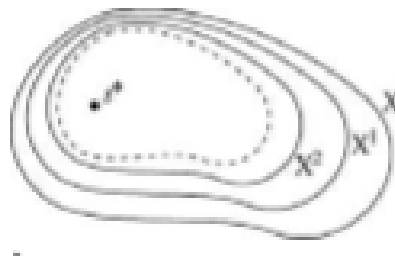


Figura 4 - Comportamento de uma heurística construtiva [27]

**Pesquisa Local** – São métodos heurísticos de otimização que obtém resultados em tempos aceitáveis precisamente por não pesquisar todo o espaço de soluções mais sim apenas uma parte. De outra forma, podemos dizer que são técnicas de otimização que através de uma solução, é exercida determinada influência manipulando esta solução, permitindo assim chegar a novas soluções que se esperam melhores que as anteriores. Habitualmente utilizam soluções aleatórias ou soluções de heurísticas construtivas como ponto de partida da pesquisa. Deslocam-se na direção das melhores soluções da vizinhança, podendo ficar bloqueadas em ótimos locais [28, 34, 45, 46]. Veja-se a Figura 5 que representa o comportamento de uma técnica de pesquisa local.

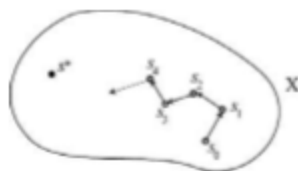


Figura 5 - Comportamento de uma técnica de pesquisa local [27]

**Meta-Heurísticas** – As meta-heurísticas apresentam como uma das principais características o facto de pesquisarem em todo o espaço de soluções. Através de mecanismos estocásticos, conseguem obter maior diversidade na pesquisa do espaço de soluções evitando assim ótimos locais. São habitualmente inspiradas em fenómenos observados na natureza e, podem ser divididas em Meta-Heurísticas de solução única ou Meta-Heurísticas de População [34, 45, 46].

Enquanto as meta-Heurísticas de solução única, também chamadas de métodos de trajetória, começam com uma solução inicial e partem sobre esta, descrevendo uma trajetória no espaço de soluções, as meta-heurísticas de população trabalham com um conjunto (população) de soluções até à obtenção do resultado final [48].

Recentemente, têm surgido imensos estudos científicos onde são utilizadas combinações de mais do que uma heurística para a resolução de um problema de escalonamento. Estas soluções são chamadas de híbridas precisamente por combinarem mais do que uma técnica. O levantamento de artigos científicos realizado para este trabalho apresenta vários exemplos destas situações híbridas (ver

### 2.12.3. Meta Heurística algoritmo genético

Nesta revisão da literatura serão apresentadas 2 meta-heurísticas de população (*Genetic Algorithm* e *Artificial Bee Colony*) e duas meta-heurísticas de solução única (*Simulated Annealing* e *Tabu Search*)

O algoritmo genético é uma das heurísticas com mais aceitação e presença na comunidade científica. Foi apresentado nos anos 70 por J. Holland in [49] de forma a perceber os processos de adaptação de sistemas naturais (Teoria da Evolução de Charles Darwin).

Posteriormente, nos anos 80, foi ainda aplicada na resolução de problemas de otimização e de machine learning.

Um qualquer GA, usualmente, aplica uma operação de crossover entre duas soluções consideradas superiores e ainda uma operação de mutação de forma a introduzir o fator diversidade.

O processo tem por base uma população inicial onde existe uma avaliação dos indivíduos – processo conhecido por fitness. Desta avaliação resulta a escolha dos indivíduos que se apresentem mais capazes de gerar melhores descendentes com base nas características positivas dos progenitores. Situação oposta surge com os indivíduos menos capazes, visto que, como apresentam menos probabilidade de serem selecionados, conseqüentemente, menos probabilidade destas características menos capazes sobreviverem entre gerações. A Figura 6 apresenta o algoritmo genérico para esta meta-heurística.

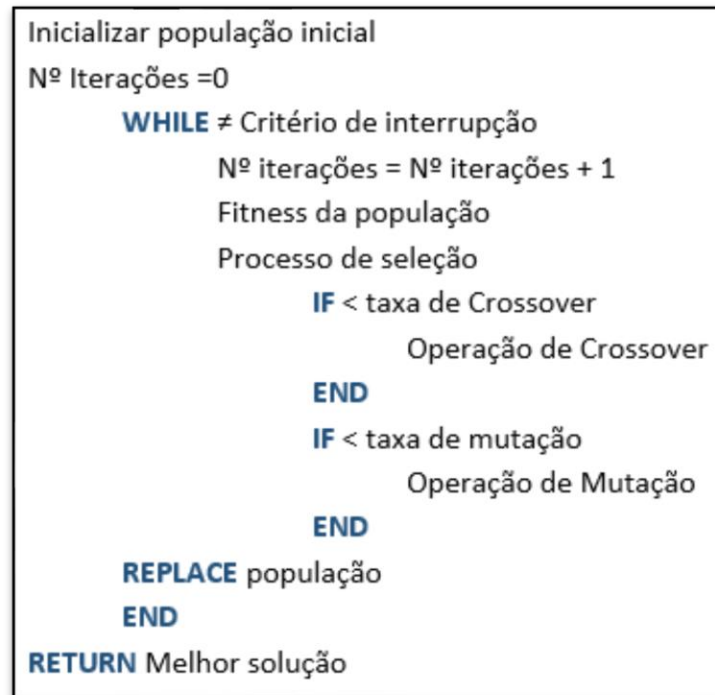


Figura 6 - Algoritmo genético [35]

#### 2.12.4. Meta-Heurística Discrete Artificial Bee Colony (DABC)

O *discrete artificial bee colony* é uma meta-heurística proposta pela primeira vez (sob a forma simplificada de *artificial bee colony* para ambientes contínuos) em 2005 [48, 49]. Tal como muitas técnicas conhecidas, tem por base um comportamento encontrado na natureza, neste caso o ABC tem por base a procura de alimentos por parte de uma colónia de abelhas.

Esta técnica, tal como ocorre no processo real, distingue as abelhas nos seguintes tipos: abelhas trabalhadoras, abelhas exploradoras e abelhas oportunistas.

A primeira fase do processo consiste em dividir o grupo de abelhas em dois grupos normalmente iguais em tamanho e considerar que um dos grupos é composto por abelhas trabalhadoras/exploradores enquanto o outro grupo é composto por abelhas oportunistas.

As abelhas trabalhadoras pesquisam/exploram o espaço de soluções (fontes de alimento).

Seguidamente, as abelhas do grupo das abelhas oportunistas escolhem uma das fontes de alimento exploradas anteriormente de forma probabilística com base no desempenho da solução associada àquela fonte de alimento.

As abelhas exploradoras surgem quando existe uma finitude das fontes de alimento. Nesta situação, as abelhas anteriormente consideradas trabalhadoras, transformam-se agora em abelhas exploradoras com vista a procurarem novas fontes de alimento [35].

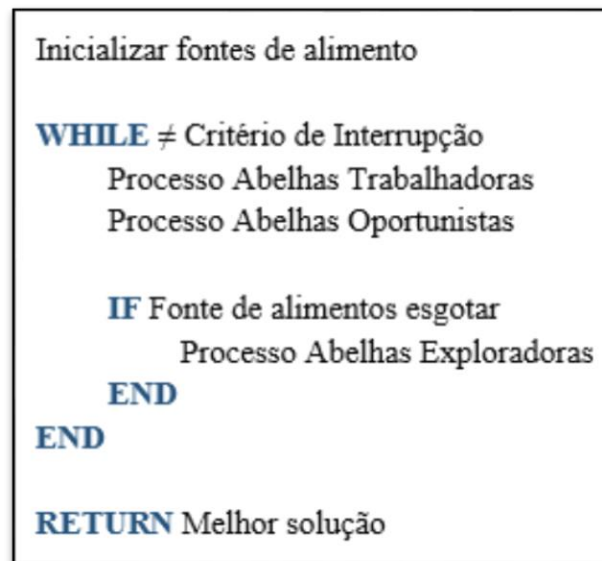


Figura 7 - Algoritmo simplificado DABC [35]

Tal como pode ser visto através do algoritmo da Figura 7, um processo de inicialização e um critério de interrupção são necessários bem como exploração de estruturas de vizinhança à semelhança de grande parte das meta-heurísticas.

### 2.12.5. Meta-Heurística Simulated Annealing (SA)

Os primeiros registos do algoritmo de SA foram abordados em [52] e posteriormente corroborados [51, 52]. Os seus estudos levaram a um algoritmo simples que simulava a evolução de um sistema físico instável através do balanço térmico considerando uma temperatura fixa [48].

O SA é baseado nos princípios da mecânica estatística mais concretamente no processo de arrefecimento de metais que requer um aquecimento e um posterior arrefecimento de forma lenta dos metais de forma a obter uma estrutura cristalina forte. Se a temperatura inicial não for suficientemente alta ou se o arrefecimento for demasiado lento, a estrutura do metal poderá apresentar imperfeições [47].

O SA, tal como já foi referido anteriormente parte de uma solução inicial (habitualmente aleatória, mas por vezes são aplicados métodos para obter uma solução inicial que já seja considerada uma solução “boa”) e com a inicialização do valor da temperatura T.

A partir daqui, seguem-se várias iterações onde através de alterações na solução considerada por movimentos de vizinhança procura-se obter melhores soluções.

Uma das principais características do SA é que mesmo uma solução pior pode ser aceite com uma determinada probabilidade. Ou seja, em cada iteração, se a solução for pior que a anterior, pode ser aceite com uma probabilidade cuja fórmula de cálculo encontra-se representada abaixo:

$$P(T, f(X1), F(X)) = \exp\left(-\frac{f(x1)-f(x)}{T}\right) \quad (\text{Equação 2})$$

Analisando a fórmula, verificamos que probabilidade de aceitar soluções com pior desempenho vai decrescer com T, tornando a meta-heurística mais seletiva durante o processo de pesquisa. Isto quer dizer que no início uma solução com pior desempenho terá muitas probabilidades de ser

aceite como nova solução, fazendo uma pesquisa muito diversificada, mas durante o decurso da pesquisa essa probabilidade vai decrescendo, tornando a pesquisa mais intensa e seletiva no processo de seleção [35]. Este binómio diversidade-intensidade é uma das questões mais relevantes de analisar em termos de meta-heurísticas.

No final da pesquisa a solução atual poderá não corresponder à melhor solução encontrada, assim é necessário manter não apenas a atual solução com a melhor solução encontrada até ao momento [48].

O processo de diminuição de T usualmente é feito com recurso a um dos seguintes métodos de arrefecimento: Linear; geométrico ou logarítmico.

O método de arrefecimento geométrico é provavelmente o mais utilizado na literatura e baseia-se na seguinte fórmula:

$$T_{K+1} = \alpha T_K \quad (\text{Equação 3})$$

O valor da constante  $\alpha$  é assumido como sendo menor que 1 (ver [53–57]). Os valores comuns para esta constante costuma estar entre 0,9 e 0,99 [60].

A Figura 8 representa de forma simplificada o algoritmo do *Simulated Annealing* [34, 47]:

```

Selecionar a solução inicial x e X
Inicializar temperatura T=Ti
WHILE T > Tf
  REPEAT
    Selecionar aleatoriamente x' e v(x)
    IF f(x') < f(x) THEN
      X=x'
    ELSE
      X=x' em função de probabilidade p(T,f(x'),f(x))
    END
  UNTIL nº de soluções analisadas = Ln
  T = T - β
End
RETURN Melhor Solução

```

Figura 8 - Algoritmo simplificado Simulated Annealing [35]

### 2.12.6. Meta-Heurística Tabu Search

É uma meta-heurística originalmente formulada por Glover em 1986 [61], para problemas de otimização complexos. Apresenta como uma das características principais, o facto de ser uma meta-heurística dotada de memória, ou seja, é uma meta-heurística que utiliza as soluções passadas no processo de obtenção das soluções futuras. Esta é uma característica que o SA não possui, visto que não tem capacidade de olhar para as soluções passadas. Esta capacidade de usar a memória é utilizada nesta heurística com o objetivo de evitar ótimos locais e de introduzir uma maior capacidade exploratória.

É inspirada no processo de memória humana através de uma lista de soluções ou movimentos proibidos.

A Figura 9 que se segue representa o algoritmo clássico desta meta-heurística.

```
Escolher de forma aleatória solução inicial x
Inicializar Lista Tabu
  WHILE ≠ Critério de Interrupção
    Selecionar a melhor solução  $x' \in N(x) \setminus \text{Lista Tabu}$ 
     $X=x'$ 
    UPDATE Lista Tabu
  END
RETURN Melhor solução
```

Figura 9 - Algoritmo Tabu Search [35]

Existem vários tipos de estruturas de memória usadas como forma de relembrar a trajetória de uma meta-heurística como o *tabu search*. Uma lista tabu (o nome deriva precisamente do nome da meta-heurística *tabu search*) guarda as últimas soluções encontradas (ou pelo menos alguns atributos) e proíbe a escolha destas soluções novamente. Desta forma, pode-se prevenir os ciclos infinitos que não trazem valor acrescentado à solução final, consumindo apenas tempo de processamento.

O tamanho da lista tabu interfere na memória do processo de pesquisa. Para listas tabu extensas, a pesquisa concentra-se em áreas pequenas do espaço de pesquisa. Em contraposto, as listas mais longas permite explorar mais frequentemente áreas maiores porque evita retornar a soluções visitadas anteriormente [47, 60].

### 3. ANÁLISE E MELHORIA DO ERP SGIN ENQUADRADA NUMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA DIFERENCIADORA

Neste próximo capítulo, é apresentada a visão do autor sobre a temática da gestão estratégica considerando a coexistência de estratégias competitivas como uma filosofia de gestão que conduz a resultados positivos para o sucesso da organização. São ainda descritas metodologias criadas para ir ao encontro desta visão.

Também faz parte deste capítulo um levantamento de problemas/oportunidades de melhoria e são apresentadas as soluções criadas para cada um dos pontos levantados.

#### 3.1. Visão do autor acerca da temática da gestão estratégica e aplicação ao caso da SGIN

Michael Porter (1985), certamente um dos nomes mais conceituados no que concerne à estratégia empresarial, nos anos 80 publica aquela que viria a ser uma das obras que mais revolucionou o pensamento estratégico não só no mundo empresarial mas também noutras áreas de relevo para a sociedade – “The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance” [1]. Aqui, introduz conceitos que perduram até aos dias de hoje como as 5 forças competitivas de Porter ou as estratégias competitivas genéricas.

Abordando este segundo ponto em maior detalhe, Porter identifica a liderança pelo custo, a diferenciação e a focalização como as estratégias que conduzem mais facilmente ao sucesso de uma organização. De realçar ainda que, segundo Porter, a focalização pode apresentar duas variantes: custo-focalização e diferenciação-focalização. Às empresas que sigam todas as estratégias, mas que não conseguem atingir nenhuma delas, Porter utiliza a expressão “*stuck in the middle*” para as caracterizar, afirmando que empresas deste género competem numa posição de clara desvantagem, visto que, os líderes pelo custo, os diferenciadores e os focalizadores estarão em vantagem em qualquer segmento [1].

Porter não considera impossível a coexistência de mais do que uma estratégia como forma de obtenção do sucesso, aliás, enumera um conjunto de contextos onde isso pode acontecer, porém, considera que esta situação é claramente minoritária e apresenta dificuldades/desvantagens muito significativas para cada um destes contextos. A Tabela 3 expõe estes contextos favoráveis à coexistência de mais do que uma estratégia competitiva bem como as suas dificuldades/desvantagens segundo Porter [1].

Tabela 3 - Contextos que propiciam a coexistência de mais do que uma estratégia competitiva

Contexto	Descrição Contexto	Dificuldade/Desvantagem
A maioria dos concorrentes estão todos na situação <i>“stuck in the middle”</i>	Caso a empresa tenha a sorte de os seus concorrentes também estarem numa situação <i>“stuck in the middle”</i> , então existe a possibilidade de coexistência de várias estratégias sem afetar drasticamente a sustentabilidade da empresa	Basta um concorrente passar a estar numa posição onde efetivamente segue unicamente uma das 3 estratégias que a empresa perderá uma significativa quota de mercado para este cliente
Estrutura da indústria é altamente favorável	A indústria onde a empresa se encontra reúne um conjunto de aspetos muito específicos e profícuos à coexistência de estratégias	Situação muito rara de ocorrer e não definitiva
Criar separações estruturais dentro da empresa	Divisão objetiva da empresa por unidades de negócio distintas	Pode impedir qualquer uma das partes da empresa atinja verdadeiramente a sua vantagem competitiva devido à dispersão estrutural deste contexto
Empresa com uma grande inovação pioneira	Uma empresa com uma grande inovação tecnológica pode atingir quer a diferenciação quer a liderança pelo custo.	Basta um dos concorrentes também chegar à mesma inovação que volta a estar numa situação <i>“stuck in the middle”</i>
Atingir uma redução de custo sem afetar a diferenciação ou mesmo aumentá-la	Utilização de práticas que são mais eficientes e/ou eficazes numa solução diferenciadora	Atingir-se-á o limite em que mais reduções irão custar a diferenciação. Enquanto isso os concorrentes irão acompanhar a baixa de custo

É precisamente aqui que, no âmbito desta dissertação, apresento a minha visão acerca desta temática. Esta visão, não sendo uma visão diametralmente oposta à de Porter (1985) in [1], visto que este apesar de em minoria e com grandes desvantagens assumia a existência de determinados contextos onde a coexistência de estratégias competitivas poderia ser vantajosa, é uma visão que assenta na seguinte premissa:

As fortes alterações ao nível tecnológico, industrial, do mercado global, ao nível do comportamento do consumidor e ao nível económico constituem uma conjuntura totalmente diferente daquela de há 35 anos onde Porter (1985) in [1] lançou a sua visão, nova conjuntura essa, que permite agora uma visão diferenciada direcionada a dois vetores da teoria de Porter – o considerar de uma

minoria as situações onde existem contextos propícios à coexistência de estratégias competitivas e o considerar um impacto altamente negativo causado pelas dificuldades/desvantagens de cada contexto .

Efetivamente, considero que esta conjuntura atual onde vivemos não só apresenta muitos mais contextos propícios a esta coexistência de estratégias competitivas deixando de ser uma minoria (como fora afirmado por Porter (1985) in [1]) para passar a ser uma fração significativa, mas também desmistifica, minimiza ou até mesmo elimina grande parte das desvantagens/dificuldades de cada contexto que Porter (1985) in [1] identificou.

De forma objetiva passo a apresentar uma série de pontos que caracterizam a conjuntura atual que vivemos e que propiciam o aparecimento de mais contextos positivos à coexistência de estratégias e que desmistificam algumas das desvantagens dos contextos enumerados por Porter (1985) in [1]:

1. Massificação e consolidação de filosofias de redução de custos (*lean management*) aliadas à alta competitividade dos mercados que levaram a que seja cada vez mais difícil para uma determinada empresa possuir processos produtivos internos que permitam um custo de fabrico significativamente diferente dos concorrentes impedindo assim, em muitos casos, o seguimento de uma estratégia pura e única de liderança pelo custo/preço;
2. Aumento da jurisdição e proteção em volta do conceito de propriedade intelectual que permite que as empresas que atinjam determinadas inovações que conduzam à liderança pelo custo fruto da diferenciação (coexistência de estratégias) se mantenham sob estas inovações sem um risco acentuado de verem estas inovações serem replicadas nos seus concorrentes perdendo assim as suas vantagens competitivas (uma das desvantagens apontadas por Porter);
3. A revolução tecnológica a que assistimos nos últimos 50 anos, o aumento da mão de obra qualificada e especializada e ainda a presença em grande parte das organizações de departamentos inteiramente dedicados à investigação e desenvolvimento levaram a que a palavra inovação (e a diferenciação que dela decorre) seja presença assídua no dia a dia da esmagadora maioria das empresas. Esta diferenciação não veio substituir as estratégias de liderança pelo custo ou de focalização, mas antes coexistir com essas estratégias fortalecendo ainda mais a posição destas empresas no mercado. Efetivamente a grande maioria das empresas possui elementos vinculados, objetivos e propositados de diferenciação em relação aos seus concorrentes;
4. O aumento do poder de compra dos consumidores e da sua qualidade de vida conduziu ao aparecimento de clientes com necessidades mais exigentes e, acima de tudo, mais específicas o que fomentou o aparecimento de novos produtos/mercados que seriam impensáveis há 40 anos. Estes novos produtos/mercados, pela sua grande especificidade, levam a que as empresas que fornecem estes produtos para estes mercados sigam de forma natural e até mesmo involuntária uma estratégia de focalização, abrindo espaço para a alocação de recursos com vista à introdução de novas estratégias.
5. A combinação concreta do ponto 3 com o ponto 4 que permitiu o aparecimento de inúmeras empresas que seguem as 3 estratégias genéricas de Porter em simultâneo. Isto é, empresas que atuam em mercados altamente especializados (focalização) e que possuem processos internos que, através da inovação (diferenciação), conseguem oferecer

- preços de venda ao consumidor competitivos (liderança pelo custo) – novo contexto favorável à coexistência;
6. O efeito de replicação presente no contexto denominado por Porter de “*stuck in the middle*”. Um dos contextos onde Porter admitia a possibilidade de coexistência de estratégias era num mercado caracterizado por empresas na sua maioria na situação “*stuck in the middle*” (com coexistência de estratégias). Efetivamente nos anos 80 ainda existiam vários mercados nesta situação o que promovia que empresas nesta situação tivessem efetivamente sucesso (ainda que não maximizado), visto que não existiam concorrentes estrategicamente superiores. Este sucesso, mesmo que não total, serviu para muitas outras empresas replicarem estas estratégias perdurando até aos dias de hoje.
  7. Estruturas de liderança cada vez mais descentralizadas, departamentalizadas e consequentes falhas na comunicação estratégica da empresa que provocam situações onde efetivamente a gestão de topo segue e orienta-se para uma estratégia competitiva específica, contudo, a mensagem não chega ou não é clara para os decisores de primeira linha que acabam por tomar decisões não orientadas para a estratégia definida pela gestão de topo mas antes para a sua preferência/experiência/benefício pessoal.
  8. Quebra no *trade-off* diferenciação-alto custo. O aparecimento, a evolução e a massificação de mercados como as tecnologias ou o comércio online, cujo processo de diferenciação é cada vez mais simples, acessível e imediato, bem como a evolução e o aparecimento de estratégias oriundas da gestão de serviços, nomeadamente, estratégias de diferenciação fruto de relações especializadas com os clientes, permitiram uma reformulação completa do conceito em que a diferenciação só pode ser conseguida acrescentando significativamente aos custos, tornando assim as estratégias de diferenciação e liderança pelo custo incompatíveis. Efetivamente esta diferenciação cada vez mais barata, simples e não apenas aplicada ao produto final (veja-se a diferenciação na relação com os clientes) permite coexistir estas duas estratégias de forma sustentável.

Este conjunto de pontos constituem assim uma conjuntura que favorece a coexistência de estratégias competitivas e que resulta em resultados positivos e sustentáveis sem diminuição da quota de mercado. Esta coexistência está presente numa parte muito significativa do mundo empresarial mesmo que, muitas vezes, não seja rapidamente identificada ao olhar externo.

Dando um simples exemplo, servindo de ponto de partida para a exploração de outros casos reais, o leitor certamente reconhecerá marcas de automóveis que apresentam paralelamente modelos totalmente direcionados para segmentos de mercado específicos como o automóvel familiar ou o automóvel orientado para o transporte de cargas (focalização) e que simultaneamente apresentam grandes características de diferenciação como serem elétricos, híbridos, customizáveis quer em cor quer em outros acessórios, sistemas únicos e inovadores da própria marca etc. (diferenciação) e claro, dado a enorme competitividade característica do mercado automóvel, muitos destes modelos (mesmo apesar desta focalização e diferenciação) apresentam preços de mercado reduzidos face a outras opções (liderança pelo custo).

Importa ainda distinguir entre aquilo que considero serem dois níveis de coexistência de estratégias competitivas distintos: coexistência dentro de uma área/produto/mercado concreto - aquilo que denomino por coexistência especializada; e coexistência transversal a toda a empresa – aquilo que denomino por coexistência generalizada.

Dando o exemplo de uma empresa produtora de calçado, coexistência especializada seria se, por exemplo, apenas para a secção relativa aos tamanhos de criança a empresa se focalizasse na produção de calçado impermeável e se diferenciasse ao apresentar este calçado impermeável com uma decoração de determinado desenho animado idolatrado pelas crianças (coexistência apenas para a secção tamanhos de criança).

A mesma empresa, mas agora no nível de coexistência generalizada seria, por exemplo, se a empresa focalizasse toda a sua produção no fabrico de calçado formal de cerimónia, diferenciando pelo facto de em vez de vender o calçado que produz passar a uma situação geral de aluguer de calçado de cerimónia (coexistência comum a toda a empresa e sua atividade produtiva).

É precisamente ao nível da coexistência generalizada que irei focar este capítulo 3 com a implementação de várias soluções no ERP SGIN, tendo cada uma delas uma orientação estratégica diferente permitindo assim, numa visão global, uma coexistência transversal a todo o ERP SGIN. Contudo, como veremos mais adiante, cada uma destas soluções apresentará a sua própria coexistência especializada. Ao longo deste capítulo 3 irei apresentar um conjunto de problemas e/ou oportunidades de melhoria que identifiquei no ERP SGIN.

A importância de caracterizarmos uma determinada alteração como sendo um problema ou uma melhoria é bastante relevante, especialmente, tendo em conta que o posicionamento estratégico difere consoante a situação em que estejamos.

Como podemos ver esquematizado na Figura 10, e pegando no exemplo de uma solução para o escalonamento da produção e no caso atual da SGIN (sem solução para o escalonamento), caso estejamos em comparação com um concorrente também ele sem solução para o escalonamento, em termos de posicionamento estratégico para esta funcionalidade, estamos em igualdade, contudo, existe oportunidade de ganhar vantagem neste ponto e assumir uma posição de liderança estratégica.

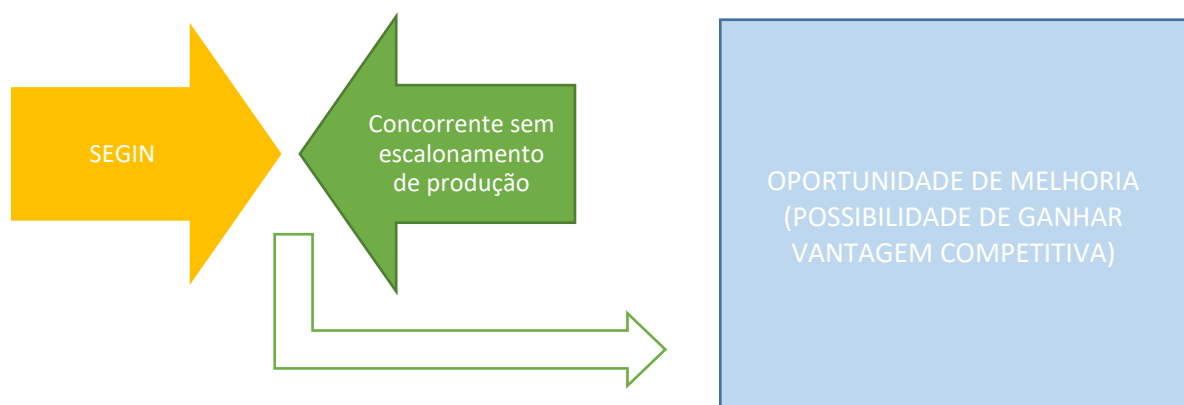


Figura 10 - Posicionamento estratégico abstrato da SGIN em relação a concorrente sem escalonador

Já na Figura 11, vemos precisamente a situação oposta e aquela com impacto mais negativo. Comparando a SGIN com um concorrente com uma ferramenta para o escalonamento da produção, não só não estamos em igualdade como estamos mesmo numa posição estratégica desfavorável.

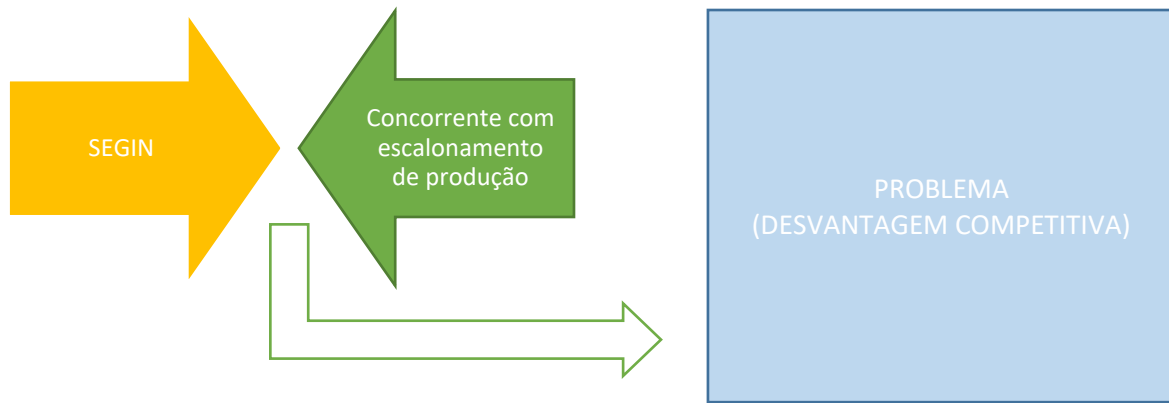


Figura 11 - Posicionamento estratégico abstrato da SEGIN em relação a concorrente com escalonador

Este processo de analisar para o posicionamento estratégico de forma segmentada por melhoria ou área de atuação, torna-se ainda mais complexo quando temos em consideração posicionamentos não extremados, isto é, a empresa A pode ter uma solução de escalonamento de produção tal como a empresa B, contudo, a solução da empresa A pode ser mais funcional, eficaz, um preço mais baixo, etc. Neste caso, embora, estejamos perante uma situação de desvantagem competitiva (na perspetiva da empresa B), esta desvantagem é menos acentuada e menos crítica do que no caso em que a empresa B não apresentasse nenhuma solução. A esta situação particular designo por posicionamento estratégico não binário.

De realçar que esta caracterização de problemas/oportunidades de melhoria mediante o posicionamento estratégico não se limita à estratégica competitiva de diferenciação (estratégica habitualmente associada ao possuir ou não possuir determinada funcionalidade em relação a um concorrente), podendo ser aplicada sob o ponto de vista de qualquer estratégia competitiva.

Dando um exemplo simples: Empresa A e B têm soluções de escalonamento com as mesmas funcionalidades, contudo, a solução da empresa A é 25% mais barata. Neste caso a empresa B encontra-se numa situação de problema (desvantagem competitiva).

Uma das grandes decisões que qualquer gestor tem de tomar ao nível da gestão estratégica (e alguns casos intermédia) é a seleção e priorização de ações de mudança com impacto estratégico em cada organização. Estas ações podem ser o lançamento de novos produtos, a entrada em novos mercados, a aquisição de novos equipamentos que diminuam os custos e/ou tempos de produção, alterações na relação com clientes, etc.

No caso da SEGIN, devido a tratar-se de uma empresa que comercializa apenas um produto, grande parte destas decisões importantes centram-se na criação de novas soluções para o seu produto - o ERP SEGIN - que vão de encontro às sempre exigentes necessidades dos seus clientes.

Considero este processo de seleção e priorização de ações de mudança estratégica fundamental e com grande impacto no sucesso ou insucesso de cada organização, sobretudo tendo em consideração que a limitação dos recursos e as boas práticas de *lean management* impedem que as organizações promovam estas mudanças todas ao mesmo tempo (mesmo que houvesse recursos limitados a filosofia *lean management* defende a implementação de alterações/melhorias de forma gradual).

Passo a apresentar na Tabela 4 uma metodologia que criei e que tem como objetivo priorizar as alterações a fazer em qualquer organização/empresa/sector de forma a maximizar o nosso posicionamento estratégico em relação aos concorrentes tendo em consideração custos de implementação previstos e receitas previstas.

Tabela 4 - Metodologia de priorização de ações estratégicas com vista à maximização do posicionamento estratégico em relação aos concorrentes

<b>Passos</b>	<b>Processo</b>
<b>Passo 1</b>	Elencar as várias alterações/melhorias passíveis de serem executadas
<b>Passo 2</b>	Elencar as várias empresas concorrentes para cada área de atuação da alteração/melhoria
<b>Passo 3</b>	Para cada combinação de alteração/melhoria-concorrente atribuir o valor -2 caso estejamos em desvantagem competitiva total, o valor 0 caso estejamos em igualdade e o valor 2 caso estejamos em posição de vantagem competitiva total em relação aos concorrentes. Os valores -1 e 1 devem ser aplicados para as situações de posicionamento estratégico não binário (explicadas anteriormente)
<b>Passo 4</b>	Fazer o somatório por cada alteração/melhoria
<b>Passo 5</b>	Para cada alteração/melhoria atribuir um valor numa escala de 1 a 5 representativa do valor em termos de custos para implementar a respetiva alteração/melhoria. Sendo 1-pouco custosa e 5-muito custosa;
<b>Passo 6</b>	Para cada alteração/melhoria atribuir um valor numa escala de 1 a 5 representativa do valor em termos de receitas previstas com a respetiva alteração/melhoria. Sendo 1-receitas altas e 5-receitas baixas
<b>Passo 7</b>	Ordenar por ordem crescente de somatório as alterações/melhorias

Vamos aplicar esta metodologia à realidade da SEGIN em 4 grandes alterações/melhorias que têm estado pendentes de avanço:

**Passo1:** Elencar as várias alterações/melhorias passíveis de serem executadas

- 1) Implementação de um sistema de escalonamento de produção;
- 2) Planeamento da Manutenção considerando manutenção preditiva;
- 3) Criação do módulo faturação/financeiro;
- 4) Análise e tratamento da informação de não conformidades (NCs).

No caso concreto da empresa SEGIN, o ERP SEGIN não possui soluções para os pontos 1,2 e 4 e possui uma solução básica e limitada para o ponto 3.

**Passo 2:** Elencar as várias empresas concorrentes para cada área de atuação da alteração/melhoria

- 1) Empresa A
- 2) Empresa B
- 3) Empresa C
- 4) Empresa D
- 5) Empresa E

Nota do autor: As empresas concorrentes da SEGIN vêm aqui o seu nome ocultado por decisão do autor.

**Passo 3:** Para cada combinação de alteração/melhoria atribuir o valor -2 caso estejamos em desvantagem competitiva total, o valor 0 caso estejamos em igualdade e o valor 2 caso estejamos em posição de vantagem competitiva total em relação aos concorrentes. Os valores -1 e 1 devem ser aplicados para as situações de posicionamento estratégico não binário (explicadas anteriormente) (ver Tabela 5).

Tabela 5 - Metodologia de priorização de melhorias com base no posicionamento estratégico – Aplicação ao caso SEGIN

Alteração	Concorrente	Posicionamento	Soma	Custos	Receitas	Resultado
Escalonador de Produção	Empresa A	0	-2	1	1	0
	Empresa B	0				
	Empresa C	0				
	Empresa D	0				
	Empresa E	-2				
Planeamento da Manutenção considerando manutenção preditiva	Empresa A	0	0	3	2	5
	Empresa B	0				
	Empresa C	0				
	Empresa D	0				
	Empresa E	0				
Módulo Faturação/Financeiro	Empresa A	+1	1	5	2	8
	Empresa B	-1				
	Empresa C	+1				
	Empresa D	-1				
	Empresa E	+1				
Análise e tratamento da informação de NCs	Empresa A	0	0	3	3	6
	Empresa B	0				
	Empresa C	0				
	Empresa D	0				
	Empresa E	0				

**Passos 4 e 5:** Os pontos 4 e 5 encontram-se detalhadas na Tabela 5.

**Passo 6:** Ordenar por ordem crescente de somatório as alterações/melhorias

- 1) Escalonador de Produção;
- 2) Planeamento da Manutenção considerando manutenção preditiva;
- 3) Indicadores de Eficiência Operacional;
- 4) Módulo Faturação/Financeiro.

Muitas das vezes, a vantagem competitiva de uma determinada solução não está no facto de termos essa solução contrariamente a um concorrente, mas sim no facto de apresentarmos um preço de venda mais baixo (liderança pelo custo) ou apresentarmos uma solução específica para determinado mercado/contexto industrial (focalização). Estes casos não constituem qualquer entrave à aplicação desta metodologia. Caso existam alterações cujo posicionamento estratégico esteja dependente de mais do que uma estratégia competitiva, a solução passa preencher o campo do posicionamento estratégico como sendo o somatório do posicionamento obtido para cada estratégia competitiva.

O *output* desta metodologia é então uma sequência de ações/alterações/melhorias com impacto estratégico para a organização a implementar.

Após implementação destas várias ações estratégicas e seguindo a visão de coexistência de estratégias competitivas apresentada anteriormente, estaremos perante uma empresa com várias direções estratégicas distintas. Neste novo contexto fará sentido afirmar que esta empresa segue, por exemplo, uma estratégia de liderança pelo custo?

Efetivamente, tendo em consideração que esta empresa é agora um sistema interligado de diferentes estratégias competitivas, é altamente redutor limitar a empresa a uma estratégia de vantagem competitiva.

É precisamente aqui que introduzo o conceito de tendência estratégica. Utilizando um exemplo simplificado de uma empresa com 5 áreas de atuação estratégicas distintas, sendo 3 delas orientadas por uma estratégia de diferenciação ao passo que uma outra segue uma estratégia de focalização e uma última área de atuação, que segue uma estratégia de liderança pelo custo, não podemos afirmar categoricamente que esta empresa segue uma estratégia de diferenciação, contudo, podemos afirmar que esta empresa apresenta uma tendência estratégica voltada para a diferenciação.

Passo a apresentar, na Tabela 6, uma outra metodologia que criei e que tem como objetivo identificar a tendência estratégica de uma determinada empresa que siga a visão de coexistência especializada de estratégias competitivas.

Tabela 6 - Metodologia para identificação de tendência estratégica de uma empresa que siga a visão de coexistência de estratégias competitivas

<b>Passos</b>	<b>Processo</b>
<b>Passo 1</b>	Elencar as várias alterações/melhorias passíveis de serem executadas
<b>Passo 2</b>	Elencar as várias estratégias competitivas presentes na organização
<b>Passo 3</b>	Para cada combinação de alteração/melhoria-estratégia competitiva, atribuir um valor dentro de uma escala de 1 a 5 que represente a orientação estratégica dessa alteração/melhoria. Sendo 1- muito pouco orientada e 5 – totalmente orientada
<b>Passo 4</b>	Num quadro resumo, elencar novamente as estratégias competitivas e indicar, para cada estratégia, o somatório obtido nas várias alterações/melhorias para cada estratégia
<b>Passo 5</b>	Ao resultado obtido aplicar ferramentas de análise visual de dados como gráficos de radar e gráficos circular

No final deste capítulo, na secção 3.4, será apresentada uma aplicação concreta desta metodologia dirigida à realidade da SEGIN após implementação de várias soluções decorrentes desta dissertação.

### **3.2. Identificação de problemas e oportunidades de melhoria**

Em qualquer organização, é utópico considerar os processos internos como estando na sua capacidade ótima, quanto mais não seja pela inovação a que assistimos todos os dias e que faz com que existam soluções novas cada vez mais vantajosas para os nossos processos. De uma outra forma, podemos afirmar que os processos internos nunca estão 100% isentos de problemas e/ou oportunidades de melhoria. Com o aumento de preponderância dado às técnicas de gestão Lean, a identificação destes problemas/oportunidades de melhoria e posterior resolução é uma constante em qualquer organização que se queira competitiva e sustentável.

Assim sendo, nesta dissertação, um dos principais objetivos é o levantamento dos problemas/oportunidades de melhoria mais relevantes no ERP SEGIN e a criação de soluções para fazer face a estes pontos levantados. Nas próximas secções serão detalhados estes pontos a resolver/melhorar.

#### **3.2.1. Inexistência de processos para o escalonamento da produção**

O SEGIN, no que às funcionalidades do módulo de produção diz respeito, encontra-se a par com as grandes empresas do setor. O módulo de produção, após vários anos de presença em dezenas de empresas do setor industrial, encontra-se bastante sólido, robusto e capaz de dar resposta aos desafios levantados pela grande diversidade de clientes na componente da gestão da produção.

O SEGIN apresenta uma ferramenta que executa o planeamento das ordens de fabrico, tendo em conta as seguintes variáveis:

- Encomendas dos clientes;
- Árvores de produto;
- Quantidades de produtos em stock;
- Capacidade instalada na fábrica;
- Especificidades tecnológicas (tempos de setup, gamas operatórias, etc);
- Ordens de fabrico já em curso.

Em termos de terminologia científica, a solução que o SEGIN apresenta para o planeamento da produção enquadra-se na tipologia de MRP II.

O output desta solução de planeamento é a criação de um conjunto de ordens de fabrico delimitadas no tempo com uma data de início e uma data de fim capaz de dar resposta aos vários pontos acima descritos. Associado a cada ordem de fabrico estão obviamente operações e reservas de material previstas. Estas operações são realizadas em centros de operações definidos e seguindo as restrições tecnológicas associadas à correta sequência de fabrico.

Tal como já foi possível ver na revisão bibliográfica, para o planeamento ficar concluído a 100% fica a faltar uma parte fundamental – o escalonamento da produção. As operações resultantes do planeamento necessitam de ser executadas com uma determinada ordem que melhor satisfaça os prazos acordados com os clientes e que melhor equilibre a utilização dos recursos produtivos no espaço temporal mais curto possível.

Este processo do escalonamento da produção, em contexto industrial é, normalmente, realizado pelos gestores de primeira linha ou, em alguns casos, onde existe uma maior autonomia e descentralização das últimas etapas do planeamento da produção, pelos operadores dos centros de operações.

O SEGIN não apresenta nenhuma funcionalidade, módulo, ecrã ou processo que tenha em vista a resolução do problema do escalonamento da produção.

Embora, o planeamento resultante do algoritmo de MRP II do SEGIN já constitua um excelente apoio à gestão da produção, pode ser sempre considerado como incompleto, isto é, ainda necessita de tratamento humano para poder ser operacionalizado, o que constitui um problema ou uma oportunidade de melhoria existente no SEGIN dependendo do concorrente com o qual estamos a comparar a SEGIN.

### **3.2.2. Gestão da Qualidade sem tratamento de informação de NCs**

O ERP SEGIN possui um módulo inteiramente dedicado à gestão da qualidade. Neste módulo destacam-se as seguintes funcionalidades:

- Criação e manutenção de certificados e relatórios laboratoriais de qualidade;
- Avaliação de fornecedores;
- Consulta de não conformidades (NC) registadas no chão de fábrica;
- Classificação de lotes adquiridos a fornecedores.

Embora este módulo tenha como ponto forte o registo detalhado de todas as NC (horário em que foi registada a NC, colaborador que fez o registo, centro de operações, artigo/peça com a NC, tipologia de NC, entre outros, apresenta como grande desvantagem (problema) o facto desta tabela onde são apresentados todos os dados constituir o limite deste módulo da gestão da qualidade no SEGIN, isto é, os dados como são apresentados de uma forma grosseira e sem qualquer tratamento inviabiliza o seu apoio direto nos processos de tomada de decisão da gestão da qualidade.

Obviamente que estes dados podem ser trabalhados fora do SEGIN, contudo, isso requer gastos de recursos humanos, tecnológicos e contribui para uma descentralização da informação (precisamente o oposto do que as empresas pretendem com a aquisição de um ERP).

Importa referir algumas das questões que a gestão da qualidade deve dar resposta rapidamente e que neste momento com o software SEGIN não o consegue:

- Quais os centros de operações que apresentam maior número de NC?
- Quais os artigos/componentes/peças que apresentam maior número de NC?
- A distribuição de NC pelos artigos é equilibrada ou existe uma percentagem baixa de artigos que provocam grande parte das NC (regra de Pareto)?
- Existem horários do dia mais propícios ao aparecimento de NC?
- Existem colaboradores que apresentem um número de registos de NC muito superior à média?

De forma objetiva, neste momento o SEGIN não consegue dar rápida resposta a nenhuma destas questões.

Indo mais além, a falta deste tratamento de informação que torne o processo de tomada de decisão quase elementar, pode ser o ponto crucial na não venda deste módulo a novos clientes, o que constitui custos de oportunidade significativos para a empresa.

### **3.2.3. Planeamento e gestão da manutenção limitado**

A gestão da manutenção é uma das áreas funcionais da gestão que não pode ser descurada, sob pena de eventuais avarias nos equipamentos traduzirem-se em grandes custos para a empresa seja nos danos irreversíveis provocados aos equipamentos por falta de manutenção preventiva, seja pela falha nas entregas das encomendas a clientes devido a estas avarias inesperadas.

O SEGIN encontra-se a par com as empresas concorrentes no que às soluções para a gestão da manutenção diz respeito. Apresenta um módulo inteiramente dedicado à área da manutenção onde podem ser criados objetos de manutenção, isto é, qualquer equipamento, infraestrutura, instalação etc sobre o qual são exercidas ações de manutenção. Após a criação destes objetos de manutenção, podem ser especificadas as tarefas/instruções/operações necessárias à manutenção de cada objeto.

Existe ainda a possibilidade de criar ordens de manutenção corretivas (ordens criadas após avaria de um equipamento com objetivo de resolver a avaria e repor o normal estado do equipamento).

Por fim, o SEGIN permite planear ordens de manutenção para cada objeto de manutenção para um determinado espaço temporal com base numa frequência constante definida para a manutenção preventiva de cada objeto de manutenção.

Exemplificando, podemos definir que o torno A deve ser alvo de manutenção de 20 em 20 dias. O SEGIN, ao fazer o planeamento no primeiro dia do ano para os próximos 3 meses irá lançar 4 ordens

de manutenção nos dias 20 de janeiro, 9 de fevereiro, 29 de fevereiro e 20 de março (de 20 em 20 dias). Esta solução enquadra-se naquilo que se denomina por manutenção preventiva.

Embora esta solução já se traduza num bom auxílio ao planeamento da manutenção apresenta uma oportunidade de melhoria: não considera a existência de padrões de falha não constantes para os equipamentos. Em ambiente industrial, as folhas de manutenção de qualquer equipamento indicam que a probabilidade de avaria de um equipamento varia conforme o tempo/utilização, pelo que a frequência da manutenção deve ser ajustada a esta variação algo que o SEGIN neste momento não faz.

Destaca-se ainda a ausência de qualquer processo de manutenção preditiva. Efetivamente, a manutenção preventiva considerando padrões de falha constantes é o limite do SEGIN no que diz respeito à manutenção não corretiva. Esta situação torna-se ainda mais premente quando temos em consideração que cada vez mais a informação passada dos objetos de manutenção permite prever comportamentos futuros destes objetos e evitar grandes prejuízos.

Realçar ainda uma última limitação do módulo atual de manutenção do SEGIN, a de não possuir nenhum layout/relatório/ficha que facilite a operacionalização/comunicação do plano de manutenção em chão de fábrica. Neste momento o resultado do planeamento da manutenção fica registado no SEGIN, contudo, não existe nenhuma opção de impressão de forma a extrair e comunicar este plano de manutenção de forma eficiente. Deixar este processo de comunicação meramente ao utilizador requer um trabalho extra significativo a extrair e tratar a informação do SEGIN para além de propiciar erros humanos nestes dois processos feitos pelo utilizador.

Assim sendo, podemos ver esquematizadas as funcionalidades da solução atualmente oferecida pelo SEGIN nos principais componentes de manutenção de equipamentos na Figura 12.

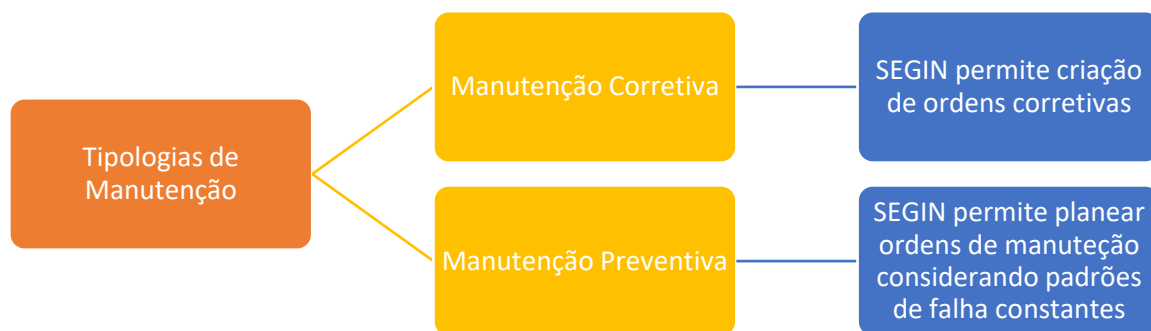


Figura 12 - Funcionalidades SEGIN antes de melhoria por tipologia de manutenção

Visto que a maioria das empresas concorrentes do setor dos ERP's também não apresentam soluções que tenham em conta estes padrões de falha variáveis, nem apresentam soluções com algoritmos que englobem a manutenção preditiva, estamos perante uma oportunidade de melhoria que se pode traduzir num ganho de vantagem competitiva face aos concorrentes da SEGIN.

### 3.3. Propostas de resolução e de melhoria dos processos

Apresentados os problemas e identificadas as oportunidades de melhoria na secção anterior, esta secção que se segue, apresenta soluções para estes pontos abordados anteriormente, com o cuidado de detalhar o processo de integração das soluções no ERP SEGIN e o processo de operacionalização das soluções em clientes da SEGIN.

#### 3.3.1. Escalonador de Produção

Passo agora a apresentar em detalhe a solução que desenvolvi para o escalonador da SEGIN. Doravante, escalonador será a designação utilizada para referir a esta solução de escalonamento criada. Esta designação foi primeiramente utilizada pela direção da SEGIN quando me propuseram este projeto no âmbito desta dissertação e teve seguimento quer para a área comercial quer para os clientes da SEGIN.

O facto de a empresa SEGIN ser uma empresa B2B, mais concretamente, produzir soluções integradas no ERP SEGIN para dezenas de outras empresas diferentes entre si, provenientes de áreas da indústria muito diversas e formas de trabalhar muito especializadas constitui um aspeto absolutamente crucial aquando do desenvolvimento de uma qualquer solução, nomeadamente, um escalonador de produção.

Se compararmos, por exemplo, com uma empresa produtora de calçado – Empresa CALÇADOS SA (empresa fictícia para servir de termo de comparação) - os desafios/características que o escalonador teria de apresentar seriam bem diferentes das que a SEGIN teve de seguir no desenvolvimento desta solução de escalonamento da produção.

A Tabela 7 mostra os pontos tidos em consideração no desenvolvimento do escalonador para a SEGIN (empresa que venderá o escalonador a dezenas de empresas diferentes) e compara com a empresa CALÇADOS SA (empresa onde o escalonador será utilizado). É utilizada uma escala de 1 a 5 onde 1 significa muito baixo e 5 muito alto.

Tabela 7 – Comparação das características presentes no desenvolvimento de uma solução de escalonamento entre a SEGIN e CALÇADOS SA

Característica	SEGIN	CALÇADOS SA
Flexibilidade	5	1
Capacidade de customização	4	1
Funcionalidade	5	4
Robustez	4	4
Integração de informação	5	2

Das 4 características que tiveram uma avaliação de 5, destaco a flexibilidade e a integração da informação por serem absolutamente cruciais para o sucesso da solução criada. De uma forma objetiva, se o escalonador desenvolvido pela SEGIN não fosse flexível ao ponto de permitir adaptar à realidade, necessidade e preferência de cada cliente e/ou se não permitisse manter o fluxo de informação com os restantes módulos do SEGIN, então não teria validade absolutamente nenhuma e representaria apenas custos para a SEGIN.

O escalonador encontra-se dividido em 4 fases distintas:

1. Seleção de ordens de fabrico que serão alvo de escalonamento
2. Cálculo do escalonamento com recurso a regras de despacho
3. Ajuste resultado consoante parâmetros definidos pelo cliente/utilizador
4. Operacionalização do escalonamento obtido em chão de fábrica

#### **3.3.1.1. Seleção de ordens de fabrico que serão alvo de escalonamento**

A solução do escalonamento procurou aproveitar o já existente ecrã das ordens de fabrico, onde o utilizador já tem várias opções de filtro de forma a seleccionar as ordens que deseja sequenciar com base na solução do escalonamento SEGIN. Assim sendo, basta aproveitar a já existente opção de extração da tabela SEGIN das ordens de fabrico para a folha de Excel onde vigora a solução de escalonamento efetiva. Nesta folha inicial existe um botão que permite a conversão dos dados resultantes da consulta de ordens de fabrico em dados já organizados para aplicação das técnicas de escalonamento da produção.

#### **3.3.1.2. Cálculo do escalonamento com recurso a regras de despacho**

É a partir desta fase que o utilizador passa a ter contacto com a solução desenvolvida especialmente para resolver o problema do escalonamento.


Neste momento o cálculo é feito através de uma folha de cálculo Excel interligada com o software SEGIN. Optou-se por este caminho, visto que, programar diretamente a solução nos ecrãs do SEGIN seria bastante complexo, não tanto em termos de algoritmo de programação, mas sim em termos de apresentação visual de ecrãs do processo de escalonamento.

Assim a estratégia acordada entre mim e a SEGIN foi a de solidificar e validar em clientes uma solução que trabalhasse os cálculos fundamentais externamente ao SEGIN (solução que desta forma apresentaria baixos custos de implementação devido a não ser necessário recorrer a nenhum programador) e só depois de estar devidamente validada, consolidada e, acima de tudo, adquirida por pelo menos um cliente da SEGIN incorporar a 100% a solução no SEGIN.

A Figura 13 representa o primeiro ecrã a que o utilizador tem acesso ao entrar no escalonador. São aqui representadas as seguintes informações com as quais já conseguimos avançar com o escalonamento:

- Ordens de fabrico (OF) a serem alvo de escalonamento
- Máquinas / Postos de trabalho onde serão efetuadas as operações
- Tempo de processamento por cada par Máquina – OF
- Prazo de entrega por cada OF
- Sequencia de fabrico de cada OF

Máquina/Ordem de Fabrico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M1	38	15	0	0	82	0	97	94	98	67
M2	6	89	38	0	0	0	12	0	97	94
M3	0	78	0	0	42	0	46	19	74	70
M4	48	19	62	0	12	15	0	0	0	0
M5	14	92	25	0	0	4	26	57	97	65
M6	53	37	27	0	0	91	73	91	25	56
M7	22	52	70	0	0	0	44	11	72	0
M8	76	96	80	0	42	0	99	7	73	0
M9	49	92	59	0	0	8	22	53	58	0
M10	55	83	91	5	2	0	73	68	63	0
M11	2	24	9	0	44	67	81	27	37	44
M12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M13	36	40	41	0	52	60	42	19	69	20
M14	49	50	17	0	0	13	48	41	13	87
M15	92	30	17	0	69	73	74	59	59	4
Prazo de Entrega	735	1900	1450	650	870	5550	1540	2020	900	1760



Solução de Escalonamento de Produção

INICIAR ESCALONADOR

Figura 13 – Ecrã inicial do escalonador

Após clicar no botão “INICIAR ESCALONADOR” será pedido ao utilizador para preencher dois campos:

- Identificação do escalonamento: Campo destinado a identificar unicamente com um descritivo este escalonamento da produção. Tem sido proposto seguir a seguinte lógica para identificar facilmente a que escalonamento diz respeito determinado descritivo

**Escalonamento\_[data atual]\_v[número de escalonamento efetuados neste dia]**

- Colaborador: Destinado a preencher com o nome do colaborador que está a calcular este escalonamento (ver Figura 14).


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38	15	0							
6	89	38							
0	78	0							
48	19	62							
14	92	25							
53	37	27							
22	52	70							
76	96	80							
49	92	59							
55	83	91							
2	24	9							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	40	41	0	52	60	42	19	69	20
49	50	17	0	0	13	48	41	13	87
92	30	17	0	69	73	74	59	59	4
735	1900	1450	650	870	5550	1540	2020	900	1760

Preencha os seguintes campos

IDENTIFICAÇÃO ESCALONAMENTO:

COLABORADOR:

AVANÇAR



Solução de Escalonamento de Produção

INICIAR ESCALONADOR

Figura 14 – Janela de identificação do escalonamento e do colaborador

Clicando em avançar, o utilizador vê-se deparado com o seguinte ecrã (ver Figura 15).

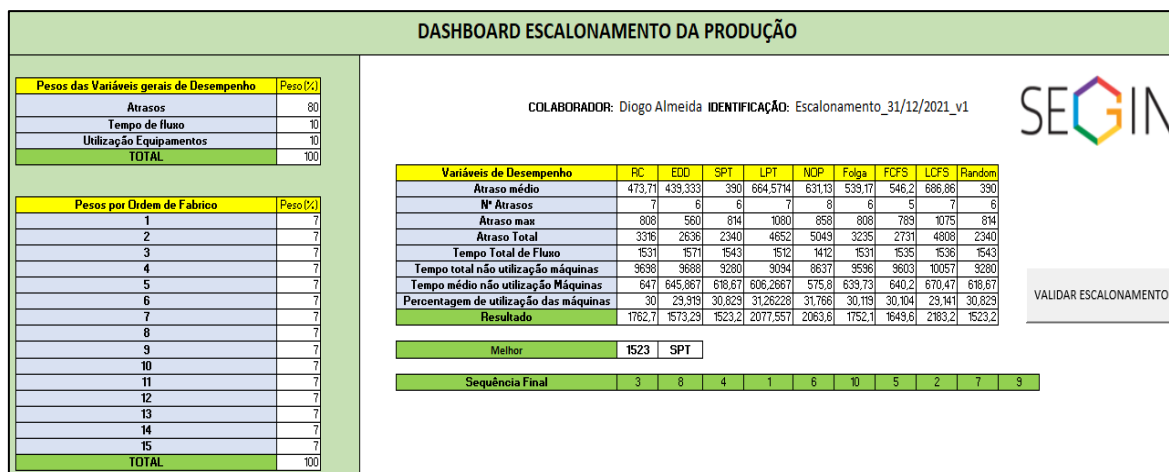


Figura 15 - Ecrã final de ajuste e validação do escalonamento

Este ecrã já é resultado de um grande número de cálculos feitos em *back-end* e que passo agora a detalhar.

O cálculo do escalonamento é feito com base em 9 regras de despacho já abordadas na revisão bibliográfica. A Tabela 8 detalha as 9 regras e a sua lógica de aplicação.

Tabela 8 - Regras de despacho utilizadas e respetiva lógica

<b>Rácio Crítico</b>	Ordenar de forma crescente pelo quociente da subtração da data corrente à data entrega pelo tempo de processamento por realizar
<b>EDD</b>	Ordenar de forma crescente as datas de entrega
<b>SPT</b>	Ordenar de forma crescente os tempos de processamento
<b>LPT</b>	Ordenar de forma decrescente os tempos de processamento
<b>NOP</b>	Ordenar de forma decrescente o número de operações por realizar
<b>Folga</b>	Ordenar de forma crescente a folga entre o tempo de processamento total e a data de entrega
<b>FCFS</b>	A primeira tarefa a chegar é a primeira na sequência
<b>LCFS</b>	A última tarefa a chegar é a primeira na sequência
<b>Random</b>	Ordenar de forma aleatória

Embora o utilizador não tenha acesso quando segue o fluxo normal previsto para esta solução, cada uma destas regras tem uma folha dedicada ao cálculo da sequência gerada por cada regra. Em cada folha, para além do cálculo desta sequência é ainda calculado o makespan e é avaliada a solução segundo 8 critérios de avaliação de desempenho distintos que foram abordados na revisão bibliográfica. A Figura 16 indica estes 8 critérios e os resultados retirados de um processo de escalonamento em concreto.

Atraso médio	539
Nº Atrasos	6
Atraso max	808
Atraso Total	3235
Tempo Total de Fluxo	1531
Tempo total não utilização máquinas	9596
Tempo médio não utilização Máquinas	640
Percentagem de utilização das máquinas	30

Figura 16 - Critérios de avaliação de desempenho num caso real de escalonamento

O cálculo das componentes de atraso é feito considerando a data em que cada ordem de fabrico está concluída e a data de entrega prevista. De realçar que quer o atraso médio quer o atraso total só considera ordens com atrasos positivos.

O tempo total de fluxo equivale ao *makespan* da solução e representa a data em que todas as tarefas ficam concluídas.

Por fim, as componentes relativas aos tempos de utilização/não utilização de equipamentos foram calculadas da seguinte forma:

Tempo de não utilização da máquina x = Tempo de processamento nas máquinas anteriores à máquina x para a primeira ordem de fabrico + tempo de espera da máquina x para que o processamento na máquina x-1 para a mesma OF fique concluído.

### 3.3.1.3. Ajuste resultado consoante parâmetros definidos pelo cliente

Este é precisamente um dos pontos onde foi introduzida flexibilidade à solução criada. Tendo em conta que a SEGIN tem dezenas de clientes, é normal, por exemplo, o cliente A valorizar soluções com baixo número de atrasos (por exemplo se os seus clientes estiverem numa posição de poder sobre a empresa A) enquanto o cliente B valorizar soluções com grande percentagem de utilização de equipamentos (por exemplo para aproveitar ao máximo eventuais investimentos dispendiosos em equipamento industrial).

Assim sendo, e voltando agora ao ecrã final do escalonamento (ver Figura 15), desenvolvi um sistema de ponderação de cada uma destas 3 componentes de avaliação tal como podemos ver na Figura 17.

<b>Pesos das Variáveis gerais de Desempenho</b>	<b>Peso (%)</b>
<b>Atrasos</b>	33,33
<b>Tempo de fluxo</b>	33,33
<b>Utilização Equipamentos</b>	33,33
<b>TOTAL</b>	100

Figura 17 - Ponderações variáveis gerais de desempenho

Neste ecrã o utilizador pode definir a percentagem que quer atribuir a cada componente vendo imediatamente repercutida essas percentagens no resultado de cada regra.

De forma a reduzir o tempo deste fluxo, existe ainda a possibilidade de definir percentagens por defeito cada vez que se faz um escalonamento. A solução de fabricante apresenta por defeito uma igualdade de percentagem para as 3 componentes, ou seja, 33,33%.

Existe ainda a possibilidade de influenciar o resultado de cada regra aplicada segundo ponderação detalhada de cada um dos 8 critérios de desempenho (ver Figura 18).

<b>Pesos das Variáveis Detalhadas de Desempenho</b>	<b>Peso(%)</b>
Atraso médio	12,5
Nº Atrasos	12,5
Atraso max	12,5
Atraso Total	12,5
Tempo Total de Fluxo	12,5
Tempo total não utilização máquinas	12,5
Tempo médio não utilização Máquinas	12,5
Percentagem de utilização das máquinas	12,5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Figura 18 - Ponderações variáveis detalhadas de desempenho

Esta opção é uma extensão da primeira opção apresentada (que agrupa estes 8 critérios em 3 critérios gerais) e apresenta obviamente um maior detalhe e precisão de escolha para obter soluções que satisfaçam o mais possível as especificidades e pretensões de cada cliente.

Para além destas duas opções, na Figura 19, apresento ainda uma terceira que em vez de permitir priorizar a importância de determinados critérios de desempenho, permite priorizar determinadas ordens de fabrico em detrimento de outras.

<b>Pesos por Ordem de Fabrico</b>	<b>Peso(%)</b>
1	7
2	7
3	7
4	7
5	7
6	7
7	7
8	7
9	7
10	7
11	7
12	7
13	7
14	7
15	7
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Figura 19 - Pesos por ordens de fabrico

Durante a validação e apresentação desta solução que temos realizado junto de potenciais clientes para esta solução de escalonamento, o feedback indicado uma clara preferência pela primeira opção, mais concretamente, valorizar a importância da redução dos atrasos em comparação com as componentes de utilização de equipamentos e tempos totais de fluxo.

Ajustados os parâmetros de priorização de critérios aos resultados para cada regra de despacho temos assim o ecrã (ver Figura 20) que apresenta os resultados para cada regra (já ponderados pelos critérios de desempenho), selecionando aquele com menor resultado que traduz a melhor solução para o problema de escalonamento considerado.

Variáveis de Desempenho	RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	
Atraso médio	448,43	440,5	447,67	628,75	560,17	511,67	535,2	724,5	491,2	
Nº Atrasos	7	6	6	8	6	6	5	6	5	
Atraso max	723	560	858	1089	722	723	776	1043	883	
Atraso Total	3139	2643	2686	5030	3361	3070	2676	4347	2456	
Tempo Total de Fluxo	1519	1604	1524	1525	1403	1519	1449	1517	1497	
Tempo total não utilização máquinas	3288	10184	9966	9385	8328	9260	9127	10005	9514	
Tempo médio não utilização Máquinas	619	678,333	664,4	625,6667	555,2	617,33	608,47	667	634,27	
Percentagem de utilização das máquinas	29	26,6758	27,409	28,62032	30,554	28,577	28,873	27,024	28,028	
Resultado	3064,6	3249,81	3200,4	3292,725	2825,7	3057,3	2975,9	3384,3	3070,7	
Sequência Final	5	8	2	4	1	9	3	7	10	6

Melhor: 2826 NOP

VALIDAR ESCALONAMENTO

Figura 20 - Resultados de cada regra já com priorização incorporada / Sequência final para o problema de escalonamento

### 3.3.1.4. Operacionalização do escalonamento obtido em chão de fábrica

Esta última fase do escalonamento é a fase onde se efetiva a sequência obtida através do escalonador já após os eventuais ajustes feito pelo utilizador que executa o escalonamento.

Nesta fase, a informação já está totalmente carregada e interligada no SEGIN, todavia, dada a especificidade, exigência e eficiência que as ações de chão de fábrica exigem, decidi recorrer a um software sobre o qual a SEGIN possui licença, *Crystal Reports*, para criar um relatório para ser enviado/impresso pelo gestor da produção (ou utilizador que executou o escalonamento) aos colaboradores do chão de fábrica de forma a saberem rapidamente a sequência das ordens a seguir (com base no resultado do escalonamento).

Para imprimir este relatório, o utilizador apenas necessita de clicar no texto “IMPRIMIR” que está na coluna “Imprimir Escalonamento” da consulta das ordens de fabrico (ver Figura 21). O que o programa faz em *back-end* é verificar qual a identificação do escalonamento para a ordem que o utilizador decidiu imprimir e chamar a impressão do relatório para esse mesmo escalonamento.

Figura 21 - Ecrã para impressão do relatório de escalonamento

Passo a apresentar, na Figura 22, um exemplo concreto de um relatório de escalonamento após executadas todas as fases do escalonamento. Este relatório é já resultado de um caso real da utilização e validação do escalonador SEGIN num dos clientes onde está a ser validada esta solução.


Escalonamento da Produção		
		
Colaborador: Filipe Identificação Escalonamento: Escalonador 26/08/2020		
<b>1 - OBRA-191402</b>		
<b>Operação</b>	<b>Posto de Trabalho</b>	<b>Observações</b>
10 - Corte Punç.e Quinagem	101 Corte, Punc. e Quinagem	
15 - Quinagem	101 Quinagem	
20 - cortar placas lâ rocha	101 Corte Material Enchimento	
30 - Soldar assemblagem folha	101 Assembla. Soldadura Folha	
40 - montagem sist.C.Fechadura	101 Montagem Acessorios	
<b>2 - OBRA-191394</b>		
<b>Operação</b>	<b>Posto de Trabalho</b>	<b>Observações</b>
10 - Corte Punçonagem	101 Corte, Punc. e Quinagem	
15 - Quinagem	101 Quinagem	
20 - Soldar componentes aro	101 Soldadura Componentes Aro	
30 - Soldar assemblagem aro	101 Assemblagem Soldadura Aro	
<b>3 - OBRA-191400</b>		
<b>Operação</b>	<b>Posto de Trabalho</b>	<b>Observações</b>
10 - Corte Punç.e Quinagem	101 Corte, Punc. e Quinagem	
15 - Quinagem	101 Quinagem	
20 - cortar placas lâ rocha	101 Corte Material Enchimento	
30 - Soldar assemblagem folha	101 Assembla. Soldadura Folha	
40 - montagem sist.C.Fechadura	101 Montagem Acessorios	
<b>4 - OBRA-191386</b>		
<b>Operação</b>	<b>Posto de Trabalho</b>	<b>Observações</b>
010 - soldadura	101 Assembla. Soldadura Folha	

Figura 22 - Relatório escalonamento (Opção A)

Este caso concreto representa o output final de um fluxo completo feito com o escalonador desenvolvido. Podemos ver no relatório que as 4 ordens que foram alvo de escalonamento encontram-se ordenadas já pela sequência resultante do escalonador respeitando a sua gama operatória. Este exemplo apresentado é um caso de 4 trabalhos (4 OF) em 7 máquinas (7 postos de trabalho). A sequência de ordens para este caso concreto foi a seguinte:

1. OBRA.191402;
2. OBRA.191394;
3. OBRA.191400;
4. OBRA.191386.

A operacionalização e demonstração deste novo layout num dos clientes da SEGIN levantou uma oportunidade de melhoria/versão alternativa muito interessante para este relatório. Efetivamente um dos objetivos da gestão da produção é o agrupamento de ordens cuja sequência produtiva passe nos mesmos postos de trabalho com vista à redução dos tempos de *setup*.

O layout anterior, da forma que apresenta os resultados (ordem crescente de execução das ordens) não permite verificar de forma instantânea, quais as ordens de produção que apresentam postos de trabalho comuns na sua sequência de fabrico e que por isso estão suscetíveis de serem produzidas com o mínimo de mudanças de *setup* possíveis. Assim sendo, desenvolvi uma opção alternativa para este layout/relatório que apresenta na mesma a sequência de produção das ordens de fabrico oriunda do escalonador SEGIN, mas que tem como característica especial o facto de agrupar esta informação por cada posto de trabalho. Esta alternativa ao relatório apresentado na Figura 22 pode ser visualizada na Figura 23.

Em suma, o relatório A apresenta os resultados na lógica: primeiro a OF 1 (constituída pelas operações nos postos de trabalho A, B, C, etc.) depois a OF 2 (constituída pelas operações nos postos de trabalho A, B, C, etc.), etc. Já o relatório B apresenta os resultados na lógica: No posto de trabalho A, produzir primeiro a OF 1, depois a OF 2, etc., no posto de trabalho B, produzir primeiro a OF 2, depois a OF 1, etc.


Escalonamento da Produção		
		
<b>Colaborador:</b> Filipe <b>Identificação Escalonamento:</b> Escalonador 26/08/2020		
Posto de Trabalho: 101 Assembla. Soldadura Folha		
Ordem	Operação	Observações
OBRA-191402	30 - Soldar assemblagem folha	
OBRA-191400	30 - Soldar assemblagem folha	
OBRA-191386	010 - soldadura	
Posto de Trabalho: 101 Assemblagem Soldadura Aro		
Ordem	Operação	Observações
OBRA-191394	30 - Soldar assemblagem aro	
Posto de Trabalho: 101 Corte Material Enchimento		
Ordem	Operação	Observações
OBRA-191402	20 - cortar placas lâ rocha	
OBRA-191400	20 - cortar placas lâ rocha	
Posto de Trabalho: 101 Corte, Punc. e Quinagem		
Ordem	Operação	Observações
OBRA-191402	10 - Corte Punç.e Quinagem	
OBRA-191394	10 - Corte Punçonagem	
OBRA-191400	10 - Corte Punç.e Quinagem	
Posto de Trabalho: 101 Montagem Acessorios		
Ordem	Operação	Observações
OBRA-191402	40 - montagem sist.C.Fechadura	
OBRA-191400	40 - montagem sist.C.Fechadura	

Figura 23 - Relatório escalonamento (Opção B)

### 3.3.1.5. Integridade, mapeamento e passagem da informação do escalonador para o SEGIN

Um dos pontos fulcrais desta fase é a passagem da informação gerada pelo escalonador em excel para o software SEGIN e a sua integridade entre as várias tabelas de forma a que a nova informação não provoque erro quando integrada com a informação e funcionalidades já existentes.

Assim sendo, na Figura 24, está esquematizado o tratamento dado à informação resultante do escalonador para interligar com o SEGIN maximizando o potencial das funcionalidades já existentes.

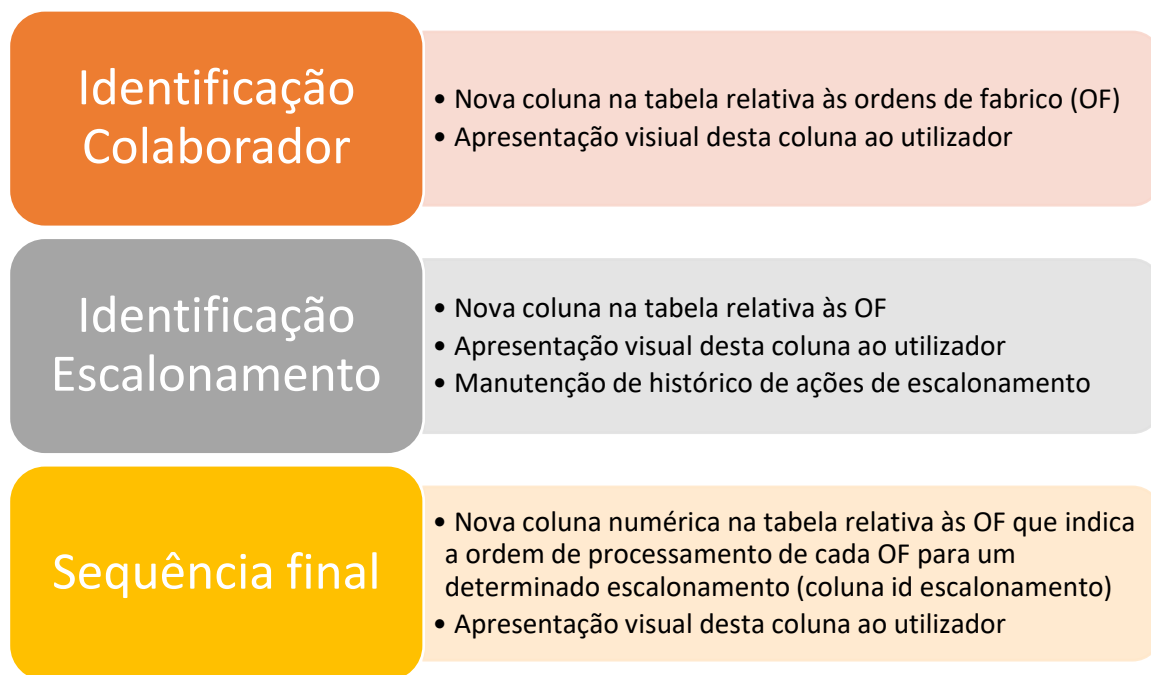


Figura 24 - Tratamento e interligação da informação do escalonador excel para o SEGIN

Para além destes pontos realço ainda a criação de um novo campo denominado por “escalonamento” por cada OF do tipo SIM/NÃO (S/N) que indica se uma determinada ordem de fabrico já sofreu ação de escalonamento ou não. Este ponto constitui uma ajuda significativa para o utilizador para o fase 1 deste escalonador, isto é, dada a capacidade que o SEGIN apresenta de filtrar a informação em cada consulta por determinado campo da base de dados, o utilizador, na seleção de ordens a escalonar (fase 1) pode filtrar os registos de forma a mostrar apenas OF que não foram ainda escalonadas (OF cujo campo “escalonamento” seja igual a “N”).

Por fim, em relação à interligação da informação, realço ainda a criação de uma nova consulta que guarda todo o histórico de escalonamentos executados, com destaque para a memorização do ganho obtido para esta ação de escalonamento quando comparado com o processo antigo que cada cliente utilizava). Esta manutenção de histórico com armazenamento de ganhos constituirá um aliado poderoso não só para demonstrar ao cliente, com informação factual e verídica, os resultados do seu investimento no escalonador, mas também para servir como argumento de marketing na procura de novos clientes, através da apresentação dos resultados positivos que a solução que está a ser vendida obteve noutros clientes.

### 3.3.1.6. Resolução do mesmo problema com recurso à meta-heurística Simulated Annealing

A solução apresentada até agora foi idealizada com vista a responder as necessidades diretas dos clientes principalmente no que diz respeito aos requisitos exigentes de funcionalidade e flexibilidade.

A pesquisa bibliográfica feita *a priori* revelou que a utilização de regras de despacho para esta problemática apresentava um grande equilíbrio entre qualidade de solução e funcionalidade (tempo computacional até obter solução).

Uma das técnicas concorrentes que também foi considerada aquando da idealização do escalonador foi a meta heurística simulated annealing.

Considerando que seria de grande valor científico comparar o desempenho destes dois tipos de técnicas desenvolvi, a par com a solução apresentada anteriormente, uma ferramenta que recorre ao algoritmo do simulated annealing para calcular uma solução.

Tal como podemos ver na Figura 25, o recurso a 8 critérios de avaliação de desempenho distintos e a possibilidade de priorizar determinados critérios são funcionalidades que transitam do escalonador criado para a SEGIN. Esta igualdade de condições é positiva sobretudo para a comparação de desempenho entre as duas técnicas que será feita na secção dedicado à avaliação de resultados do escalonador.

Tarefa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M1	38	15	0	36	82	0	37	94	38	0
M2	6	89	38	85	34	0	12	0	37	0
M3	100	78	0	43	42	48	46	33	74	0
M4	32	30	17	5	69	73	74	0	59	0
M5	0	78	0	6	42	6	46	19	74	0
M6	32	30	17	5	69	73	74	59	59	0
M7	38	15	5	36	82	0	37	94	38	0
M8	6	89	7	85	5	66	12	0	37	0
M9	0	78	0	43	42	48	46	19	74	70
M10	32	30	17	5	69	73	74	59	59	4
M11	0	78	0	43	42	32	30	17	5	70
M12	32	30	17	5	69	0	78	0	43	4
M13	0	78	0	4	42	48	46	19	74	70
M14	32	30	17	69	69	73	74	3	59	6
M15	0	78	0	43	42	48	46	19	59	4
Prazo de Entrega	735	460	1450	650	345	5350	1540	432	300	1760
Tempo Processamento	648	826	135	513	800	648	852	435	1023	228

Parâmetros	
Iterações sem melhoria	100
Temperatura de Paragem	1
Ln	3
Nº Iterações	500
Temperatura Inicial	100
Alpha	0,98
Beta	1
Método de Arrefecimento	Linear
Critério de Paragem	Nº Iterações Total

Controlo de Parâmetros	
Nº Iterações Atual	500
Temperatura Atual	27
Iterações Temperatura Igual	2
Nº Iterações sem Melhoria	6

Solução atual/final	4	3	8	2	1	5	6	3	10	7	1485
Solução Candidata	4	5	8	2	1	3	6	3	10	7	1540

Atraso	-137	503	435	608	347	-351	-4330	538	-320	61
Atraso médio	415									
Nº Atrasos	6									
Atraso max	608									
Atraso Total	2430									
Tempo Total de Fluxo	1601									
Tempo total não utilização máquinas	10233									
Tempo médio não utilização Máquinas	682									
Porcentagem de utilização das máquinas	27									

Pesos das Variáveis gerais de Desempenho		Peso (%)
Atrasos		80
Tempo de fluxo		10
Utilização Equipamentos		10
TOTAL		100

Resultado considerando parametros	1590,7
-----------------------------------	--------

Figura 25 - Ecrã de aplicação meta heurística simulated annealing

Realço a incorporação de uma estratégia que está interligada com a lógica de apresentar o resultado de uma determinada técnica segundo determinados critérios de avaliação com ponderações. O algoritmo clássico do simulated annealing para um problema de escalonamento da produção aceita todas as soluções com makespan melhor que a solução atual e aceita, com uma determinada probabilidade, soluções com makespan pior. Ora tendo em conta que o nosso resultado para uma determinada sequência não está unicamente dependente do makespan resultante dessa sequência, mas sim da avaliação ponderada de 3 critérios gerais de desempenho, então, é de todo o sentido ser este mesmo resultado ponderando dos critérios de avaliação a ser considerado como variável de comparação no simulated annealing ao invés do makespan.

A ferramenta desenvolvida tem como método de arrefecimento o método linear e como critério de paragem o número de iterações total. O ecrã representado na Figura 26 é parametrizável, isto é, antes de correr a meta heurística é possível alterar os valores para os parâmetros.

É ainda apresentado um ecrã de controlo de parâmetros (ver Figura 26) especialmente idealizado para o utilizador acompanhar a evolução da meta heurística. A necessidade deste ecrã, tendo em conta que a obtenção de uma solução não é imediata, é um indicador de que esta técnica, olhando

exclusivamente para o tempo de espera até obtenção da solução, em termos funcionais não acompanha a solução idealizada para a SEGIN com recurso a regras de despacho.

Parâmetros	
Iterações sem melhoria	100
Temperatura de Paragem	1
Ln	3
Nº iterações	500
Temperatura Inicial	100
Alpha	0,98
Beta	1
<b>Método de Arrefecimento</b>	Linear
<b>Critério de Paragem</b>	Nº Iterações Total

Controlo de Parâmetros	
Nº Iterações Atual	<b>500</b>
Temperatura Atual	27
Iterações Temperatura Igual	2
Nº Iterações sem Melhoria	6

Figura 26 - Parâmetros e respetivo controlo do simulated annealing

### 3.3.2. Consultas de Tratamento e Análise de Não conformidades

Em relação a esta oportunidade de melhoria, a solução que criei tinha como principal objetivo tratar a informação grosseira apresentada anteriormente no SEGIN de forma a gerar inputs valiosos e eficazes à gestão da qualidade que outrora não eram possíveis de extrair com base na informação apresentada.

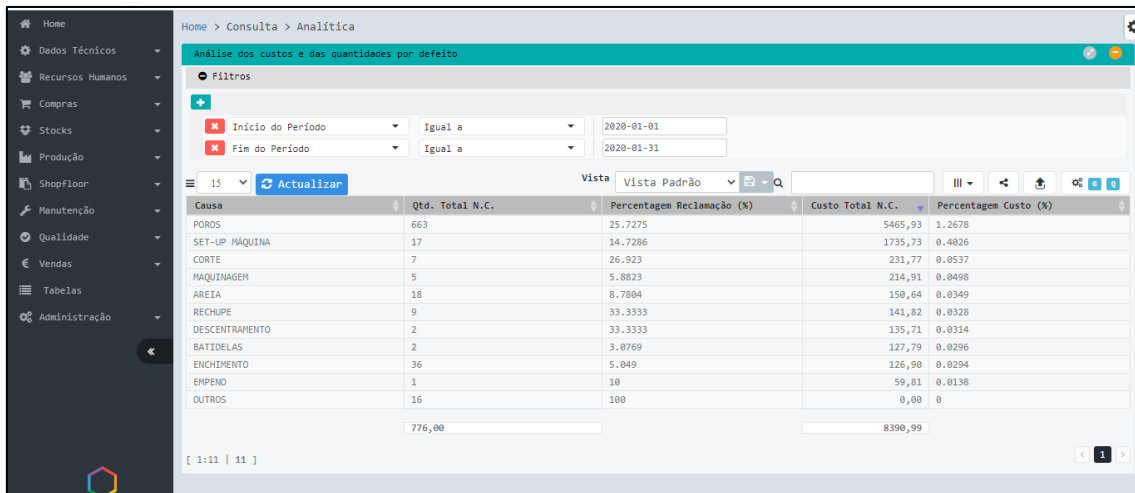
Recorri à linguagem de programação SQL de forma a criar tabelas com a informação pretendida. Este trabalho de agrupamento, seleção, interligação e alocação de informação foi um dos principais desafios desta oportunidade de melhoria.

A solução que idealizei para o SEGIN (e que já está totalmente operacional e funcional em alguns dos clientes da SEGIN) passa por um menu dentro do módulo de Qualidade, denominado por consultas que apresenta no seu interior 3 grandes tabelas com informação relativas às não conformidades.

De destacar que para além do tratamento à informação de NCs registadas pelos operadores implementei o processo de custeio desta NCs, custeio este que constitui um fator crucial na tomada de decisão pós análise de NCs.

Apresento em detalhe, na Figura 27, um exemplo de utilização para cada uma destas 3 tabelas e a respetiva explicação.

### 3.3.2.1. Análise dos custos e das quantidades por defeito



Causa	Qtd. Total N.C.	Porcentagem Reclamação (%)	Custo Total N.C.	Porcentagem Custo (%)
POROS	663	25.7275	5465,93	1.2678
SET-UP MÁQUINA	17	14.7286	1735,73	0.4826
CORTE	7	26.923	231,77	0.0537
MAQUINAGEM	5	5.8823	214,91	0.0498
AREIA	18	8.7804	150,64	0.0349
RECHUPE	9	33.3333	141,82	0.0328
DESCENTRAMENTO	2	33.3333	135,71	0.0314
BATIDELAS	2	3.0769	127,79	0.0286
ENCHIMENTO	36	5.049	126,90	0.0294
EMPENHO	1	10	59,81	0.0138
OUTROS	16	100	0,00	0
	776,00		8390,99	

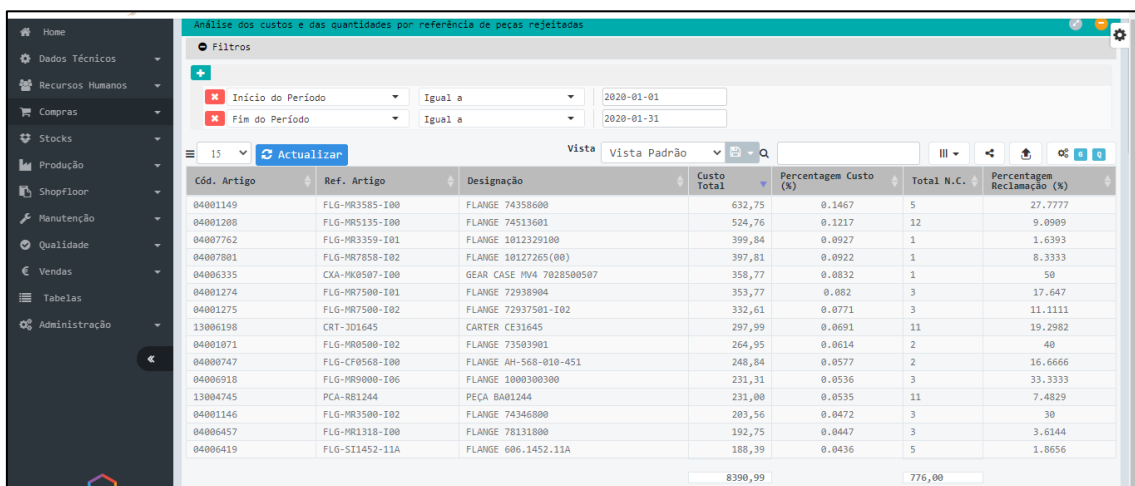
Figura 27 – Ecrã análise dos custos e das quantidades por defeito

Nesta consulta o objetivo é agrupar as não conformidades (NC) por causa do defeito. No exemplo acima, filtrando apenas as NC relativas ao mês de janeiro de 2020, vemos que os “Poros” são a causa que representam um custo para a empresa maior (5465,93 euros).

Assim sendo, a gestão da qualidade, ao ver esta informação chegaria à conclusão que os poros representam mais de 60% dos custos com NC pelo que seria aconselhável aplicar, por exemplo, um diagrama de espinha de peixe de forma a chegar às causas desta NC e encontrar soluções de forma a reduzir os custos.

### 3.3.2.2. Análise dos custos e das quantidades por referência (código de artigo)

A próxima consulta, representada na Figura 28, apresenta a mesma lógica agrupadora de NC, contudo, ao invés de agrupar por tipologia de defeito, agrupa por referência de peça, isto é, para cada artigo produzido aglomera toda a informação relativa às NC.



Cód. Artigo	Ref. Artigo	Designação	Custo Total	Porcentagem Custo (%)	Total N.C.	Porcentagem Reclamação (%)
04001149	FLG-NR3585-100	FLANGE 74358600	632,75	0.1467	5	27.7777
04001208	FLG-NR5135-100	FLANGE 74513601	524,76	0.1217	12	9.0909
04007762	FLG-NR3359-101	FLANGE 1012320100	399,84	0.0927	1	1.6393
04007801	FLG-NR7858-102	FLANGE 10127265(00)	397,81	0.0922	1	8.3333
04006335	CXA-NR0507-100	GEAR CASE HV4 70128500507	358,77	0.0832	1	50
04001274	FLG-NR7500-101	FLANGE 72938904	353,77	0.082	3	17.647
04001275	FLG-NR7500-102	FLANGE 72937501-102	332,61	0.0771	3	11.1111
13006198	CRT-3D1645	CARTER CE31645	297,99	0.0691	11	19.2982
04001071	FLG-NR0500-102	FLANGE 73503901	264,95	0.0614	2	40
04000747	FLG-CF0568-100	FLANGE AH-568-010-451	248,84	0.0577	2	16.6666
04006918	FLG-NR0000-106	FLANGE 1000300300	231,31	0.0536	3	33.3333
13004745	PCA-BA01244	PEÇA BA01244	231,00	0.0535	11	7.4829
04001146	FLG-NR3500-102	FLANGE 74346000	203,56	0.0472	3	30
04006457	FLG-NR1318-100	FLANGE 78131800	192,75	0.0447	3	3.6144
04006419	FLG-SI1452-11A	FLANGE 606.1452.11A	180,39	0.0436	5	1.8656
			8390,99		776,00	

Figura 28 - Ecrã análise dos custos e das quantidades por referência (código de artigo)

Mais uma vez, uma ordenação decrescente pelo custo da NC pode fornecer informação valiosa ao processo de tomada de decisão. Neste caso concreto de um dos clientes da SEGIN que já utiliza

estas consultas, podemos verificar que o artigo que representa um maior custo apresenta, no período considerado, um custo para a empresa de 632,75€ e que este artigo apresenta uma percentagem de reclamação de 27,7%.

### 3.3.2.3. Análise detalhada de não conformidades

Por fim, esta última consulta representada na Figura 29, exibe um detalhe e uma complexidade maior que as duas anteriormente apresentadas não seguindo uma lógica agrupadora. Tal como podemos ver na Figura 29, as NC são enquadradas em variáveis como centro de operações onde foi registada, ordem de fabrico correspondente, operação, para que encomenda/cliente se destinava o artigo, colaborador que a registou, etc.

Algumas das colunas não estão visíveis na Figura 29, contudo para o leitor perceber a lógica seguida, está presente nesta consulta toda a informação que está ou que pode estar associada a uma NC. Foi realizado um trabalho específico de gestão de informação em bases de dados para recolher todas esta informação para tornar esta consulta o mais flexível e completa possível.

Tipo	Descrição N.C.	Encomenda	Nº Cliente	Nome Cliente	Cód. Artigo	Ref. Artigo	Desig. Artigo	Tipo Ordem	Nº Ordem	Nº Oper.	Cód. C.O.
I	Fabrico	135340	210908	LAPP INSULATORS GMBH	04001672	FLG-S10743A08.8100	FLANGE 112 778	OPDP	221507000	100	EMB
I	Fabrico	135116	210095	LAPP INSULATORS REDWITZ GMBH	04001413	FLG-S10006.11A	FLANGE 708.0006.11A(f)	OPDP	221491000	020	MAQ
I	Fabrico	135316	210261	REINHAUSEN POWER COMPOSITES GMBH	13000838	FLG-MR5137	FLANGE 74513700	QMRP	221460002	031	CRT
I	Fabrico	135316	210261	REINHAUSEN POWER COMPOSITES GMBH	04001239	FLG-MR5800-I01	FLANGE 73255900	OPDP	221455000	030	MAQ
I	Fabrico	135310	220667	ALU-LIVRY	13006635	PCA-AK4489	FLOM STRAIGHTENER Fundicão	QMRP	221447001	100	ACS
I	Fabrico	135310	220667	ALU-LIVRY	04006989	PCA-AK4489	FLOM STRAIGHTENER TR283/04 (Grande)	OPDP	221447000	010	MAQ
I	Fabrico	135313	210261	REINHAUSEN POWER COMPOSITES GMBH	04007256	FLG-MR4466-I04	FLANGE 1001695700(01)	OPDP	221433000	010	MAQ
I	Fabrico	135313	210261	REINHAUSEN POWER COMPOSITES GMBH	04007256	FLG-MR4466-I04	FLANGE 1001695700(01)	OPDP	221433000	100	EMB
I	Fabrico	135182	210724	TRENCH GERMANY GMBH	04007837	FLG-T84316-I01	FLANGE 224316	OPDP	221430000	020	MAQ
I	Fabrico	135292	210813	REINHAUSEN FRANCE SAS	04007762	FLG-MR3359-I01	FLANGE 1012329100	OPDP	221425000	015	MAQ
I	Fabrico	135309	210341	Siemens TRENCH SAS	04005907	TMP-TH2611 I00	TAMPA DOME VOT 3-10012611(00CA-IT)-(01FR)	OPDP	221386000	010	MAQ
I	Fabrico	135309	210341	Siemens TRENCH SAS	04005907	TMP-TH2611 I00	TAMPA DOME VOT 3-10012611(00CA-IT)-(01FR)	OPDP	221386000	010	MAQ
I	Fabrico	amostras	210341	Siemens TRENCH SAS	13005448	TMP-TH5379	CALOTE 4441 (5379/5862)	QMRP	221382002	090	ACS
I	Fabrico	135285	210065	METSO FRANCE SAS	04000561	CRT-MK0505-I00	CARTER HV3 7028500505	OPDP	221374000	010	MAQ
I	Fabrico	135101	210724	TRENCH GERMANY GMBH	04007802	FLG-T85159-I04	FLANGE 26515904	OPDP	221369000	040	MAQ

Figura 29 – Ecrã análise detalhada de não conformidades

O SEGIN já apresenta ferramentas de gestão de tabelas como agrupadores, somatórios e filtros pelo que esta informação complexa pode ser tratada rapidamente para obter as respostas pretendidas.

Tal como é possível ver, em todas as tabelas foram considerados custos de NC. O custeio de NC era algo que anteriormente não estava presente, contudo, dado a sua importância, faz todo o sentido estar presente e passar a ser um fator fulcral no processo de decisão.

Para a obtenção deste custeio existem três processos distintos que importou ter em conta:

- Clientes que consideram que o custo de uma não conformidade é calculado com base no custo standard do artigo/ componente

$$\text{Custo NC} = \text{custo standard do artigo} \times \text{N}^{\circ} \text{ de peças rejeitadas}$$

- Clientes que consideram a existência de reaproveitamento parcial de peças rejeitadas:

$$\text{Custo NC} = (1 - \% \text{ de aproveitamento da peça}/100) \times \text{custo standard do artigo}$$

- Cliente que consideram que o custo de uma não conformidade não deve ser calculado com base no custo do artigo, mas sim com base num custo padrão por tipo de artigo (caso específico de um cliente da SEGIN):

$$\text{Custo NC} = \text{custo padrão para o tipo de artigo da NC} \times \text{N}^{\circ} \text{ de peças rejeitadas}$$

### 3.3.3. Reformulação do processo de planeamento da manutenção

Anteriormente, na análise que se fez ao módulo da manutenção do ERP SEGIN atual apresentei um esquema que representava as funcionalidades/tipologias de manutenção atualmente existentes. A Figura 30 tem como objetivo, usando o mesmo esquema anterior, representar as novas funcionalidades/tipologias de manutenção que o SEGIN passa a ter após esta dissertação. Ao longo desta próxima secção irei abordar as melhorias implementadas.



Figura 30 – Módulo de manutenção SEGIN após soluções implementadas

#### 3.3.3.1. Centro de monitorização de equipamentos com base num sistema de indústria 4.0

A solução que passo agora a apresentar nesta e na próxima secção, tem como objetivo agregar 2 vetores fundamentais ao sucesso da SEGIN enquanto empresa: implementação de uma solução de manutenção preditiva como forma de ganhar vantagem competitiva face aos clientes e a utilização de um sistema com base na indústria 4.0 como forma de bandeira para as áreas comercial e do marketing de forma a evidenciar e comunicar a posição estratégica altamente inovadora e de vanguarda que a SEGIN passa a ocupar com esta nova funcionalidade.

A primeira fase da solução concebida para fazer face a estes objetivos passa pela criação de um centro de monitorização e controlo de equipamentos com base num sistema de indústria 4.0 mais concretamente na tecnologia internet of things (IOT). Esta solução visa aproveitar o aumento da utilização de aparelhos tecnológicos de medição de determinadas variáveis em máquinas, infraestruturas, etc. com ligação entre si trazido pela quarta grande revolução tecnológica.

Assim sendo criei um menu dentro do módulo de Manutenção designado por “Monitorização de Equipamentos” que apresenta uma listagem de todas as medições efetuadas pelos vários aparelhos de leitura para os vários equipamentos/máquinas/infraestruturas presentes em ambiente de fábrica. A consulta tem o seguinte aspeto representado na Figura 31.

Código	Equipamento	Variável	Medição	Data	Ação
TOR	Torno B	Temperatura	28	2020-09-03 09:00:00	Sem ação
TOR	Torno A	Temperatura	38	2020-09-03 12:00:00	Email
PRS	Prensa	Humidade	70	2020-09-03 17:00:00	Sem ação
PRS	Prensa	Vibração	44	2020-09-03 17:00:00	Sem ação
ABR	Abrilhantadora	Temperatura	24	2020-09-03 17:00:00	Sem ação
TOR	Torno B	Temperatura	28	2020-09-04 09:00:00	Sem ação
TOR	Torno A	Temperatura	25	2020-09-04 12:00:00	Sem ação
PRS	Prensa	Humidade	75	2020-09-04 13:30:00	GMPD_20200401
PRS	Prensa	Vibração	39	2020-09-04 13:30:00	Sem ação
ABR	Abrilhantadora	Temperatura	22	2020-09-04 13:30:00	Sem ação

Figura 31 - Consulta monitorização de equipamentos

Como podemos ver, temos 6 colunas distintas nesta listagem. As duas primeiras colunas dizem respeito à identificação do equipamento que sofreu a medição (código e descrição do equipamento respetivamente).

De seguida, a coluna “Variável” indica a medida que estamos a mensurar. Normalmente, as variáveis mais usadas na medição de equipamentos são temperatura, humidade, pressão, vibração, etc.

A quarta coluna indica o valor efetivamente registado para essa variável, ao passo que, a quinta coluna indica a data exata da medição efetuada.

Por fim, a última coluna denominada por “Ação” reflete a presença ou não de uma ação despoletada por cada medição. Esta coluna é fundamental para a interligação com a manutenção preditiva que falarei adiante.

Destacar ainda o intercalar deste novo menu com as funcionalidades já existentes do SGIN como filtros em consultas e capacidade de implementar gestão visual nestas mesmas consultas. Com esta funcionalidades o gestor da manutenção pode filtrar, por exemplo, todas as medições feitas para um determinado dia ou ainda filtrar de forma a mostrar apenas dados relativos a um dado equipamento (ver Figura 32). A gestão visual no exemplo que passo a apresentar é feita mediante a ação de cada medição efetuada, atribuindo uma determinada cor à linha, consante a ação que essa medição gerou.

Código	Equipamento	Variável	Medição	Data	Ação
PRS	Prensa	Humidade	70	2020-09-03 17:00:00	Sem ação
PRS	Prensa	Vibração	44	2020-09-03 17:00:00	Sem ação
PRS	Prensa	Humidade	75	2020-09-04 13:30:00	GMPD_20200401
PRS	Prensa	Vibração	39	2020-09-04 13:30:00	Sem ação

Figura 32 - Exemplo aplicação de filtros consulta de monitorização de equipamentos

Obviamente, o carregamento de informação para o SGIN destes dados em tempo real exige que a empresa possua estes equipamentos de medição e que estes estejam interligados com a base de dados do SGIN. Este é o requisito único para esta solução, requisito esse que, considerando que muitas das empresas já possuem estes equipamentos e que as vantagens trazidas com esta solução

são significativas, não constitui, na opinião da direção da SEGIN, um entrave significativo principalmente porque empresas que queiram ter um processo de medição de valores em equipamentos de fábrica estão cientes que terão que ter aparelhos para fazer essa mesma medição.

### **3.3.3.2. Manutenção preditiva com base no centro de monitorização de equipamentos**

A solução criada para implementar um sistema que preveja a avaria de um determinado equipamento (manutenção preditiva) está totalmente interligada com o centro de monitorização anteriormente apresentado.

Os dados registados para as várias variáveis para cada equipamento servem de base para a criação ou não de ordens de manutenção preditiva. De forma geral, é feita uma comparação entre os valores medidos e os valores tidos como padrão (valores cuja probabilidade de avaria se mantêm a um nível aceitável/controlado) para um determinado equipamento.

Esta solução parte, obviamente, do pressuposto que existe uma relação entre os valores lidos para determinadas variáveis e a probabilidade de avaria de cada equipamento. Esta assunção é na grande maioria das vezes detalhada nas fichas de manutenção que acompanham o equipamento aquando da sua aquisição e que estão ao dispor para consulta por parte dos gestores de manutenção.

De realçar que para além destes dados técnicos/teóricos, a experiência empírica é muitas vezes tão ou mais valiosa que os dados do fabricante. A verdade é que os colaboradores que operam nas diversas máquinas e/ou os engenheiros de processo, muitas vezes, por experiências passadas sabem, por exemplo, que a máquina X sempre que supera a temperatura Y fica prestes a sofrer uma avaria. A solução que criei tinha como um dos principais objetivos poder incorporar este conhecimento empírico dos colaboradores, o conhecimento extraído pelos dados do passado e o conhecido fornecido pelas fichas de manutenção dos equipamentos.

Assim sendo, passo agora a apresentar detalhadamente a solução criada e os vários passos para a criação de um fluxo que se enquadra na tipologia de manutenção preditiva.

Numa primeira fase, aproveitei o ecrã de associação de tarefas de manutenção a cada objeto de manutenção para criar um campo denominado por “Regras de Manutenção Preditiva” onde é inserida uma regra que quando cumprida despoleta uma determinada ação. A lógica/formato de inserção de cada regra é a seguinte: “variável”; “operador matemático de comparação”; “valor”; “ação”.

A Figura 33 mostra este novo campo criado neste ecrã, bem como um exemplo concreto de uma regra.

Figura 33 - Novo campo no SEGIN relativo às regras de manutenção preditiva e exemplo de preenchimento

Analisando este exemplo, verificamos que sempre que para o equipamento “PRS-Prensa” seja registado, para a variável temperatura, um valor igual ou superior a 30 °C, então, será despoletada uma ordem de manutenção preditiva para esta prensa. Destaque ainda para a possibilidade de ao invés de criação de uma ordem de manutenção, o cumprimento de uma determinada regra pode resultar no envio de um mail com o aviso de uma medição fora dos valores padrão. O envio de mails automático é uma funcionalidade já utilizada noutros processos da SEGIN e que aqui aproveito, visto que, considero que constitui uma mais valia para esta solução desenvolvida.

Agora já podemos concluir a análise à coluna “Ação” apresentada no menu de monitorização de equipamentos. Efetivamente para cada medição, é seguido um de três caminhos possíveis consoante a comparação de valores lidos com valores padrão. Estes 3 caminhos, como podemos ver na Figura 34 , estão também associados a uma urgência de atuação distinta.

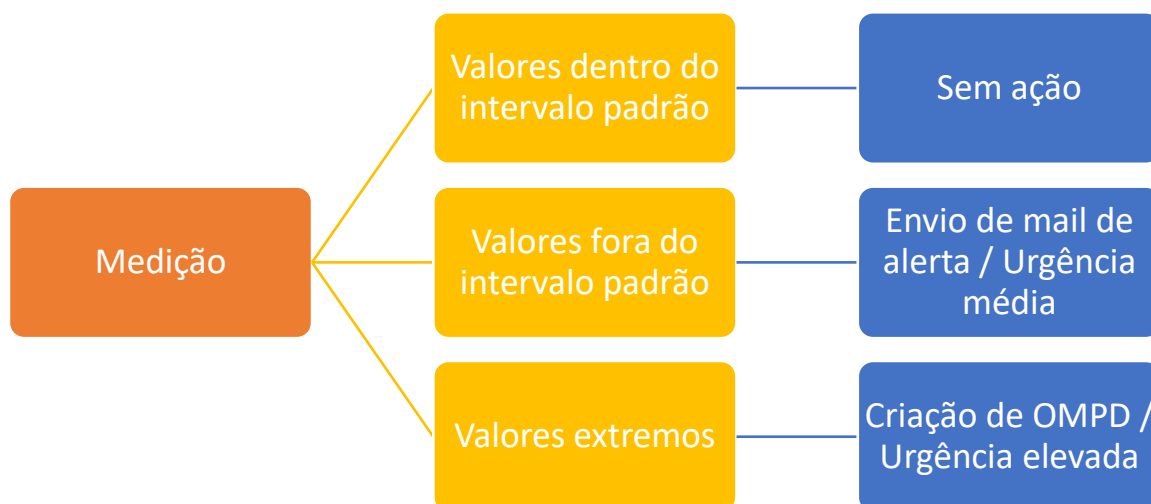


Figura 34 - Caminhos possíveis para cada medição de um equipamento

No caso de a medição resultar na criação de uma OMPD (terminologia que representa uma ordem de manutenção preditiva), esta será refletida no centro de monitorização com a identificação da OMPD criada (exemplo na Figura 31).

Caso a medição resulte na ação de envio de mail, então, é enviado automaticamente aos colaboradores responsáveis por estas gestão da manutenção (definidos por cada cliente da SEGIN) um mail alertando para a medição de certos valores fora do previsto.

Passo agora a apresentar, na Figura 35, um exemplo do mail padrão que criei e que serve de aviso após registo de determinada medição.

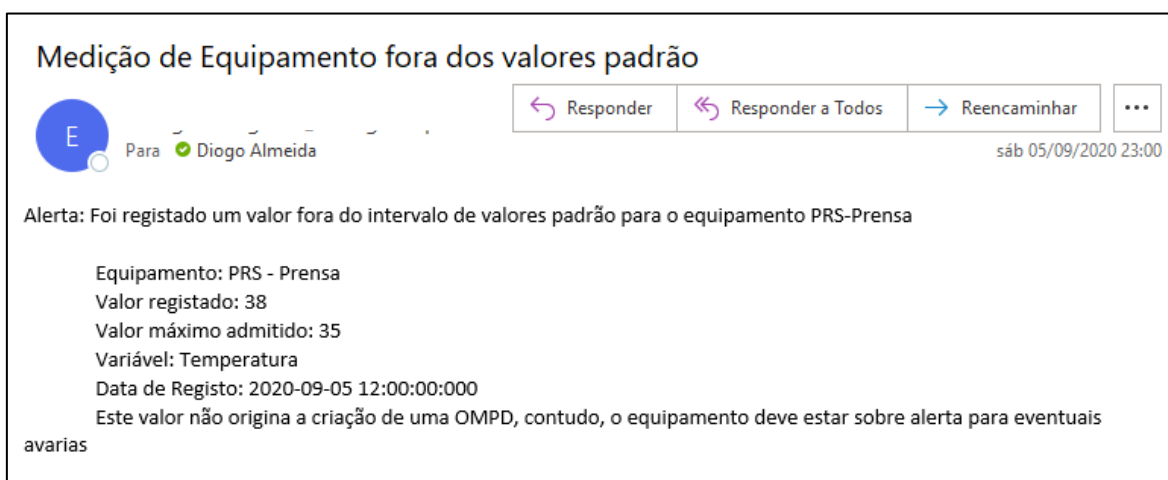


Figura 35 - Email padrão alerta de medição fora de valores padrão

Realçar que não existe um limite quanto ao número de regras que os clientes da SEGIN poderão criar para um mesmo equipamento e que um mesmo equipamento pode ter regras para mais do que uma variável diferente.

Tal como falado anteriormente, esta solução permite não só inserir regras com base nos dados provenientes dos fabricantes dos equipamentos, mas também com base na experiência que os operadores das máquinas adquirem ao longo do tempo.

### **3.3.3.3. Operacionalização e comunicação do plano de manutenção**

Apresento agora uma última funcionalidade que implementei no módulo de manutenção do SEGIN e que constitui uma ferramenta crucial na comunicação/operacionalização do plano de manutenção obtido pelo SEGIN no chão de fábrica dos clientes da SEGIN.

Efetivamente, uma das lacunas que a indústria identifica nos ERPs é a necessidade de alocar recursos significativos quer no processo de extração da informação dada pelo ERP, sendo que em alguns casos esta informação ainda exige tratamento, quer no processo de comunicação de forma eficiente e eficaz ao chão de fábrica onde são executadas as atividades.

Para fazer face a esta lacuna, desenvolvi um layout que representa as várias ordens de manutenção extraídas do SEGIN e que engloba as ordens de manutenção preventivas calculadas no planeamento da manutenção calculado pelo SEGIN, ordens de manutenção preditiva resultantes do processo que também implementei e que apresentei anteriormente e ainda eventuais ordens de manutenção corretiva registadas pelos utilizadores.

O objetivo deste layout é ser impresso e entregue ao gestor da manutenção que poderá assim de forma rápida e eficaz verificar quais as ordens de manutenção que devem ser realizadas num determinado espaço temporal. Esta mesma lógica de impressão de um relatório/layout para operacionalizar determinados processos baseados na informação do SEGIN já é utilizada com sucesso, por exemplo, nas ordens de produção.

Para invocar esta impressão criei um botão no ecrã do controlo de manutenção denominado por “Imprimir Plano de Manutenção” como pode ser visto na Figura 36. De realçar ainda que criei este layout com a opção de delimitar o espaço temporal do plano de manutenção.

The screenshot shows the SEGIN ERP interface. The breadcrumb trail is 'Home > Manutenção > Controlo de manutenção > Ordens de produção'. The main header is 'Ordens de Produção'. Below it, there are action buttons: 'Imprimir Plano de Manutenção' (highlighted with a red circle), 'Eliminar', and 'Imprimir Custeio'. There is also an 'Ações' dropdown menu. Below the buttons, there is a 'Filtros' section with two date filters: 'Data Início' (2020-05-01) and 'Data Fim' (2020-06-01). Below the filters, there is an 'Atualizar' button and a 'Vista' dropdown menu set to 'Vista Padrão'. The main content is a table with the following columns: Bloqueada, Nível Prioridade, Tipo Ordem, Nº Ordem, Nº Linhas Mat. Prev., C.O., Encomenda Num., Encomenda Linha, Nº Linhas Mat. Term., Nº Linhas Oper. Prev., Nº Linhas Oper. Term., and Afect. Disp. The table contains five rows of data, all with 'OPNT' as the 'Tipo Ordem' and '0' as 'Nº Linhas Mat. Prev.'. The footer shows '[ 1:5 | 83 ]' and a page number '1'.

Figura 36 - Ecrã para impressão do relatório do plano de manutenção

A Figura 37 apresenta um caso concreto deste relatório e traduz um caso real de um plano de manutenção operacionalizado com a impressão deste layout num dos clientes da SEGIN onde esta nova funcionalidade já está totalmente implementada e a ser utilizada diariamente. Para este caso em concreto, o cliente decidiu retirar o plano de manutenção do mês de maio de 2020.


 <b>Plano de Manutenção</b>		
<b>Data Início:</b> 2020-05-01		<b>Data Fim:</b> 2020-06-01
<b>Maio - 2020</b>		
<b>M0012 - Aspiração de areias (finos) - Areias</b>		
VE036 - Verificação dos disparos dos filtros	OMNT - 5952	05/05/2020
VE036 - Verificação dos disparos dos filtros	OMNT - 5985	10/05/2020
<b>M0013 - Aspiração de areias (finos) - Shake Out</b>		
VE036 - Verificação dos disparos dos filtros	OMNT - 5953	05/05/2020
VE036 - Verificação dos disparos dos filtros	OMNT - 5986	10/05/2020
VE054 - Verificação do estado das mangas	OMNT - 5954	06/05/2020
VE054 - Verificação do estado das mangas	OMNT - 6003	16/05/2020
<b>M0014 - HWS 2 Semi-Automática</b>		
VE017 - Verificação de fugas nas tubagens	OMNT - 6033	30/05/2020
<b>M0015 - HWS 2D Automática</b>		
BK001 - Backup dos ficheiros	OMNT - 5955	06/05/2020
BK001 - Backup dos ficheiros	OMNT - 6004	20/05/2020
VE017 - Verificação de fugas nas tubagens	OMNT - 6036	30/05/2020
VE044 - Verificação do nível de óleo dos depósitos de lubrificação	OMNT - 6005	22/05/2020
<b>M0016 - Máquina das Areias SPACE</b>		
IN002 - Encher os depósitos das bombas com massa	OMNT - 6038	30/05/2020
LI003 - Limpeza do interior da Cuba da Galga	OMNT - 5959	05/05/2020
LI003 - Limpeza do interior da Cuba da Galga	OMNT - 6006	15/05/2020
VE001 - Comprovar o valor do sensor de Humidade e Temperatura	OMNT - 5960	05/05/2020
VE001 - Comprovar o valor do sensor de Humidade e Temperatura	OMNT - 6007	18/05/2020
VE003 - Verificação dos rolos dos tapetes transportadores	OMNT - 6040	30/05/2020
VE007 - Verificação da junta da porta de descarga	OMNT - 6041	30/05/2020
VE017 - Verificação de fugas nas tubagens	OMNT - 6042	30/05/2020
VE034 - Verificação dos alcatruzes	OMNT - 6043	30/05/2020
VE040 - Verificação dos Tapetes Elevadores	OMNT - 6044	30/05/2020
VE041 - Verificação dos Tapetes Transportadores	OMNT - 6045	30/05/2020
<b>M0017 - Granelhadora CM</b>		
LU011 - Verificação e Lubrificação dos ganchos de suporte	OMNT - 6046	30/05/2020
VE017 - Verificação de fugas nas tubagens	OMNT - 6047	30/05/2020
VE037 - Verificação dos disparos dos pulmões de limpeza	OMNT - 5961	05/05/2020

Figura 37 - Relatório plano de manutenção

### **3.4. Aplicação da metodologia de identificação da tendência estratégica da SEGIN pós implementação das soluções**

Na secção 3.1 apresentei uma metodologia que tem como objetivo identificar a tendência estratégica de uma determinada empresa que siga a visão de coexistência de estratégias de vantagem competitiva. Nesta secção irei aplicar esta metodologia ao caso concreto da SEGIN, nomeadamente, considerando as 3 grandes soluções implementadas no ERP SEGIN decorrentes do levantamento de problemas/oportunidades de melhoria desta dissertação.

Antes de passarmos à aplicação objetiva da metodologia, importa situar cada uma das 3 grandes soluções naquilo que é a sua preponderância para cada estratégia competitiva, mais concretamente, identificar as ações da SEGIN que permitem qualificar uma determinada solução como estando enquadrada numa determinada estratégia competitiva. Mais uma vez a visão de coexistência de estratégias competitivas (neste caso coexistência especializada) é uma realidade. Efetivamente, pegando no exemplo do escalonador de produção, é possível esta solução estar centrada numa estratégia de liderança pelo custo apresentando, todavia, elementos que a possam enquadrar simultaneamente numa outra estratégia.

No que diz respeito ao escalonador da produção a estratégia competitiva fundamental é a liderança pelo custo. A análise e o conhecimento que a SEGIN tem dos seus concorrentes indicam que no caso concreto do concorrente que possuiu uma solução para o escalonamento da produção, esta apresenta um preço de venda extremamente elevado quando comparado com os restantes módulos do ERP. De forma objetiva, o preço de venda apenas desta solução de escalonamento, no caso deste concorrente, é superior ao preço de venda de todo o restante ERP. Se para além disto considerarmos que o custo de implementação desta solução é relativamente baixo, torna-se elementar a decisão da SEGIN de fornecer este escalonador criado centrado numa estratégia de liderança pelo custo (neste caso liderança pelo preço de venda) de forma a superiorizar-se à concorrência.

As restantes estratégias, tendo em consideração que o escalonador é bastante flexível concreto e abrangente a diversos clientes e mercados (dificulta focalização), apresentam uma presença reduzida.

No caso da solução para o tratamento da informação relativamente às NCs, esta centra-se numa estratégia de diferenciação. Efetivamente, grande parte dos ERPs, no que diz respeito aos processos de gestão de qualidade, mais concretamente, de análise de NCs, apresenta como lacuna a falta de análise e tratamento da informação registada no ERP. As soluções atuais no mercado exigem sempre por parte do utilizador algum tratamento de informação de forma a conseguir extrair *inputs* valiosos para o processo de tomada de decisão. A solução implementada no SEGIN, ao já tratar a informação de NCs de forma diminuir o trabalho do utilizador até à tomada de decisão enquadra-se assim primordialmente numa estratégia de diferenciação.

De realçar também uma forte vertente estratégica de liderança pelo custo nesta solução devido ao facto de serem aproveitadas algumas funcionalidades já existentes noutros módulos da SEGIN na conceção desta solução, o que permite oferecer um preço de venda relativamente mais baixo sem afetar a margem de lucro desta solução.

Por último, a solução de manutenção preditiva e centro de monitorização de equipamentos abre a porta a uma reformulação estratégica da SEGIN muito significativa centrada numa estratégia de

focalização. Efetivamente, a solução implementada, ao considerar uma tecnologia proveniente da revolução industrial 4.0 e ao apresentar uma solução com base numa tipologia de manutenção preditiva, tendo em consideração que nenhum concorrente direto oferece estas soluções e que apenas empresas produtoras de software específico para a manutenção industrial de equipamentos apresentam funcionalidades deste âmbito fica à mercê da SEGIN a entrada neste novo segmento de mercado (focalização) concorrendo lado a lado com estas empresas específicas de software de manutenção.

Esta estratégia de focalização de mercado e partição do ERP não é muito comum na SEGIN, contudo, a direção da SEGIN após apresentação desta solução que criei e da minha visão para esta mesma solução, acredita que seja a estratégia adequada para maximizar os ganhos com esta solução.

Destacar ainda que quer a diferenciação quer a liderança pelo custo apresentam grande relevância neste processo tendo em consideração que o envio de mails automaticamente e outras funcionalidades próprias da SEGIN, permitem à SEGIN diferenciar-se dos seus novos concorrentes mantendo um baixo custo de produção.

Passo agora a aplicar passo a passo a metodologia de identificação da tendência estratégica de uma organização em ambiente de coexistência de múltiplas estratégias competitivas.

**Passo 1:** Elencar as várias alterações/melhorias passíveis de serem executadas:

1. Escalonador de Produção;
2. Gestão da qualidade com tratamento e análise de NCs;
3. Manutenção preditiva e monitorização de equipamentos.

**Passo 2:** Elencar as várias estratégias competitivas presentes na organização:

1. Liderança pelo custo;
2. Diferenciação;
3. Focalização.

Para este caso, é seguida a estrutura da visão apresentada inicialmente baseada nas estratégias genéricas de Porter (1985) in [1], contudo, esta metodologia permite a utilização de outras estratégias diferentes e que se adaptem melhor a cada contexto.

**Passo 3:** Para cada combinação de alteração/melhoria-estratégia competitiva, atribuir um valor dentro de uma escala de 1 a 5 que represente a orientação estratégica dessa alteração/melhoria. Sendo 1- pouco orientada e 5 – totalmente orientada. Este passo encontra-se detalhado na Tabela 9.

Tabela 9 - Passo 3 metodologia identificação da tendência estratégica

Alteração	Estratégia Competitiva	Preponderância
Escalonador de Produção	Liderança pelo custo	5
	Diferenciação	2
	Focalização	1
Gestão da qualidade com tratamento e análise de NCs	Liderança pelo custo	4
	Diferenciação	4
	Focalização	5
Manutenção preditiva e monitorização de equipamentos	Liderança pelo custo	4
	Diferenciação	5
	Focalização	1

**Passo 4:** Num quadro resumo, elencar novamente as estratégias competitivas e indicar, para cada estratégia, o somatório obtido nas várias alterações/melhorias para cada estratégia. Este passo encontra-se detalhado na Tabela 10.

Tabela 10 - Passo 4 metodologia identificação da tendência estratégica

Estratégia Competitiva	Resultado
Liderança pelo custo	13
Diferenciação	11
Focalização	7

**Passo 5:** Ao resultado obtido aplicar ferramentas de análise visual de dados como gráficos de radar e gráficos circular.

A Figura 38 representa um gráfico radar com os resultados obtidos para as 3 soluções nas 3 estratégias consideradas. Os vértices do gráfico representam as estratégias competitivas, sendo que, as linhas indicam as soluções implementadas no SEGIN.

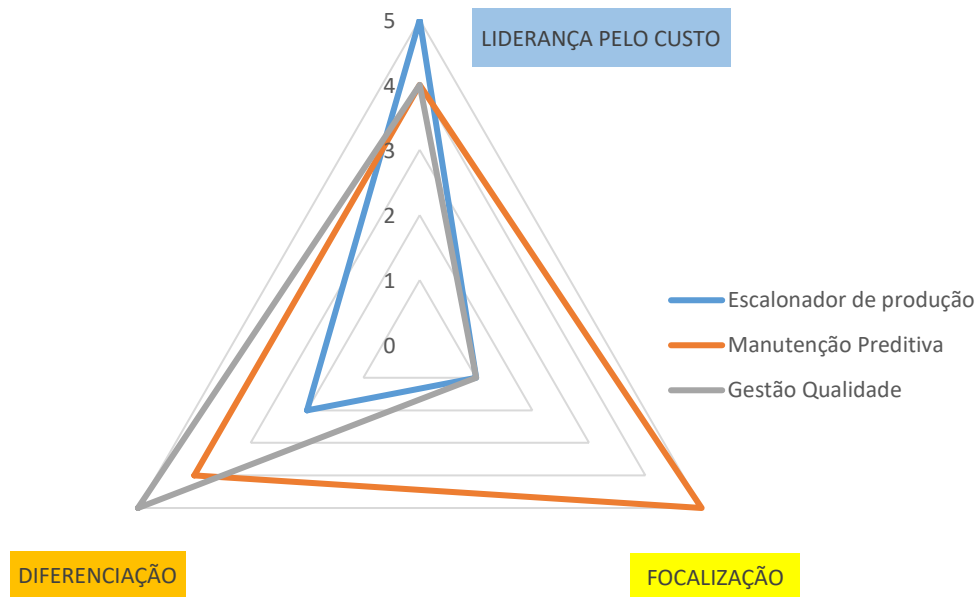


Figura 38 - Gráfico radar resultados metodologia para identificação de tendência estratégica

Um outro gráfico adequado à análise visual dos resultados desta metodologia é o gráfico circular. Este, especialmente se acompanhado dos valores percentuais, fornece uma visão instantânea da distribuição das diferentes estratégias pela empresa.

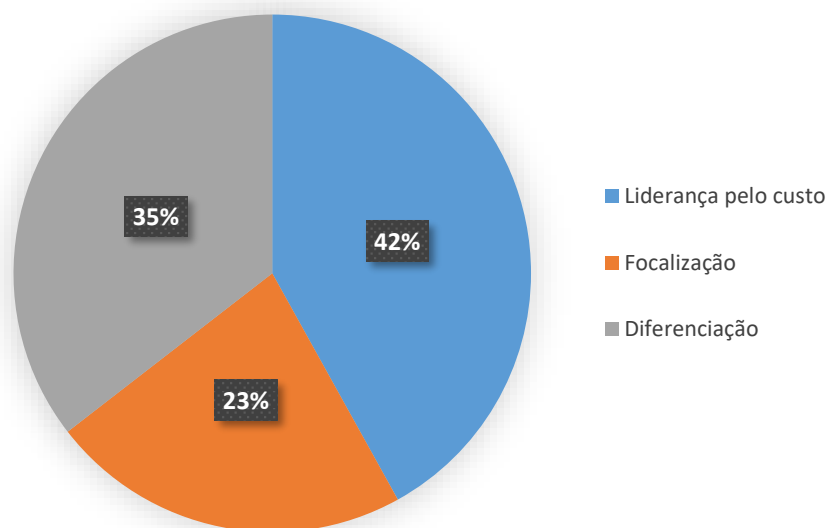


Figura 39 - Gráfico circular resultados metodologia para identificação de tendência estratégica

Obviamente que este cálculo da tendência estratégica tem apenas estas 3 soluções que criei e implementei e que por isso, na aplicação completa e real deve considerar outras funcionalidades com importância estratégica de forma a completar os dados desta tendência.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão agora apresentados os resultados obtidos para as várias soluções criadas e será realizada uma discussão dos mesmos sob o ponto de vista das diversas perspectivas incididas por esta dissertação.

Neste capítulo serão abordados os seguintes pontos: escalonador de produção, consultas de análise e tratamento de não conformidades e reformulação do modulo de manutenção. Importa ainda ter em consideração que o trabalho desenvolvido nesta dissertação influencia áreas bastante distintas, sendo por isso adequado enquadrar a apresentação e discussão dos resultados nestas diferentes áreas.

De forma objetiva, a apresentação e discussão dos resultados para as várias soluções implementadas devem ter, fundamentalmente, em conta as 3 perspectivas representadas na Figura 40.

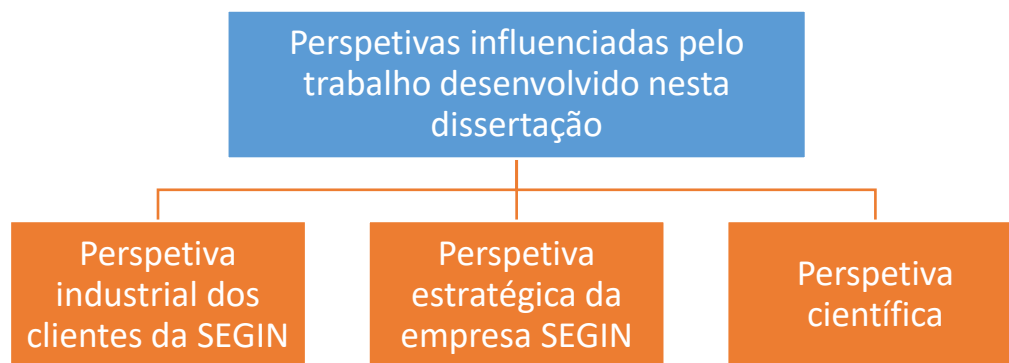


Figura 40 - Diferentes perspectivas de avaliação de resultados escalonador

### 4.1. Apresentação e discussão de resultados escalonador de produção

Como vimos na apresentação do escalonador, decidi explorar o potencial científico desta solução e para além da solução com recurso a regras de despacho, implementei uma solução com recurso à meta heurística *simulated annealing*.

Em termos científicos, tendo em consideração que foram aplicadas duas metodologias bastante distintas na resolução do problema de escalonamento de produção, a questão científica que se coloca primeiramente é:

- Questão 1: Entre o escalonador SEGIN (regras de despacho) e a solução de orientada para a comparação científica (*simulated annealing*), qual a técnica que apresenta melhores resultados?

Analisando com maior detalhe, para o caso do escalonador SEGIN, podemos colocar ainda a seguinte questão:

- Questão 2: Das 9 regras de despacho utilizadas, qual aquela que apresenta melhores resultados?

Para fazer face a estas questões programei o seguinte processo de simulação industrial:

1. Gerar aleatoriamente valores de tempos de processamento e datas de entrega para um problema clássico de escalonamento. (Notas: considerou-se um problema de 10 ordens em 15 máquinas e os valores aleatórios variaram entre 0 e 150);
2. Correr o escalonador SEGIN com recurso às regras de despacho) e registar o resultado de cada uma das 9 regras heurísticas e o melhor resultado;
3. Correr o algoritmo do *simulated annealing* para os mesmos dados iniciais do problema e registar o resultado. Parâmetros considerados para o SA detalhados na Figura 41.

<b>Parâmetros</b>	
Iterações sem melhoria	5
Temperatura de Paragem	1
Ln	3
Nº iterações	1000
Temperatura Inicial	100
Beta	0,5
<b>Método de Arrefecimento</b>	
	Linear
<b>Critério de Paragem</b>	
	Nº Iterações Total

Figura 41 - Parâmetros considerados para o SA na experiência efetuada

4. Repetir os pontos anteriores 365 vezes (o objetivo é simular um ano em ambiente industrial onde é feita uma ação de escalonamento por dia).

Os resultados obtidos para esta experiência encontram-se detalhados no Apêndice A.

Sobre esta grande quantidade de dados foram efetuados cálculos, gráficos e aplicadas técnicas estatísticas de forma a facilitar a análise aos resultados obtidos com a experiência. O primeiro gráfico, representado na Figura 42, diz respeito aos resultados para a solução implementada no SEGIN nomeadamente à utilização das 9 regras de despacho utilizadas. Para analisar corretamente este gráfico importa, novamente, ter em consideração que quanto menor o resultado melhor a solução obtida. Este gráfico é um auxílio essencial para responder à questão 2 colocada anteriormente.

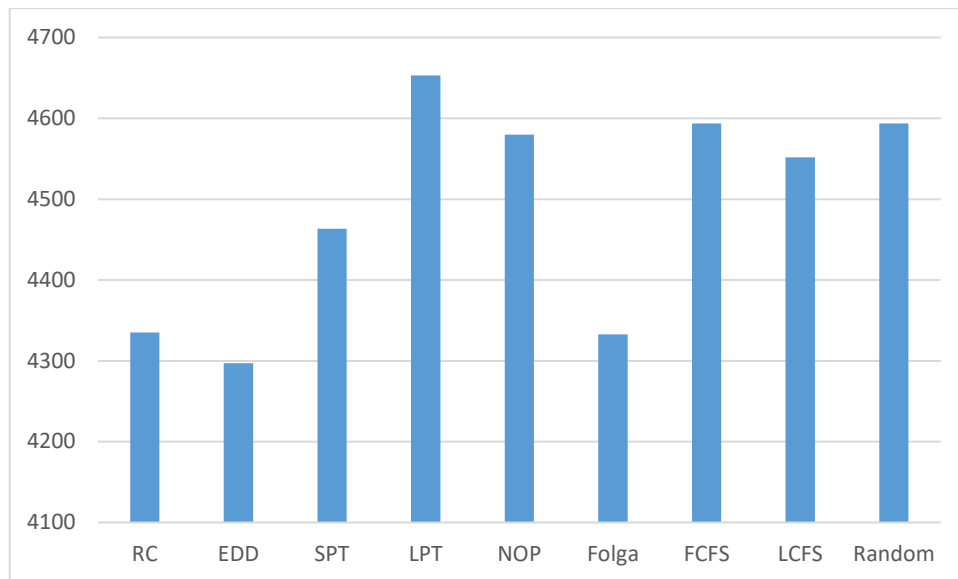


Figura 42 - Gráfico resultados da solução SEGIN na componente de comparação de regras de despacho

Podemos verificar que as regras EDD, Rácio Crítico e Folga são aquelas que fornecem melhores resultados, enquanto as técnicas LPT, FCFS, *Random* e NOP fornecem piores resultados. De destacar uma diferença de 7,7% entre o resultado da técnica com melhor resultado (EDD) e o resultado da técnica com pior resultado (LPT).

O próximo gráfico, representado na Figura 43, expõe os resultados sob três ambientes distintos:

- Ambiente sem solução SEGIN (considera-se a utilização da regra FCFS nestes casos. Em contexto industrial, empresas sem solução aparente de escalonamento, estão a usar, na maioria das situações, a regra FCFS);
- Ambiente com solução SEGIN (solução baseada nas regras de despacho);
- Ambiente solução de comparação científica (baseada no SA).

Estes 3 ambientes distintos para além de representar a perspetiva dos clientes da SEGIN, constituiu um auxílio à resposta à questão 1 colocada anteriormente.

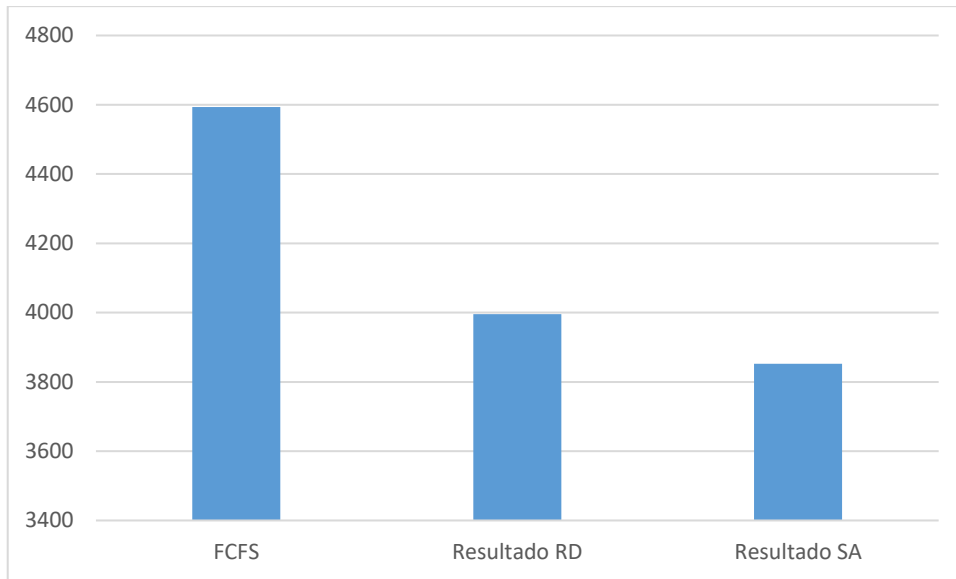


Figura 43 - Gráfico comparação dos resultados obtidos para os 3 ambientes distintos

Este gráfico de barras permite uma análise imediata da comparação dos resultados entre os três ambientes considerados. De forma a facilitar a análise quantitativa das melhorias obtidas pelas técnicas RD e SA quando comparado com o ambiente sem solução efetiva para o escalonamento, apresento a Figura 44, onde vemos representadas as diferenças percentuais entre os resultados das 3 técnicas/ambientes considerados.

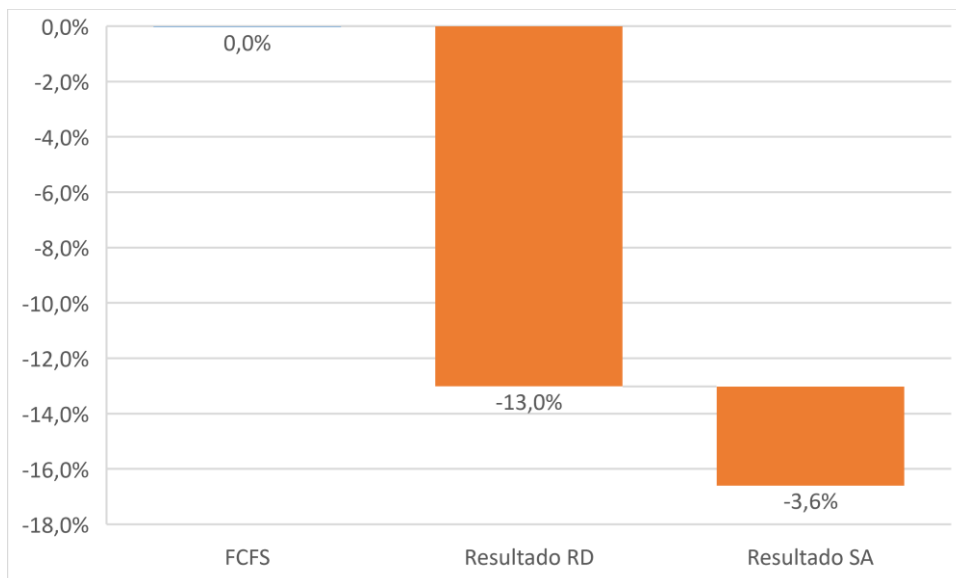


Figura 44 - Gráfico percentagem de melhorias técnicas abordadas em comparação com ambiente sem solução de escalonamento

Para além da análise feita com base nas médias obtidas para a experiência realizada, as próximas duas análises baseiam-se na frequência com que determinadas técnicas foram consideradas como a técnica com melhor resultado (resultado menor). Embora numa perspetiva da SEGIN e dos seus clientes a média seja bem mais importante que a frequência no que diz respeito à avaliação destas técnicas, numa perspetiva científica a análise das frequências pode evidenciar situações interessantes do ponto de vista de investigação científica.

Primeiramente, na Tabela 11, numa perspectiva geral de comparação dos resultados obtidos entre a solução SEGIN e a solução baseada no SA e novamente o ambiente cliente SEGIN sem escalonador (utiliza a regra de despacho FCFS).

Tabela 11 - Frequência de escolha entre solução SEGIN e solução com recurso a SA

Resultado por técnica	Média	Frequência	Porcentagem
Resultado FCFS	4594	0	0
Resultado RD	3996	86	23,6
Resultado SA	3852	279	76,4
TOTAL	-	365	100,0

Na Figura 45 é visível um gráfico circular com base nestes mesmos resultados da Tabela 11 de forma a facilitar a análise de forma visual dos resultados obtidos relativamente à frequência.

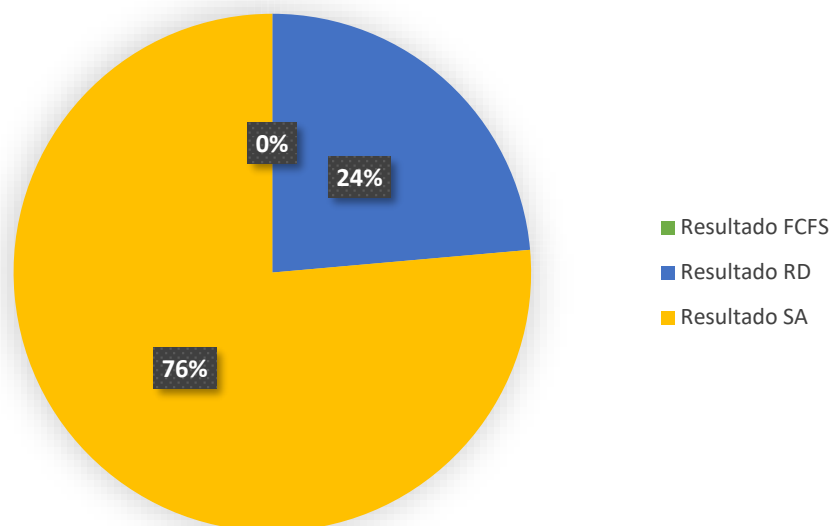


Figura 45 - Gráfico comparação dos 3 ambientes de escalonador em relação à frequência de escolha como melhor técnica

É de destacar que esta análise baseada meramente na frequência com que determinada técnica foi escolhida como a melhor técnica para um determinado problema de escalonamento permite-nos verificar que, para as 365 iterações presentes na experiência realizada, em nenhuma delas o ambiente sem solução concreta para o escalonamento (técnica regra de despacho FCFS) foi selecionado.

Analisando com maior detalhe e numa perspectiva específica e interna da solução SEGIN, comparando os resultados obtidos para cada uma das 9 regras de despacho, temos os resultados na Tabela 12.

Tabela 12 - Frequência por regra de despacho na solução SEGIN

Regra	Média	Frequência	Porcentagem
RC	4335,039	11	13%
EDD	4296,865	14	16%
SPT	4463,396	3	3%
LPT	4653,235	2	2%
NOP	4579,667	48	56%
Folga	4332,665	4	5%
FCFS	4593,538	0	0%
LCFS	4551,626	2	2%
Random	4593,673	2	2%
<b>Total</b>	–	86	100%

O gráfico de funil representado na Figura 46 baseia-se nestes mesmos dados da Tabela 12, contudo, através de uma análise visual imediata, permite, identificar não só a ordenação das regras de despacho mas também a percentagem de cada regra em relação às restantes.

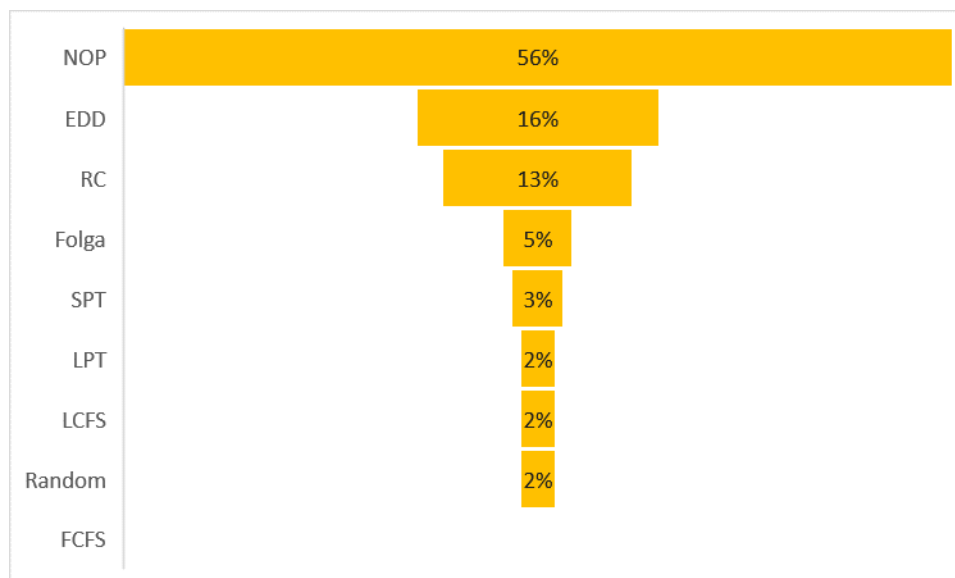


Figura 46 - Gráfico de funil frequência de cada uma das 9 regras de despacho utilizadas no escalonador SEGIN

Este gráfico promove uma discussão muito interessante e que deve ser levantada. Podemos ver que, das 86 vezes em que a técnica com recurso a regras de despacho foi a melhor técnica, em 48 destas vezes, o que equivale a 56%, a regra de despacho que levou a este melhor resultado foi a NOP. Este resultado torna-se bastante interessante quando comparamos com os resultados anteriormente apresentados relativamente à comparação das regras de despacho sob o ponto de vista da média dos resultados obtidos, visto que, esta mesma NOP foi a quarta pior técnica em termos de resultado.

Importa ainda referir o tempo médio de execução para cada uma das duas soluções consideradas. No caso do escalonador implementado para a SEGIN, tal como era objetivo inicial dada a exigência de funcionalidade dos clientes da SEGIN, o tempo desde o momento em que o utilizador dá ordem para o início do cálculo até à obtenção da solução final é praticamente impercetível, estamos perante valores da ordem de grandeza das décimas de segundo.

No que diz respeito, à solução com base na meta-heurística SA, este mesmo tempo até chegar à obtenção de uma solução situa-se nos 1 minuto e 04 segundos. O tempo total gasto com a experiência realizada (consideradas 365 repetições/iterações) foi de 6 horas, 29 minutos e 20 segundos. Este tempo de execução unitário foi obtido utilizando a fórmula descrita na (Equação 4).

$$\text{Tempo de execução de uma iteração} = \frac{\text{Tempo total da experiência}}{n^{\circ} \text{ de iterações total}} \quad (\text{Equação 4})$$

## 4.2. Apresentação e discussão de resultados das consultas de análise de não conformidades

Falar desta nova solução que implementei no modulo da gestão da qualidade, numa perspetiva da SEGIN, tendo em consideração que é uma solução totalmente já operacional e funcional em 2 dos clientes da SEGIN passa por apresentar os valores das receitas obtidas com a venda destas consultas de NCs aos clientes da SEGIN.

O preço de venda desta solução que engloba as 3 consultas de análise e tratamento de NCs e as consequentes atividades de formação, suporte e customização ao primeiro cliente que adquiriu esta solução situa-se nos 1732,5€. No caso do segundo cliente, este valor situou-se nos 1443€ (destaque para o efeito de aprendizagem que a implementação no primeiro cliente permitiu provocando assim uma diminuição no tempo de implementação da solução no segundo cliente). De realçar ainda que existem conversas adiantadas para implementar esta solução em mais 3 dos clientes da SEGIN. O valor total das receitas obtidas até ao momento situa-se assim nos 3175,5€.

Em termos de custos, considerando que esta solução, tal como todas as outras, foi desenvolvida unicamente por mim sem recurso a nenhum programador ou outro colaborador da SEGIN e que foi totalmente realizada fora do horário de trabalho, não apresenta nenhum custo de desenvolvimento para a SEGIN. O único custo que deve aqui ser considerado é o das deslocações aos clientes para implementar e dar formação acerca desta solução. Este custo está repartido por um total de 4 deslocações e ascende a 120€, perfazendo assim uma margem de lucro até ao momento de 3055,5€.

Importa de referir ainda que a previsão é de que gradualmente outros clientes adquiram esta solução aumentando ainda mais estas receitas. Colocando o cenário de um quarto dos clientes da SEGIN adquirirem esta solução (considerando as economias de escala e efeito de aprendizagem ao longo do tempo) teríamos receitas aproximadas de 12 500€.

Na perspetiva dos clientes da SEGIN, e pegando num caso concreto e real do primeiro cliente que teve esta solução, a informação dos postos de trabalho onde surgem a maioria das NCs, já levou à reformulação do processo de fabrico de uma linha de montagem e levou ainda à aquisição de um equipamento substituto, visto que o equipamento anterior foi responsável por NCs no valor total

de 3470€ desde o início do presente ano. Esta informação só agora com a nova solução é possível de extrair do SEGIN.

Por último, na perspectiva estratégica da SEGIN, esta solução passou a estar inserida no processo de demonstração do ERP SEGIN que é feito pela área comercial a potenciais novos clientes. Esta presença é fortemente causada pelo forte fator diferenciador desta solução em relação a outros concorrentes da SEGIN (tal como era objetivo da visão estratégica que apresentei nesta dissertação).

### **4.3. Apresentação e discussão de resultados das novas funcionalidades do módulo de manutenção**

Esta reformulação que promovi no módulo de manutenção da SEGIN assenta fundamentalmente em 3 grandes funcionalidades/soluções: centro de monitorização de equipamentos, manutenção preditiva e relatório do plano de manutenção. Destas 3 soluções, o relatório com o plano de manutenção é aquele que já se encontra mais consolidada no ERP SEGIN. A estratégia seguida pela SEGIN para esta solução foi a de vender primeiramente a um dos seus principais clientes e posteriormente inserir este relatório na versão de fabricante do SEGIN. O preço de venda desta solução a este cliente foi de 420€.

Sendo uma solução tão importante e tão vantajosa em termos de posicionamento estratégico em relação aos concorrentes, entendi, juntamente com a direção da SEGIN, que os ganhos obtidos com a entrada de novos clientes fruto da presença desta solução na versão base/fabricante do SEGIN seriam maiores quando comparados com a venda individualizada desta solução a clientes que mostrassem interesse nesta solução. Até ao momento esta decisão tornou-se acertada, visto que, desde que esta solução está presente na demonstração padrão do SEGIN que é feita a potenciais novos clientes houve um aumento de 12,5% dos clientes face ao período homólogo do ano passado. Este número torna-se ainda mais interessante se tivermos em consideração o impacto negativo que a pandemia vivida neste ano de 2020 provocou na economia global e considerarmos ainda que as restantes funcionalidades presentes na demonstração do SEGIN se mantiveram inalteradas.

As restantes duas soluções que constituem esta reformulação ao módulo de manutenção do SEGIN constituem uma grande exigência no que concerne à nova perspectiva estratégica da SEGIN. Efetivamente, o centro de monitorização de equipamentos e, principalmente, a manutenção preditiva elevam a SEGIN para um novo patamar no que à gestão da manutenção diz respeito. Novo patamar esse onde habitam empresas produtoras de software específico para a área da manutenção.

Neste momento a SEGIN ainda se encontra numa fase de marketing e exploração de mercado para estas duas soluções não estando por isso implementada a 100% em nenhum dos seus clientes. Existem, contudo, dois clientes que se encontram em fase de validação e análise destas soluções (com previsão de implementação efetiva no início do ano de 2021) não estando ainda definido o preço de venda desta solução. De realçar que, embora estas duas soluções (centro de monitorização de equipamento e manutenção preditiva) abram portas a um novo mercado, não deixam de ser altamente positivas e adequadas para os atuais clientes da SEGIN fornecendo soluções que podem resultar em resultados muito positivos.

#### 4.4. Visão global resultados obtidos

Apresentados os resultados divididos por cada área de atuação, esta secção tem como objetivo agrupar os resultados obtidos segundo as várias perspetivas de forma a facilitar a análise e retirada de ilações. Na Tabela 13 podemos ver esta informação dos resultados divididos entre os ganhos quantitativos e os ganhos qualitativos.

Tabela 13 - Visão global resultados obtidos

Solução	Ganhos Quantitativos	Ganhos Qualitativos
Escalonador de Produção	<p>Redução combinada de 13% do número de atrasos, tempo de fluxo e tempo de não utilização de máquinas comparando o escalonador SEGIN com empresas sem escalonador;</p> <p>Redução combinada de 3,6% do número de atrasos, tempo de fluxo e tempo de não utilização de máquinas comparando o escalonador via SA com o escalonador SEGIN.</p>	<p>Pré-acordo contratualizado com um cliente da SEGIN para implementação do escalonador SEGIN (preço de venda ainda por definir);</p> <p>Satisfação do cliente com os resultados iniciais do escalonador que promoveu o avanço de outros projetos na área do planeamento de produção.</p>
Consultas de tratamento de informação e custeio de NCs	<p>Receitas até ao momento de 3175,5€;</p> <p>Aumento de 12,5% de novos clientes após presença desta solução na versão <i>demo</i> do SEGIN.</p>	<p>Satisfação do cliente que adquiriu inicialmente esta solução após identificação das principais causas de NCs com maiores custos para a empresa;</p> <p>Conversas adiantadas com 3 clientes da SEGIN para implementação desta solução</p>
Manutenção preditiva, centro de monitorização e layout plano de manutenção	<p>Receitas de 420€ com a venda do layout do plano de manutenção;</p> <p>Aumento de 12,5% de novos clientes após presença desta solução na versão <i>demo</i> do SEGIN.</p>	<p>Bandeiras da indústria 4.0 e IoT para as áreas do marketing e gestão comercial indo ao encontro das mais recentes necessidades dos clientes;</p> <p>2 clientes em fase de validação com implementação prevista em janeiro de 2021;</p> <p>Entrada num novo segmento de mercado por parte da SEGIN – software especializado de manutenção de equipamentos industriais</p>

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo que agora se inicia procura, tendo por base os objetivos, os processos desenvolvidos e os resultados obtidos para esta dissertação, tecer conclusões ao trabalho realizado. Importa balizar as conclusões quer por melhoria implementada (escalonador, consultas gestão da qualidade, manutenção preditiva) quer por perspectiva de análise (investigação científica, clientes SEGIN, empresa SEGIN).

### 5.1. Conclusões finais

Todo o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação decorre e enquadra-se na visão estratégica que apresentei e serve-se das metodologias específicas que desenvolvi para estabelecer o elo entre a filosofia e conceitos desta visão estratégica e a objetividade e aplicação prática que o mundo empresarial exige. Considero que devemos incidir as considerações finais em relação a este ponto não só no aspeto mais subjetivo, fundamentalista e teórico da visão de coexistência de estratégias, mas também no aspeto objetivo, metodológico e prático da aplicação das metodologias apresentadas ao caso da SEGIN.

A apresentação de uma visão diferenciada da visão de Michael Porter (1985) in [1], sustentada num conjunto de pontos que claramente contrapõem não só a minoria de contextos propícios à coexistência de estratégias defendidos por Porter mas que também desmistificam/eliminam os grandes obstáculos destes contextos, bem como o caso concreto de sucesso da SEGIN, permitem validar a estratégia que defendo e que apresentei nesta dissertação.

No caso concreto da SEGIN, a aplicação da metodologia com vista à priorização de alterações estratégicas de forma a maximizar o posicionamento estratégico permitiu identificar 3 grandes alterações ao ERP SEGIN como prioritárias e descartar (pelo menos para já) a implementação do módulo financeiro/contabilidade. Esta priorização, tendo em consideração as receitas significativas obtidas com as 3 soluções implementadas no ERP SEGIN e que foram apresentadas neste trabalho revelou-se acertada, sobretudo, quando verificamos a venda/testes/interesse de vários clientes nas novas soluções fruto das orientações estratégicas específicas de cada solução.

Objetivamente, o facto de um cliente ter adquirido a solução de escalonamento da produção do SEGIN tendo como fator decisório o preço mais baixo (liderança pelo custo) desta solução quando comparado com um concorrente também com solução de escalonamento, em simultâneo com o facto de um outro cliente ter adquirido a solução de consultas de análise de NCs tendo como fator decisório o tratamento de informação e custeio presentes nesta solução (diferenciação), em simultâneo com o facto de um terceiro cliente (específico de um segmento de mercado de empresas de manutenção de equipamentos) ter um pré acordo para a aquisição do novo módulo de manutenção do SEGIN (focalização), sendo o rácio custos-receitas para estas 3 soluções altamente favorável é a grande validação para esta visão de coexistências para o caso concreto da SEGIN.

Com estas validações podemos concluir que a coexistência de estratégias competitivas constitui uma filosofia de gestão que promove resultados positivos e sustentáveis (respondendo assim afirmativamente à questão de investigação deste trabalho).

Entrando no detalhe das soluções implementadas no SEGIN, no que diz respeito ao escalonador de produção desenvolvido, as conclusões a retirar, quer na perspectiva científica quer na perspectiva

dos clientes que possuem o ERP SEGIN, versam essencialmente sobre o binómio funcionalidade-intensidade associado a cada uma das duas técnicas de resolução utilizadas (regras de despacho e meta-heurística simulated annealing).

Falar de funcionalidade numa solução como esta resume-se fundamentalmente ao tempo necessário para chegar a uma solução final. Por sua vez, intensidade refere-se à qualidade da solução obtida. Obviamente que qualquer cliente deseja ter estas duas variáveis maximizadas, todavia, uma das conclusões já esperadas e que foram comprovadas pelos resultados desta dissertação é que existe uma clara relação de *trade-off* entre funcionalidade e intensidade para um problema de escalonamento da produção.

De uma forma concreta vimos que a solução implementada para o escalonador SEGIN, calculada com base em regras de despacho, apresenta um tempo de execução (funcionalidade) praticamente impercetível ao passo que a solução mais voltada para a componente de investigação científica com base no simulated annealing apresenta um tempo de execução de cerca de 1 minuto. Na componente da qualidade da solução obtida (intensidade) fica identificada uma melhoria de 3,6% nos resultados obtidos com a solução científica quando comparados com a solução SEGIN.

À questão: qual a melhor solução para aplicar a um caso concreto de uma empresa industrial? Responder de forma objetiva seria uma atitude pouco fundamentada e precipitada com base nos resultados obtidos. Efetivamente esta é uma decisão de análise subjetiva e que depende da filosofia de gestão, políticas da empresa e personalidade do decisor. O feedback que fui obtendo dos clientes da SEGIN indicou que para certos clientes este minuto extra gasto para obter uma melhor solução era altamente compensatório, ao contrário de outros, para os quais, visto que a melhoria de resultados apresentada não era assim tão significativa, não seria produtivo o gasto deste minuto extra numa ação repetida diariamente (em alguns casos de laboração contínua mais do que uma vez por dia).

De facto, não posso deixar de constatar, que a utilização continuada de técnicas e ferramentas de melhoria contínua aliadas à alta competitividade existente nos últimos anos provocou uma diminuição significativa das margens obtidas com estes processos de lean management para níveis de grandeza na ordem dos segundos. Efetivamente, se o leitor é alguém que não está tão à vontade com a realidade dos processos de melhoria contínua em ambiente industrial, pode ficar surpreendido pelo facto de um gestor considerar que uma atividade que demora 1 minuto num turno de 8 horas e que pode evitar atrasos na entrega de encomendas ser descartada, contudo, especialmente em algumas indústrias altamente competitivas, este minuto, repetido por vários turnos ao dia e por várias linhas de produção pode ser considerado uma eternidade.

De qualquer forma, no caso da solução via meta heurística simulated annealing, não deixa de ser interessante verificar que, aquilo que inicialmente era uma solução não muito funcional (apesar de orientada para resultado final) e com objetivo único de comparação numa perspetiva de investigação científica, conclui-se, após esta dissertação, que pode ser uma solução com aplicação concreta em ambiente industrial e que, em muitos casos, preferida quando comparada com uma solução que inicialmente foi apontada como solução orientada para ambiente industrial (escalonador SEGIN via regras de despacho).

Chegamos assim à principal conclusão em termos do escalonador SEGIN: o escalonador SEGIN desenvolvido apresenta melhorias de cerca de 13% em relação à inexistência de escalonador e é eficaz, funcional e está já validado por clientes da SEGIN, todavia, apresenta um potencial de

melhoria, satisfação e adequação a um maior número de clientes se acrescentarmos uma opção paralela de técnica de resolução com base na meta heurística SA visto que esta apresenta resultados melhores em 3,6% do que a solução SEGIN e que a perda de funcionalidade, para certos clientes, é compensatória.

No que diz respeito à solução desenvolvida relativamente às consultas de não conformidades, efetivamente, as receitas obtidas até ao momento de 3175,5€ asseguram e validam o sucesso desta solução, principalmente, quando temos em consideração os custos nulos desta implementação no SEGIN e que será uma solução que será adquirida por mais clientes aumentando assim ainda mais as receitas.

Para além de uma análise unicamente orientada para as receitas, o sucesso desta solução, deve ser avaliado sob o ponto de vista dos clientes que já têm esta solução totalmente operacional e funcional. Uma das conclusões que a implementação em cliente veio confirmar foi a grande flexibilidade das consultas desenvolvidas, flexibilidade esta que permite aos gestores da qualidade orientar as suas ações de minimização de defeitos para diferentes focos, sejam eles os postos de trabalho que promovem mais NCs, os artigos que apresentam mais NCs ou até as operações que representam um maior custo fruto de NCs para a empresa.

Objetivamente, o facto desta solução já ter levado a um cliente a reformular o processo de fabrico de uma linha de montagem e ter levado ainda à aquisição de um novo equipamento substituto (devido a elevados custos de NCs provocados pelo equipamento anterior) atestam a adequação da solução ao exigente mundo industrial e permitem à SEGIN um aumento da confiança por parte deste cliente que poderá ser replicado para outros clientes da SEGIN.

Por fim, a solução relativa à reformulação do módulo de manutenção, no caso concreto do relatório do plano de manutenção já permitiu receitas de 420€. Podemos ainda concluir o sucesso da estratégia de não vender esta solução individualmente, mas sim incorporar no ERP SEGIN de fabricante e apostar na captação de novos clientes através da implantação deste relatório no processo de demonstração do SEGIN ao verificar o aumento de 12,5% novos clientes desde o início do ano comparando com o período homólogo do ano passado.

De destacar ainda o feedback positivo recebido pelos clientes onde a manutenção preditiva e o centro de monitorização encontram-se a ser validados/testados. Tendo em consideração que o preço de venda desta solução será significativo e que as previsões (recolha da área comercial junto dos clientes) apontam para que no espaço de 5 anos, uma parte significativa dos clientes da SEGIN implemente esta solução nas suas empresas estaremos perante receitas claramente positivas para a SEGIN.

De realçar ainda que, o levantamento de problemas/oportunidades de melhoria do ERP SEGIN, permitiu identificar a inexistência de padrões de falha variáveis no processo de planeamento de manutenção preventiva como uma oportunidade de melhoria significativa para o SEGIN. Oportunidade de melhoria esta que, sob indicação da direção da SEGIN, passa agora a ser a próxima ferramenta/solução a idealizar e implementar no SEGIN. Esta decisão da SEGIN, sendo motivada pelo potencial interesse de alguns clientes nesta solução, permite-nos concluir e atestar a importância que este levantamento contante de problemas/oportunidades de melhoria deve ter em qualquer organização.

## 5.2. Dificuldades encontradas

Esta dissertação decorreu sob um contexto muito particular de pandemia internacional de COVID-19 que provocou algumas dificuldades e resistência a esta dissertação. A aplicação das medidas de confinamento impostas pela Direção Geral da Saúde impediu totalmente, numa primeira fase, e limitou significativamente, numa fase posterior, as deslocações presenciais aos clientes da SEGIN onde as soluções estavam a ser implementadas, testadas ou validadas. Esta limitação provocou um atraso significativo no tempo previsto de implementação das várias soluções.

Para além desta limitação em termos de deslocações presenciais a clientes da SEGIN, há que referir o forte impacto económico que a pandemia provocou nestes clientes levando, em alguns casos, à paragem a 100% da atividade produtiva e/ou ao recurso a sistemas de *layoff*. Este impacto económico negativo levou a um caso concreto de desistência de um cliente na implementação de uma solução de escalonamento da produção e ao adiamento por tempo indeterminado de um outro cliente na implementação de uma solução relativa ao módulo de manutenção.

## 5.3. Limitações e trabalhos futuros

Primeiramente, abordando as limitações desta dissertação no que diz respeito ao escalonador de produção, há que referir que a solução desenvolvida se baseia na implantação fabril do tipo *flow-shop*. Efetivamente, muitas das empresas atualmente trabalham em implantação do tipo *job-shop*. Esta diferença não limita inteiramente a solução criada, contudo, os resultados obtidos não terão tanta qualidade por não considerarem todas as possibilidades de sequência propícias de um sistema de *job-shop*. Na perspetiva da SEGIN, esta limitação não é relevante, pelo menos a curto-médio prazo, visto que, todos os clientes que estão em fase de testes com o escalonador ou que estão interessados em adquirir esta solução trabalham numa tipologia de *flow-shop* sendo, portanto, a solução criada adequada aos clientes da SEGIN.

Esta limitação pode e deve ser vista como uma oportunidade de investigação futura partindo da seguinte questão de investigação científica: Tendo por base uma solução de escalonamento para problemas do tipo *flow-shop*, como capacitar esta solução para dar uma resposta de qualidade a problemas do tipo *job-shop*.

A utilização de meta-heurísticas na resolução de problemas de escalonamento apresenta um potencial muito significativo em termos de investigação científica. Um dos pontos que seria de interesse estudar com base nesta dissertação seria a utilização de outras meta-heurísticas (ou até mesmo a utilização combinada de mais do que uma meta-heurística, visto que, trabalhos recentes têm demonstrado resultados positivos nesta combinação) de forma a comparar com a solução criada para o SEGIN com a solução via *simulated annealing*.

De forma objetiva lanço aqui o seguinte ponto de partida para um futuro trabalho científico: Esta dissertação não conseguiu concluir de forma objetiva que a qualidade da solução apresentada resultante de uma solução com base na meta-heurística *simulated annealing* compense, em termos de aplicação industrial, a perda de funcionalidade desta solução. Haverá alguma meta-heurística ou combinação de meta-heurísticas que apresente uma qualidade de solução semelhante à apresentada pelo SA mas que diminua significativamente o tempo computacional para chegar a essa solução (funcionalidade maior e aceitável em termos industriais)?

Deixo ainda um ponto de partida que considero ter um potencial muito significativo principalmente para a evolução do escalonador SEGIN num futuro próximo. Efetivamente, um dos aspetos que a revisão de literatura identificou como fundamentais para a obtenção de boas soluções em tempo funcional para a técnica SA foi a qualidade da solução inicial considerada. Ora, tendo em consideração que o escalonador SEGIN que recorre a regras de despacho já obtém soluções consideradas como boas, seria de grande valor incorporar estas soluções finais do escalonador SEGIN como soluções iniciais do escalonamento resolvido via SA, de forma a obter resultados ainda melhores.

Um outro ponto que gostaria de salientar e que passa a estar, após esta dissertação, no horizonte das melhorias e novas soluções a implementar no SEGIN é a implementação de processos de *machine learning* no processo de manutenção preventiva. Ainda dentro da área da manutenção, um outro ponto de partida para investigações futuras, seria o de implementar um algoritmo que considerasse a existência de padrões de falhas variáveis (esta foi uma das oportunidades de melhoria identificadas nesta dissertação).

Por fim, quero aqui salientar que, decorrente desta dissertação, serão publicados dois artigos científicos. Um primeiro que abordará toda esta visão estratégica que defendi e que apresentei ao longo deste trabalho com especial enfoque para as metodologias que desenvolvi e ainda um segundo artigo científico que versará sobre a resolução do problema de escalonamento da produção comparando os resultados via regras de despachos e os resultados via *simulated annealing* sob o ponto de vista intensidade e funcionalidade exigidas pelo contexto industrial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] M. E. Porter, *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York, USA: Maxwell Macmillan Canada, Inc., 1985.
- [2] C. W. L. Hill, «Differentiation Versus Low Cost or Differentiation and Low Cost: A Contingency Framework», *Acad. Manag. Rev.*, vol. 13, n. 3, pp. 401–412, Jul. 1988, doi: 10.5465/amr.1988.4306957.
- [3] Portal do INE, «Proporção de empresas com 10 e mais pessoas ao serviço que utilizam software de aplicação (Enterprise resource planning - ERP) (%) por Escalão de pessoal ao serviço». [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0007945&contexto=bd&selTab=tab2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007945&contexto=bd&selTab=tab2) (acedido Jun. 11, 2020).
- [4] J. Lisboa e C. Gomes, *Gestão de Operações*, 2ª Edição. Grupo Editorial Vida Económica, 2008.
- [5] M. de A. Marconi e E. M. Lakatos, *Fundamentos de metodologia científica*, 5ª Edição. São Paulo, Brasil: Editora Atlas S.A., 2003.
- [6] «SEGIN». <https://www.segin.pt/> (acedido Jun. 11, 2020).
- [7] Ç. Sel e A. Hamzadayı, «A simulated annealing approach based simulation-optimisation to the dynamic job-shop scheduling problem», *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 24, n. 4, pp. 665–674, 2018, doi: 10.5505/pajes.2017.47108.
- [8] D. C. Bissoli, W. A. S. Altoe, G. R. Mauri, e A. R. S. Amaral, «A simulated annealing metaheuristic for the bi-objective flexible job shop scheduling problem», em *Proceedings of the 2018 3rd IEEE International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering, RICE 2018*, Out. 2018, vol. 2018-January, doi: 10.1109/RICE.2018.8627907.
- [9] R. Zeng e Y. Wang, «A chaotic simulated annealing and particle swarm improved artificial immune algorithm for flexible job shop scheduling problem», *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2018, n. 1, 2018, doi: 10.1186/s13638-018-1109-2.
- [10] M. Henneberg e J. S. Neufeld, «A constructive algorithm and a simulated annealing approach for solving flowshop problems with missing operations», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 54, n. 12, pp. 3534–3550, 2016, doi: 10.1080/00207543.2015.1082670.
- [11] K. Teramoto, E. Morinaga, H. Wakamatsu, e E. Arai, «An efficient method of job-shop scheduling based on simulated annealing», em *Proceedings of 2018 ISFA - 2018 International Symposium on Flexible Automation*, 2018, pp. 383–388, doi: 10.11509/isfa.2018.383.

- [12] K. Zhang e J. Zhao, «Manufacturing flow shop scheduling problem based on simulated annealing algorithm», *Acad. J. Manuf. Eng.*, vol. 17, n. 1, pp. 63–70, 2019.
- [13] M. Yazdani, M. Gholami, M. Zandieh, e M. Mousakhani, «A simulated annealing algorithm for flexible job-shop scheduling problem», *Journal of Applied Sciences*, vol. 9, n. 4. pp. 662–670, 2009, doi: 10.3923/jas.2009.662.670.
- [14] X. Wu, X. Shen, e C. Li, «The flexible job-shop scheduling problem considering deterioration effect and energy consumption simultaneously», *Comput. Ind. Eng.*, vol. 135, n. June, pp. 1004–1024, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.06.048.
- [15] L. Hernández-Ramírez, J. Frausto-Solis, G. Castilla-Valdez, J. J. González-Barbosa, J. D. Terán-Villanueva, e M. L. Morales-Rodríguez, «A Hybrid Simulated Annealing for Job Shop Scheduling Problem», *Int. J. Comb. Optim. Probl. Informatics*, vol. 10, n. 1, pp. 6–15, 2019, [Em linha]. Disponível em: <https://ijcopi.org/index.php/ojs/article/view/111/95>.
- [16] L. Nie, X. Wang, e F. Pan, «A game-theory approach based on genetic algorithm for flexible job shop scheduling problem», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1187, n. 3, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1187/3/032095.
- [17] G. Zhang, L. Zhang, X. Song, Y. Wang, e C. Zhou, «A variable neighborhood search based genetic algorithm for flexible job shop scheduling problem», *Cluster Comput.*, vol. 22, n. s5, pp. 11561–11572, 2019, doi: 10.1007/s10586-017-1420-4.
- [18] L. Wang, G. Zhou, Y. Xu, S. Wang, e M. Liu, «An effective artificial bee colony algorithm for the flexible job-shop scheduling problem», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 60, n. 1–4, pp. 303–315, 2012, doi: 10.1007/s00170-011-3610-1.
- [19] K. Z. Gao, P. N. Suganthan, Q. K. Pan, T. J. Chua, C. S. Chong, e T. X. Cai, «An improved artificial bee colony algorithm for flexible job-shop scheduling problem with fuzzy processing time», *Expert Syst. Appl.*, vol. 65, pp. 52–67, 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2016.07.046.
- [20] Y. K. Lin e C. S. Chong, «A tabu search algorithm to minimize total weighted tardiness for the job shop scheduling problem», *J. Ind. Manag. Optim.*, vol. 12, n. 2, pp. 703–717, 2016, doi: 10.3934/jimo.2016.12.703.
- [21] X. Li e L. Gao, «An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem», *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 174, pp. 93–110, 2016, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.01.016.

- [22] F. Pezzella, G. Morganti, e G. Ciaschetti, «A genetic algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem», *Comput. Oper. Res.*, vol. 35, n. 10, pp. 3202–3212, 2008, doi: 10.1016/j.cor.2007.02.014.
- [23] A. Elrahman Elgendy, M. Hussein, e A. Elhakeem, «Optimizing Dynamic Flexible Job Shop Scheduling Problem Based on Genetic Algorithm International Journal of Current Engineering and Technology Optimizing Dynamic Flexible Job Shop Scheduling Problem Based on Genetic Algorithm», 2017. Acedido: Mai. 14, 2020. [Em linha]. Disponível em: <http://inpressco.com/category/ijcet>.
- [24] M. Yin, X. Li, e J. Zhou, «An efficient job shop scheduling algorithm based on artificial bee colony», *Sci. Res. Essays*, vol. 5, n. 24, pp. 2578–2596, 2011, Acedido: Mai. 15, 2020. [Em linha]. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/SRE>.
- [25] G. Vilcot e J.-C. Billaut, «International Journal of Production Research A tabu search algorithm for solving a multicriteria flexible job shop scheduling problem A tabu search algorithm for solving a multicriteria flexible job shop scheduling problem», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 49, n. 23, pp. 6963–6980, 2011, doi: 10.1080/00207543.2010.526016.
- [26] M. L. Pinedo, «Scheduling Theory, Algorithms, and Systems (Forth Edition), Publisher Springer», 2012.
- [27] F. Lopez, P. & Roubellat, *Production Scheduling. Control Systems, Robotics and Manufacturing. Wiley. Wiley-ISTE*; 1 edition (March 1, 2013), 2008.
- [28] X. Li, L. Gao, C. Zhang, e X. Shao, «A review on integrated process planning and scheduling», *International Journal of Manufacturing Research*, vol. 5, n. 2. pp. 161–180, 2010, doi: 10.1504/IJMR.2010.031630.
- [29] K. R. Baker e D. Trietsch, *Principles of Sequencing and Scheduling*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons INC, 2009.
- [30] J. R. Victor Roldão, *Gestão das Operações - Uma Abordagem Integrada*, 1ª Edição. 2007.
- [31] J. H. Herrman, *Handbook of Production Scheduling*. Maryland, USA: Springer, 2006.
- [32] *Taylor, Frederick, Winslow (1911). Shop Management, Harper & Brothers Publishers, New York, New York.* .
- [33] «Gantt, H.L., 1916, Work, Wages, and Profits, second edition, Engineering Magazine Co., New York, Hive Publishing Company, Easton, Maryland, 1973.»

- [34] R. M. Karp, «Reducibility Among Combinatorial Problems», em *50 Years of Integer Programming 1958-2008*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 219–241.
- [35] A. B. G. S. e Santos, «Análise do desempenho de técnicas de otimização no problema de escalonamento, Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)», 2015.
- [36] D. Fischer, «Dr. Deming: The American who Taught the Japanese About Quality», *Qual. Manag. J.*, vol. 6, n. 2, pp. 81–82, 1999, doi: 10.1080/10686967.1999.11919189.
- [37] J. G. Timmers e T. Van Der, «Out of the Crisis», *The TQM Magazine*, vol. 2, n. 3. Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, Cambridge Mass., p. 507, 1990, doi: 10.1108/eb059497.
- [38] D. Lei, «A genetic algorithm for flexible job shop scheduling with fuzzy processing time», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, n. 10, pp. 2995–3013, Mai. 2010, doi: 10.1080/00207540902814348.
- [39] J. D. Tedford e C. Lowe, «Production scheduling using adaptable fuzzy logic with genetic algorithms», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, n. 12, pp. 2681–2697, Ago. 2003, doi: 10.1080/0020754031000090621.
- [40] M. H. F. Zarandi, A. Hemmati, S. Davari, e I. B. Turksen, «A simulated annealing algorithm for routing problems with fuzzy constrains», *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 26, n. 6, pp. 2649–2660, Jan. 2014, doi: 10.3233/IFS-130935.
- [41] D. Terekhov, D. G. Down, e J. C. Beck, «Queueing-theoretic approaches for dynamic scheduling: A survey», *Surveys in Operations Research and Management Science*, vol. 19, n. 2, pp. 105–129, 2014, doi: 10.1016/j.sorms.2014.09.001.
- [42] A. M. Krieger e M. Raghavachari, «V-shape property for optimal schedules with monotone penalty functions», *Comput. Oper. Res.*, vol. 19, n. 6, pp. 533–534, Ago. 1992, doi: 10.1016/0305-0548(92)90007-R.
- [43] J. J. Kanet, «Minimizing variation of flow time in single machine systems», *Manage. Sci.*, vol. 27, n. 12, pp. 1453–1464, Dez. 1981, doi: 10.1287/mnsc.27.12.1453.
- [44] J. J. Kanet e J. C. Hayya, «Priority dispatching with operation due dates in a job shop», *J. Oper. Manag.*, vol. 2, n. 3, pp. 167–175, 1982, doi: 10.1016/0272-6963(82)90004-3.
- [45] R. Bellman, *Dynamic Programming*, 6ª Edição. Princeton, USA: Rand Corporation, 1957.

- [46] J. Blazewicz, K. Ecker, E. Pesch, G. Schmidt, e J. Weglarz, *Handbook on Scheduling From Theory to Applications*. Springer, 2007.
- [47] E. G. Talbi, *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Lille, França: John Wiley & Sons INC, 2009.
- [48] I. Boussaïd, J. Lepagnot, e P. Siarry, «A survey on optimization metaheuristics», em *Information Sciences*, Jul. 2013, vol. 237, pp. 82–117, doi: 10.1016/j.ins.2013.02.041.
- [49] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, 2nd Editio. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [50] D. Karaboga, «An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization», *Tech. Report-TR06, Erciyes Univ. Eng. Fac.*, 2005.
- [51] M. Pham, D. T., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S. & Zaidi, «The Bees Algorithm. Technical Note», *Cardiff Univ.*, 2005.
- [52] N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, A. H. Teller, e E. Teller, «Equation of State Calculations by Fast Computing Machines», *Cit. J. Chem. Phys*, vol. 21, n. 6, p. 1087, 1953, doi: 10.1063/1.1699114.
- [53] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, e M. P. Vecchi, «Optimization by simulated annealing», *Science (80- )*, vol. 220, n. 4598, pp. 671–680, 1983, doi: 10.1126/science.220.4598.671.
- [54] V. Černý, «Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm», *J. Optim. Theory Appl.*, vol. 45, n. 1, pp. 41–51, 1985, doi: 10.1007/BF00940812.
- [55] E. Bonomi e J. L. Lutton, «N-City Travelling Salesman Problem: Statistical mechanics and the metropolis algorithm», *SIAM Rev.*, vol. 26, n. 4, pp. 551–568, 1984, doi: 10.1137/1026105.
- [56] E. Bonomi e J. L. Lutton, «The asymptotic behaviour of quadratic sum assignment problems: A statistical mechanics approach», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 26, n. 2, pp. 295–300, Ago. 1986, doi: 10.1016/0377-2217(86)90193-1.
- [57] J.-L. Lutton e E. Bonomi, «Simulated annealing algorithm for the minimum weighted perfect euclidean matching problem», *RAIRO - Oper. Res.*, vol. 20, n. 3, pp. 177–197, 1986, doi: 10.1051/ro/1986200301771.
- [58] P. J. M. van Laarhoven e E. H. L. Aarts, «Simulated annealing», em *Simulated Annealing: Theory and Applications*, Dordrecht: Springer Netherlands, 1987, pp. 7–15.

- 
- [59] C. Sechen e A. Sangiovanni-Vincentelli, «The Timber Wolf Placement and Routing Package», *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 20, n. 2, pp. 510–522, 1985, doi: 10.1109/JSSC.1985.1052337.
- [60] D. Abramson, M. Krishnamoorthy, e C. Henry Dang, «Simulated Annealing Cooling Schedules for the School Timetabling Problem», 1996.
- [61] F. Glover, «Future paths for integer programming and links to artificial intelligence», *Comput. Oper. Res.*, vol. 13, n. 5, pp. 533–549, Jan. 1986, doi: 10.1016/0305-0548(86)90048-1.
- [62] R. Battiti e G. Tecchiolli, «The Reactive Tabu Search», *ORSA J. Comput.*, vol. 6, n. 2, pp. 126–140, Mai. 1994, doi: 10.1287/ijoc.6.2.126.

## APÊNDICE A – RESULTADOS DA EXPERIÊNCIA DO PROBLEMA DE ESCALONAMENTO COMPARANDO AS TÉCNICAS RD E SA

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
3982	4095	4646	4617	4567	3887	4935	4574	4436	3887	3734	SA
3973	3858	4196	4453	5426	3907	4048	4334	4173	3858	3557	SA
4075	3870	4424	4979	3626	3946	5061	4394	4932	3626	3790	RD
4414	4316	4922	4270	4724	4056	4847	5050	4813	4056	4216	RD
4707	4744	4731	5228	4398	4707	4051	5133	5086	4051	3822	SA
4983	4698	4725	5197	4132	4983	5106	4632	5109	4132	4109	SA
4040	3983	3841	4975	4715	4014	4354	4620	4334	3841	3826	SA
4353	4356	4766	4440	4084	4499	4700	4447	3922	3922	3699	SA
4950	4846	4610	4822	3256	4922	5252	5080	5311	3256	4360	RD
4654	4553	4045	4541	3468	4454	4307	4225	4009	3468	3628	RD
4234	3986	3906	5226	5167	4092	5133	4355	4916	3906	3790	SA
4152	3694	4003	4617	4350	3950	4134	4635	4364	3694	3801	RD
4165	4075	4154	5234	4299	4092	4402	5133	4366	4075	3653	SA
3981	4134	4595	4173	4854	4091	4620	4174	4726	3981	3999	RD
4508	4206	4831	4326	4892	4312	4912	4383	4702	4206	3792	SA
5271	5505	4965	5434	4862	5405	5455	4602	5600	4602	4367	SA
5489	5427	5677	5172	4177	5321	5568	4849	5537	4177	4484	RD
4680	4680	4907	4909	3803	4680	5233	4922	5350	3803	4444	RD
4256	4186	4983	4516	5495	4419	4355	4970	5195	4186	3743	SA
4139	4106	4086	4643	4881	4196	4688	4049	4679	4049	3566	SA
4200	4015	4880	4754	3871	4240	4512	4284	5253	3871	4059	RD
4213	4296	4243	4315	4479	4040	4361	4255	4944	4040	3965	SA
4405	4339	4976	4559	4331	3887	4878	5210	5117	3887	3787	SA
3813	3864	4241	4505	3764	3995	4297	4212	4177	3764	3738	SA
4087	3966	4298	4635	4936	4228	4692	4542	4105	3966	3586	SA
4494	4603	5524	5127	4383	4494	5193	4676	5184	4383	4210	SA
4253	4880	4707	4672	5145	4456	4502	4549	4614	4253	4222	SA
4403	4317	4940	4064	4391	4334	4521	4459	4429	4064	4127	RD
4408	4458	4264	4848	4107	4458	4295	4756	4457	4107	3796	SA
3750	3824	4403	4749	4919	3858	5056	4159	4489	3750	3759	RD
4225	4423	4208	4832	4527	4250	4314	4953	4701	4208	3906	SA
3727	3490	3489	4926	3499	3702	3829	4736	4172	3489	3515	RD
4938	4719	5025	5227	4158	4938	4375	5540	4835	4158	4492	RD
4103	4151	4012	4619	4464	4057	4511	4119	4858	4012	3836	SA
4195	4121	4337	4047	4518	4176	4625	3948	4020	3948	3747	SA
3921	4023	4006	4672	3189	4059	3973	4589	4235	3189	3604	RD
4240	3776	4653	4484	4540	4251	4402	4493	3968	3776	3647	SA
4471	4170	4521	4299	5248	4000	4123	4241	3856	3856	3795	SA
4268	4204	3912	3750	4231	4204	3827	3589	4245	3589	3420	SA
4493	4623	5182	4808	4952	4469	4459	5366	4429	4429	4463	RD

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
5079	4527	3984	5018	4968	4901	5375	4879	4894	3984	3899	SA
4012	4126	4412	5162	4265	4148	5215	4165	4398	4012	3715	SA
3935	3841	4316	4787	4600	3935	4820	4495	4422	3841	3927	RD
4328	4188	4429	4047	4761	4106	4654	4431	4724	4047	3760	SA
4056	4333	4056	4520	4539	4128	4417	4436	4151	4056	3725	SA
4737	4756	4521	4469	5140	4852	4767	4636	4956	4469	4167	SA
3997	4258	4426	4603	4301	4151	4094	4445	4469	3997	3671	SA
4183	4384	4258	5515	4758	4223	5274	4481	4876	4183	4245	RD
4197	4359	4752	4218	4345	4221	5054	4299	4883	4197	3996	SA
4051	3986	4237	4722	4624	3893	4622	4628	4350	3893	3614	SA
4716	5011	4962	5320	5577	4703	5467	4821	5216	4703	4486	SA
5363	5142	5425	5134	5069	5560	4958	5195	5281	4958	4556	SA
4474	4410	4520	4882	5046	4474	4545	4876	4317	4317	4304	SA
4044	3977	4256	4558	4131	3977	4151	4644	3973	3973	3816	SA
4450	4447	4345	4475	6181	4447	4737	4346	4579	4345	3266	SA
4619	4271	4569	5038	4946	4692	4717	4267	4509	4267	3738	SA
4566	4084	4366	4961	4427	4546	4816	4526	4301	4084	3670	SA
4260	4442	4293	4984	4575	4260	4643	4185	4802	4185	3670	SA
4155	4124	4709	4552	4302	4155	5133	4484	4723	4124	3860	SA
4295	4614	4408	4552	3309	4432	4324	4201	4112	3309	3727	RD
4350	4636	4700	4554	4689	4443	4795	4874	4522	4350	4018	SA
4064	4242	4489	4645	4141	4141	4652	4465	4706	4064	4111	RD
4751	4441	4591	4793	3087	4465	4645	4745	4624	3087	4099	RD
4027	4188	4820	4157	3840	4109	4409	4219	4459	3840	3731	SA
3718	3878	3910	4521	5217	3702	4648	3802	4169	3702	3323	SA
4162	4203	4283	4707	4046	3991	3978	4831	4621	3978	3876	SA
4700	4653	4575	4625	4743	4646	4755	4634	4500	4500	4270	SA
4868	4713	4449	4668	5081	4834	4164	4873	4775	4164	3814	SA
4544	4265	4534	4551	3952	4609	4129	4547	4342	3952	3884	SA
4302	3829	4303	4647	5131	4117	4368	4889	3924	3829	3664	SA
3912	3861	4149	4004	3760	3812	4069	4335	4054	3760	3471	SA
4332	4365	4850	4512	5154	4299	4905	4944	4601	4299	3802	SA
3790	4008	4112	4475	4400	3841	4514	4069	4530	3790	3728	SA
3839	3785	3572	4994	5116	3922	4617	3506	4104	3506	3121	SA
4652	4455	4623	4528	4851	4740	4602	4519	4480	4455	4007	SA
4068	3953	4610	4680	4191	4068	4738	4588	4438	3953	3954	RD
3490	3570	3889	4099	4060	3615	3982	3799	4218	3490	3257	SA
4808	4425	5104	4979	5726	4834	4657	4881	4782	4425	4233	SA
4620	4553	4208	5347	4047	4574	4768	4482	5216	4047	3839	SA
4138	4164	4401	4365	4384	4138	4453	4315	4231	4138	3656	SA
4583	4506	4954	4523	3708	4277	4859	4798	4473	3708	3618	SA
4256	4358	4648	4287	4842	4256	4924	4391	4601	4256	3943	SA
4588	4967	4938	5233	5946	4482	5121	5028	5064	4482	4306	SA

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
4233	4143	4448	4191	4887	4127	4892	4755	4222	4127	3793	SA
4390	4378	4388	4571	5186	4390	4212	4850	4443	4212	3844	SA
4134	4261	4913	4390	4641	4261	4627	4739	4606	4134	4002	SA
4236	4374	4824	4383	4441	4198	4460	4951	4489	4198	4078	SA
4309	4197	5467	4579	5354	4309	4322	4935	4513	4197	4010	SA
4098	4193	4487	4349	4549	4207	4354	4344	4488	4098	3805	SA
4837	4783	4456	4521	4481	4833	4773	4486	4488	4456	4215	SA
4476	4493	5175	4849	5931	4476	4656	5002	4949	4476	4331	SA
4699	4702	4567	4564	4282	4699	4923	4794	5069	4282	4399	RD
3701	3703	3857	4530	4563	3689	4433	4007	4512	3689	3503	SA
4156	4716	4738	4991	3251	4161	4470	4780	4717	3251	3458	RD
4122	4164	4314	4797	5163	4080	4420	4643	4919	4080	3910	SA
4263	4232	4046	4968	4648	4170	4894	4383	4696	4046	3870	SA
3922	4126	4318	4745	4292	3945	4348	4747	4551	3922	3766	SA
4577	4608	4639	4668	5204	4608	5397	5085	4730	4577	4263	SA
4172	4125	4343	4874	3658	4207	4385	4722	4607	3658	3865	RD
3802	4088	4591	4068	4130	4088	4780	4052	4149	3802	3663	SA
4657	4321	4654	4788	5812	4522	4199	4245	4907	4199	3663	SA
4536	4316	4948	4896	4765	4605	4572	4633	4473	4316	3775	SA
4860	4773	4578	4364	4393	4802	4870	4362	4887	4362	4222	SA
4318	4206	3926	4375	4267	4318	4453	4165	4445	3926	3891	SA
4569	4462	4168	4657	5286	4392	4884	4345	4653	4168	3943	SA
4662	4895	4216	4297	4372	4645	5071	4269	4252	4216	3498	SA
4453	4539	4701	5171	5518	4446	4676	4946	4872	4446	4192	SA
3579	3472	4102	4619	4123	3579	4214	4078	4056	3472	3428	SA
4411	4367	4887	4783	5347	4449	4800	4918	4805	4367	4019	SA
4654	4167	4231	4481	4729	4204	5111	4240	4556	4167	3683	SA
4127	4022	4353	4139	4782	4050	4092	4115	4110	4022	3409	SA
4766	4971	5141	4417	4527	4690	5016	4870	4733	4417	3409	SA
4255	4162	4658	4921	4594	4108	4350	5171	4007	4007	4014	RD
4804	4626	4391	4962	5559	4831	5497	4896	4870	4391	4153	SA
3669	3813	3968	4361	5412	3669	3989	4178	4083	3669	3398	SA
4093	3981	4538	5015	4375	4247	4383	4707	4719	3981	3731	SA
4506	4506	4260	3996	4709	4211	3840	4579	4409	3840	3596	SA
4245	4005	4329	4147	5189	4378	4243	4817	4232	4005	3736	SA
4858	4955	4941	4904	5630	4955	5059	4416	5373	4416	4150	SA
4784	5151	5096	5160	5184	4924	5695	4849	5159	4784	4293	SA
5006	4906	5486	5218	3584	4985	4725	5372	5395	3584	4119	RD
4212	4190	4528	5184	5163	4320	5005	4940	4986	4190	4077	SA
4280	4388	4438	4534	5038	4389	4138	4471	4826	4138	3878	SA
4315	4398	4343	4663	5799	4603	4577	4789	4427	4315	4218	SA
4211	3741	4073	4354	4569	4280	3998	4705	4561	3741	3616	SA
4729	4530	4506	4836	4512	4688	5092	4618	4767	4506	4176	SA

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
3985	4207	4694	3878	3812	3987	4050	4227	4132	3812	3696	SA
4399	3913	4122	4548	4438	4399	4524	4657	4244	3913	4105	RD
4777	4468	4365	5538	4187	4618	5134	4791	5025	4187	4097	SA
4694	4599	4217	4642	4415	4732	4704	4632	4509	4217	3712	SA
4445	4225	4256	4737	5162	4415	5021	4273	4905	4225	3712	SA
3941	4071	4046	5104	4382	3952	4818	4813	4223	3941	3452	SA
4270	4227	4502	4342	4414	4500	4799	4372	4990	4227	4089	SA
3809	3694	4004	4441	3341	3695	3906	4219	3418	3341	3360	RD
4507	4592	4069	4680	6273	4507	4549	5300	4523	4069	3717	SA
4651	4691	5216	4908	3656	4648	4440	4750	5146	3656	4311	RD
3640	3599	4607	4457	3556	3615	4129	4018	4268	3556	3409	SA
4401	4183	4011	4307	4472	4176	5191	4047	4627	4011	3409	SA
3762	3478	4011	4082	5117	3831	4267	4025	4472	3478	3174	SA
3771	3873	4528	4534	4517	3771	4862	4747	4762	3771	3820	RD
5018	5095	4900	5528	4369	5095	4886	5562	4477	4369	4149	SA
3989	4151	4286	4210	3861	4044	4235	3741	4572	3741	3650	SA
3692	3751	4262	4511	4499	3702	4666	4209	4202	3692	3456	SA
3844	3655	3817	4799	4572	3757	4377	4136	4498	3655	3596	SA
4322	4397	4555	4294	4832	4397	4705	4737	4661	4294	4005	SA
4049	3927	4519	4641	4660	4078	4692	4624	4754	3927	3491	SA
4416	3971	4413	4530	3917	4433	4695	4507	4457	3917	3763	SA
4610	4709	4526	4633	5454	4553	4894	4455	4481	4455	4212	SA
4707	4693	4807	4457	5761	4291	4631	4334	5162	4291	4064	SA
4772	4916	4743	5144	4315	4772	4380	4957	4721	4315	3754	SA
4492	4131	4366	4265	4713	4416	4643	4504	4699	4131	3754	SA
4665	4528	5278	4760	4157	4505	4982	4479	4982	4157	4374	RD
4296	4495	4159	4554	4069	4490	4218	4166	4540	4069	3808	SA
4208	4077	4891	4024	5489	4077	4823	4915	4574	4024	3800	SA
4576	4579	4915	4519	4915	4576	4678	4568	5149	4519	3764	SA
4526	4582	4559	4753	5318	4589	5213	4544	4885	4526	4062	SA
3941	3730	4378	5046	4478	3831	4721	4660	5162	3730	4006	RD
4320	4430	4175	4077	4725	4320	3880	4372	4709	3880	3611	SA
4247	4382	4382	4379	5083	4382	4643	4751	4384	4247	4185	SA
4871	5171	4865	5203	5607	4784	4656	5422	4996	4656	4253	SA
4216	4055	4704	4554	2940	4216	3925	5206	4375	2940	3811	RD
4494	4616	4999	4373	5225	4484	5147	4340	4445	4340	4176	SA
4362	4752	5026	4816	5267	4500	4634	5083	4846	4362	4408	RD
4620	4379	4102	4776	5278	4607	4413	3960	4449	3960	3484	SA
4194	4210	4212	5029	3175	4204	4998	4320	4802	3175	3484	RD
3730	3762	4246	4204	4424	3628	3974	4525	3793	3628	3484	SA
4157	4653	4510	4519	3469	4066	4462	4636	4182	3469	3988	RD
4846	4837	4995	4721	4751	4956	4743	5221	4865	4721	4286	SA
4382	4320	4766	4463	4317	4251	4843	4841	4351	4251	4147	SA

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
4730	4689	4136	5258	3479	4730	4623	4947	4651	3479	3681	RD
4745	4849	4892	4664	5050	4745	5066	4885	4750	4664	4327	SA
4495	4444	4871	4813	4024	4579	4357	5201	4899	4024	4178	RD
4707	4514	4896	5138	5912	4718	4688	4627	4868	4514	4287	SA
4715	4607	4473	5691	5244	4779	5031	5164	5175	4473	4189	SA
4443	4441	4690	4381	4715	4443	4802	4534	4587	4381	4025	SA
4842	4845	4398	5017	4304	4842	4355	4972	4734	4304	4059	SA
4078	3739	3988	4140	4298	4094	4530	3894	4872	3739	3174	SA
4211	3749	3784	4867	3399	4211	4209	4149	4380	3399	3503	RD
3946	3718	4101	3826	4121	3762	4113	4019	4086	3718	3339	SA
4231	4311	4515	4882	4623	4228	4302	5177	5188	4228	4156	SA
4171	4118	4223	4113	4694	4292	4143	3945	3916	3916	3683	SA
4605	4325	4592	4765	4685	4538	4788	4766	4904	4325	3984	SA
4108	4172	3921	5189	4975	4042	4754	4742	4729	3921	3568	SA
4824	4798	4697	5080	4320	4716	4537	5031	4912	4320	4355	RD
4133	4046	4375	4448	4836	4053	4531	4490	4333	4046	3699	SA
3825	3876	4087	4548	3536	3833	4230	4597	4960	3536	3629	RD
4665	4563	4334	5105	5129	4649	4523	4544	4942	4334	4161	SA
3983	4428	3948	4721	4475	4414	4594	4533	4377	3948	3835	SA
4120	3938	3940	4390	4907	4123	4472	4750	4074	3938	3596	SA
4251	4766	5175	5278	4856	4333	4860	4810	4956	4251	4239	SA
4366	4222	4581	4858	5062	4366	4305	4752	4736	4222	4034	SA
4862	5103	4114	4708	3519	5058	4159	4591	4749	3519	3886	RD
4242	4090	4003	4477	4445	4242	4088	4231	4539	4003	3402	SA
4260	3920	4068	4251	3502	4254	4168	4225	4082	3502	3607	RD
4030	3856	4096	4338	5446	4044	4391	4347	3848	3848	3463	SA
4232	4313	4485	4500	4975	4164	4488	4813	5171	4164	3997	SA
4331	4365	4829	5308	5194	4331	5713	4639	5112	4331	3990	SA
4128	3851	4015	4361	5596	4128	4386	4414	4323	3851	3425	SA
5101	5249	5289	5115	4951	4940	4895	5304	5079	4895	4643	SA
4146	3909	4469	4480	5190	4146	4613	4238	4592	3909	3808	SA
4483	4420	4443	4921	5283	4539	4893	4567	4515	4420	3746	SA
3909	3945	4813	4253	4601	3909	4216	4580	5075	3909	3798	SA
4500	4500	4785	4537	5775	4599	4503	4758	4304	4304	4112	SA
3928	3906	4057	5000	3304	4172	4270	4430	4804	3304	3552	RD
4800	4800	3948	4866	4557	4800	4694	4429	5031	3948	3581	SA
3833	4196	4740	4583	2721	4220	4345	4361	4620	2721	3733	RD
4308	4556	4525	5318	4834	4395	4394	4339	4659	4308	3704	SA
4566	4482	4592	5191	4191	4665	4923	5116	5366	4191	4327	RD
4220	4076	4162	4424	4492	4201	4666	4634	4602	4076	4250	RD
4274	3864	4500	4321	4099	4075	4020	4211	3933	3864	3702	SA
3980	3663	4383	4298	4333	3980	4252	4078	4522	3663	3670	RD
4143	4530	4422	4738	5239	4365	4549	4885	4756	4143	3897	SA

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
4825	4744	4981	4877	5180	4772	5323	4683	5120	4683	4456	SA
4100	4046	4069	3657	5245	4040	4760	4092	4536	3657	3566	SA
3573	3216	4087	4506	4480	3484	4154	3706	3829	3216	3337	RD
4695	4622	4553	4687	4355	4629	4540	4915	5014	4355	4012	SA
4139	4334	5094	4784	3808	4288	4567	4668	4992	3808	3968	RD
4337	4299	4437	4424	3254	4299	4335	4297	4257	3254	3721	RD
4478	4478	4536	4685	4348	4478	4699	4410	4668	4348	3721	SA
3689	3573	4255	4031	4797	3626	4046	3961	3769	3573	3284	SA
4210	4104	4546	4215	4540	4151	4490	4648	4461	4104	3532	SA
4952	4813	4373	4628	4468	4871	4115	4815	4773	4115	3864	SA
4764	3995	3782	5259	4597	4764	4106	5280	5234	3782	3517	SA
4154	3969	4370	4645	3589	4144	4278	4086	4866	3589	3919	RD
3950	3851	4721	4105	5111	3851	4478	4159	4477	3851	3378	SA
3480	3616	3509	4538	4557	3576	4278	4100	4532	3480	3349	SA
4520	4622	4415	5220	4259	4114	4631	4169	4911	4114	3349	SA
4141	4350	4040	4865	5032	4072	4628	4433	4498	4040	3349	SA
3995	3910	4362	4413	4834	3956	4799	4286	4085	3910	3625	SA
4302	4359	4167	4227	4450	4317	4346	4293	4605	4167	3668	SA
3719	3699	4218	4879	2643	3850	4200	4949	3881	2643	3728	RD
4200	4188	4009	4622	3335	4143	4280	4271	4588	3335	3662	RD
4754	4989	4931	5163	5148	4868	5095	4833	4970	4754	4426	SA
4238	4344	4645	4891	4503	4514	4922	4362	5293	4238	4124	SA
3968	4028	4025	4004	5135	4072	4033	4044	4130	3968	3611	SA
4014	3923	4866	4462	5035	3955	4707	4640	4908	3923	3877	SA
4559	4426	4233	4502	4076	4353	4134	4570	4526	4076	3902	SA
4605	4441	4327	4072	4088	4751	3744	4743	4140	3744	3744	SA
4258	4264	4333	4187	4082	4258	4356	4862	4799	4082	3939	SA
3895	3836	3822	4772	4329	3947	4872	4231	4750	3822	3810	SA
4266	4235	3952	4931	4591	4235	4878	4659	4247	3952	3853	SA
4145	3991	3731	4005	5779	4075	4123	4484	4378	3731	3667	SA
4693	4983	4301	4780	4202	4597	4047	4624	4875	4047	4001	SA
4670	4300	4474	4948	4198	4670	4267	4464	4776	4198	3997	SA
4034	4102	4168	5400	3938	4387	4352	4838	4647	3938	3819	SA
4736	4520	4996	4995	4115	4782	4956	4881	5338	4115	4200	RD
4809	4740	4702	4483	4907	4550	4601	4830	4171	4171	4003	SA
3843	3821	4249	4601	4765	3819	4793	4152	4504	3819	4235	RD
3387	3321	3674	4514	4669	3428	3983	3801	4495	3321	3284	SA
4295	4473	4717	4555	5251	4567	4572	4759	4667	4295	3733	SA
4809	4788	4710	4408	3948	4788	4396	4312	4474	3948	3937	SA
5083	5172	4899	4918	3699	5083	5071	5097	4763	3699	4384	RD
3924	3725	4245	4604	4695	3741	4545	4409	4218	3725	3882	RD
4052	3895	4671	4851	4206	4071	4517	4561	4749	3895	3721	SA
4794	4837	4823	4616	4191	4768	4415	4632	4535	4191	4045	SA

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
4722	4965	5005	4922	4565	4706	4491	4979	4325	4325	4004	SA
3609	3823	3684	4594	3612	3609	4028	4426	4183	3609	3639	RD
5087	5324	4913	5237	4579	4994	5634	4191	5326	4191	4028	SA
4804	4761	5438	4981	5094	4804	5380	4827	5795	4761	4419	SA
4685	4806	4771	4185	4288	5006	4920	4190	4416	4185	4393	RD
3912	3970	4365	4226	4116	3892	4272	4458	4667	3892	3877	SA
3967	4018	4565	4583	5141	4324	4253	5084	4639	3967	3925	SA
3383	3571	3841	3896	4719	3735	4415	3766	4242	3383	3317	SA
3981	3984	5188	4434	4543	3981	4411	4303	4838	3981	3764	SA
4707	4812	5316	5070	3594	4738	4763	4947	5016	3594	4066	RD
4536	4460	3938	4626	3374	4538	3899	4719	4607	3374	3633	RD
4157	3962	4466	4950	4325	4157	5059	4443	4573	3962	3502	SA
3964	3819	4320	4907	4972	3933	4769	4836	4568	3819	3769	SA
4057	3857	5090	3869	4390	3915	4364	4835	4524	3857	3685	SA
3873	4317	4407	3850	5331	3896	4449	3858	3953	3850	3589	SA
4401	4228	4545	4831	5201	4282	5155	4624	3895	3895	3549	SA
4032	4168	4327	4382	3870	4194	3947	4148	4482	3870	3491	SA
4687	4568	4382	4616	3884	4550	4902	4071	4733	3884	3832	SA
4790	4665	4838	4658	5778	4734	4584	4378	4441	4378	3947	SA
4064	4029	4682	4744	4450	4180	4831	4432	4856	4029	3847	SA
4761	4309	4254	4293	5100	4814	4624	4211	4470	4211	3783	SA
4408	4174	4541	4507	4698	4300	4497	4337	4321	4174	3999	SA
4329	4197	4380	4750	5833	4413	4508	4724	4275	4197	4010	SA
4812	4958	4328	4862	4856	4754	4622	4552	4139	4139	3685	SA
3985	4342	4592	4004	4714	4042	4701	4740	4470	3985	4025	RD
4669	4592	4884	4835	4955	4669	4969	4741	4807	4592	4601	RD
4643	3854	3893	4655	3113	4104	4080	4234	4594	3113	3458	RD
4564	4595	4480	4541	4639	4464	4555	5082	4512	4464	3458	SA
4671	4484	4955	4402	4410	4403	4365	4565	4549	4365	3458	SA
4319	4337	4412	4593	5660	4319	4666	4772	4150	4150	3848	SA
4118	4533	4616	4790	4581	4399	5054	4563	4821	4118	3986	SA
4493	4199	4224	4864	5596	4528	4416	4697	4587	4199	4204	RD
4550	4565	4897	4471	5079	4612	4570	4415	4883	4415	4182	SA
3999	4204	4503	4903	4860	4181	5032	4720	4866	3999	4162	RD
4657	4796	4705	4526	4150	4796	4609	4605	4985	4150	4047	SA
4709	4275	4059	4657	4863	4535	4658	4150	4119	4059	3424	SA
4723	4416	3948	5212	5596	4737	5086	5077	4676	3948	3800	SA
4698	4719	4214	4868	6155	4829	4728	4476	4269	4214	3836	SA
4864	4864	4536	4890	5714	4864	4480	4732	4568	4480	4238	SA
4301	3937	4256	4672	4492	4301	3998	4585	4300	3937	3619	SA
4277	4591	4362	4564	5729	4277	4938	3907	4531	3907	3765	SA
4557	4028	4484	4308	3761	4450	4351	4417	4164	3761	3666	SA
4271	4179	4482	4658	3432	4203	5067	4158	4698	3432	3666	RD

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
4403	3845	3865	4649	4377	4532	4147	4189	4646	3845	3475	SA
4166	4122	4216	4927	5685	4166	4702	3963	4734	3963	4292	RD
4019	3956	4012	4468	5733	4079	4892	4002	4418	3956	3491	SA
3925	4035	4206	4805	4219	3886	4630	4136	4395	3886	3834	SA
3773	3964	4518	4157	4178	3851	4162	4317	4607	3773	3804	RD
4365	4323	5332	4519	4752	4530	4727	4595	4430	4323	4109	SA
4801	4660	4672	5615	4927	4770	5238	5082	5356	4660	4150	SA
5000	4645	4440	5302	6420	5050	4971	5325	5019	4440	4150	SA
4690	4692	4709	4938	2855	4607	4703	4818	4854	2855	4467	RD
4242	4284	4542	5003	4265	4363	4784	5001	5228	4242	4074	SA
4644	4568	4222	4631	4439	4456	4519	4647	4405	4222	4108	SA
4084	4177	4053	4987	4766	4143	4597	4624	4244	4053	4152	RD
3876	3880	3900	4527	5058	3860	4638	4100	3995	3860	3598	SA
3613	3570	4059	4130	4682	3613	3985	4415	4307	3570	3714	RD
3999	4102	4340	4656	4021	4034	4321	4683	4656	3999	3502	SA
4419	4535	4908	4880	3731	4614	4930	4632	4714	3731	4238	RD
3742	3892	4272	4598	3929	3713	4287	4585	4362	3713	3492	SA
4575	4488	4452	4485	5197	4384	4672	4833	4238	4238	3492	SA
4231	3963	4721	4827	4326	4244	4914	3702	4305	3702	3742	RD
4078	3715	4513	4690	4654	3915	4429	4526	4566	3715	3742	RD
3974	4039	5200	4040	4561	4066	4889	4554	4490	3974	3905	SA
5264	5272	5044	5125	3333	5192	4922	4865	5189	3333	4449	RD
3486	4129	4418	4262	4933	3662	4336	4597	4257	3486	3613	RD
3964	3719	4173	4485	4344	3719	4369	4282	5075	3719	3571	SA
4178	4185	4472	4630	4274	4636	5128	4183	4655	4178	4022	SA
4614	4665	4716	4305	3544	4643	4231	4692	4264	3544	4086	RD
4657	4600	5290	4947	4857	4657	4936	4976	5185	4600	3889	SA
3744	3672	4098	4067	4830	3724	3756	4321	4021	3672	3618	SA
4020	3911	3693	5144	4236	4060	4412	4312	4296	3693	3495	SA
4845	5006	4657	5212	3415	4806	5344	4598	5195	3415	4392	RD
4494	4459	4378	4858	5116	4459	4941	4737	4527	4378	4177	SA
4888	4767	5143	4929	4878	4838	5012	5023	4519	4519	4342	SA
4418	4362	4576	4387	5183	4620	4192	5057	4787	4192	3989	SA
4581	4474	4408	5047	4647	4581	4918	4705	4788	4408	4254	SA
4814	4651	4197	4330	3664	4843	4381	4518	4461	3664	3275	SA
4541	4485	4265	4749	4846	4541	4665	4585	4102	4102	3783	SA
4289	4038	4695	4664	3748	4199	5053	4225	4329	3748	4082	RD
4682	4405	4943	4670	4461	4546	4923	4683	5267	4405	4082	SA
4042	3952	3893	4956	4597	4081	4133	4924	4629	3893	3790	SA
4636	4736	4050	4669	4187	4752	4463	5130	4376	4050	4030	SA
4165	4361	5130	4589	3152	4265	5050	4083	4766	3152	3696	RD
4391	4417	4524	4759	4496	4424	4644	4896	4149	4149	3905	SA
3838	3784	4332	4675	4702	3669	4563	4731	4542	3669	3675	RD

RC	EDD	SPT	LPT	NOP	Folga	FCFS	LCFS	Random	Resultado RD	Resultado SA	Técnica
4088	4009	3829	4366	4629	4067	4249	4320	3741	3741	3430	SA
4297	4259	5113	4229	4874	4172	4239	4557	4144	4144	3300	SA
4611	4246	4612	4861	4706	4540	4663	5371	4338	4246	4240	SA
4499	4275	4210	4548	4781	4410	4530	4199	4689	4199	3682	SA
4328	4473	4836	4704	4575	4473	5127	4317	4769	4317	4009	SA
3898	3975	4150	4303	4617	3961	4325	3983	4780	3898	3758	SA
4987	4691	4412	4357	5359	5016	4575	4664	4439	4357	4060	SA
4733	4411	4892	4867	5068	4733	4936	4862	4823	4411	4441	RD
4503	4638	4575	4698	4213	4499	4556	4228	4591	4213	3791	SA
3987	3932	4106	4507	3745	3977	4048	5038	4959	3745	3730	SA
4597	4272	3823	4422	4882	4597	4279	4801	4701	3823	3926	RD
4316	4542	4789	5214	5191	4295	4702	4696	4540	4295	4124	SA
4704	4096	3735	4603	4081	4368	4257	4895	4777	3735	3719	SA
3859	3747	3923	4369	4992	3859	4650	3552	4474	3552	3378	SA
5250	5006	5026	4839	3297	5012	4484	4948	4691	3297	3323	RD
4005	4074	3780	4287	5286	4069	4447	4013	4571	3780	3435	SA
4182	4095	4639	4062	5305	4019	4536	3963	4210	3963	3576	SA
4554	4455	4518	4115	3963	4554	4272	4033	4055	3963	3575	SA
4528	4137	4160	4798	5644	4552	5338	4648	4923	4137	3944	SA
3984	3984	4430	5026	4984	3984	4631	4741	4951	3984	3737	SA
3527	3617	3651	4292	4938	3627	3823	3864	4021	3527	3341	SA
4188	4196	4176	4467	4179	4188	4489	4253	4109	4109	3734	SA
4509	4807	5249	5140	5195	4774	5416	5173	4493	4493	4371	SA
4675	4163	3974	5255	5636	4957	5114	3842	4413	3842	3556	SA

Resultados via técnica escalonador SEGIN

Resultados via técnica simulated annealing

A 12ª e última coluna indica a técnica que obteve o melhor resultado para cada uma das 365 iterações