

# **Análise de um sistema para planejamento e controle avançados da produção com base em conceitos de sistemas de capacidade finita**

*Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para a aprovação na disciplina  
**DAS 5511: Projeto de Fim de Curso***

**Vitor Oliveira de Souza**

*Florianópolis, agosto de 2015*

**Análise de um sistema para planejamento e controle  
avançados da produção com base em conceitos de  
sistemas de capacidade finita**

***Vitor Oliveira de Souza***

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina  
**DAS5511: Projeto de Fim de Curso**  
e aprovada na sua forma final pelo  
**Curso de Engenharia de Controle e Automação**

***Prof. João Carlos Espíndola Ferreira***

---

Assinatura do Orientador

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira  
*Orientador no Curso*

Álvaro Antonio B. Uriarte  
*Orientador na Empresa*

Ricardo José Rabelo  
*Avaliador*

Matheus Varmeling Capitanio  
Eduardo Felipe Possato  
*Debatedores*

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer primeiramente ao corpo docente do curso de Engenharia de Controle e Automação que, com os conhecimentos passados na teoria dentro da sala de aula, pude concluir esse projeto, atingindo os resultados desejados.

Agradeço também a empresa WEG Motores por permitir que eu desenvolvesse as ferramentas dessa monografia utilizando seus recursos. Meu chefe, por me dar a orientação necessária. Todos os colaboradores do setor de injeção de alumínio e da engenharia industrial que de alguma forma me ajudaram nessa trajetória.

A meus pais, pelos ensinamentos e apoio durante todo o período que cursei engenharia, escutando minhas lamentações e me dando coragem pra seguir em frente.

Aos meus amigos, que me apoiam e me ajudam a me manter firme nos meus objetivos.

A minha namorada que, como ninguém, me entendeu nas horas difíceis e me manteve calmo para continuar.

A todos que de alguma forma me ajudaram nessa etapa da universidade e vão me ajudar no caminho que tenho a seguir.

## Resumo

Com a necessidade de flexibilização da produção nas empresas de manufatura, causada pela mudança das características da demanda, fez-se necessária uma adaptação em vários setores das empresas ao redor do mundo. Um dos setores afetados foi o PCP (Planejamento e Controle da Produção), que é responsável por planejar as atividades de produção de maneira que o produto final seja entregue ao cliente no prazo correto e de acordo com os padrões de qualidade exigidos por ele. Ao longo da história, uma evolução nas ferramentas de administração e controle da produção teve início em meados do século XX, quando foi aplicada a ferramenta *MRP (Materials Requirement Planning)*. Até a atualidade, várias outras ferramentas foram lançadas, dando ênfase para o *MRP II (Manufacturing Resource Planning)*, e mais recentemente a ferramenta *FSC (Finite Capacity Scheduling)*, a qual é utilizada neste trabalho. O primeiro objetivo deste trabalho consiste em provar a eficácia do uso da abordagem de *FSC* na programação e sequenciamento de ordens de produção do setor de injeção de alumínio – responsável pela produção de rotores – da empresa produtora de motores elétricos WEG. Adicionalmente, o levantamento de requisitos para desenvolvimento de um sistema para programação avançada da produção é o segundo objetivo desta monografia. Ao final, foram obtidos resultados satisfatório na redução de setup's e características importantes foram capturadas nos requisitos.

## Abstract

Due to the need for flexibility of production in manufacturing companies, caused by the changing in demand characteristics, an adaptation was necessary in many sectors of businesses around the world. One of the affected sectors was the PCP (Planning and Production Control), which is responsible for planning the production's activities so that the final product is delivered to the customer at the right time and in accordance with the quality standards required by them. Throughout history, an evolution in management tools and control production began in the mid-twentieth century when it was used the MRP (*Materials Requirement Planning*) tool. To the present, several other tools were launched, with emphasis on the *MRP II (Manufacturing Resource Planning)* and the *FSC (Finite Capacity Scheduling)*, which is the most current and study tool of this work. This work has as its first goal to prove the efficacy of the *APS* approach in scheduling the production orders of die casting department, at WEG Motors. Additionally, the requirements modeling for the development of a system for advanced production schedule is the second purpose of this work. Requirement Engineering's tools were used to do so. At the end, satisfactory results were achieved in reducing setup's and important features were captured in the requirements.

# Sumário

Agradecimentos.....	3
Resumo .....	4
Abstract .....	5
Sumário .....	6
Lista de figuras .....	9
Lista de tabelas .....	11
Simbologia.....	12
Capítulo 1: Introdução .....	13
1.1: O problema .....	14
1.2: Objetivos .....	17
1.3: Estrutura do documento.....	18
Capítulo 2: WEG Equipamentos Elétricos S/A e a Injeção de Alumínio .....	20
2.1: A WEG Motores .....	22
2.2: O Departamento de Injeção de Alumínio .....	23
2.3: O Setup (Preparação) de uma injetora .....	27
2.4: Similaridade entre CTs.....	28
Capítulo 3: Referencial teórico .....	30
3.1: Planejamento e Controle da Produção .....	30
3.1.1: Atividades do PCP.....	31
3.1.2: Fluxo de informações do PCP .....	33
3.1.3: MRP .....	34
3.1.4: Sistemas de capacidade finita e programação avançada da produção .....	40

3.2: Engenharia de requisitos .....	42
3.2.1: Técnicas pra elicitação de requisitos .....	45
3.2.2: Análise e especificação dos requisitos (Documentação).....	50
Capítulo 4: Metodologia .....	53
4.1: Modelagem dos requisitos .....	54
4.1.1: Técnicas de modelagem .....	54
4.2: Protótipo.....	56
Capítulo 5: Desenvolvimento do Protótipo.....	60
5.1: Projeto do protótipo.....	60
5.2: Desenvolvimento do protótipo.....	64
Capítulo 6: Resultados .....	70
6.1: Resultados do protótipo .....	70
6.1.1: Redução do número de <i>setups</i> .....	70
6.1.2: Aceitação dos colaboradores na fábrica.....	72
6.1.3: Carga / Máquina .....	73
6.1.4: Atraso da produção .....	75
6.1.5: Tempo reduzido de máquina parada.....	77
6.2: Requisitos .....	78
6.2.1: Introdução do documento de requisitos.....	78
6.2.2: Descrição Geral do Produto .....	79
6.2.3: Requisitos específicos.....	82
Capítulo 7: Conclusões e Perspectivas .....	84
7.1: Análise da viabilidade da utilização da abordagem <i>FSC</i> .....	84
7.2: Levantamento dos requisitos .....	85
7.3: Perspectivas e recomendações para trabalhos futuros .....	85
7.4: Problemas encontrados .....	86



Bibliografia:.....87

## Lista de figuras

Figura 1 - Pacote de chapas de um rotor .....	15
Figura 2 - Exemplo de uma máquina injetora horizontal .....	16
Figura 3 - Gráfico representativo da fabricação de um lote de uma peça .....	17
Figura 4 - Histórico de colaboradores.....	21
Figura 5 - Histórico da receita operacional líquida.....	21
Figura 6 – Vista explodida de um motor elétrico.....	22
Figura 7 - Chapa de aço e as ranhuras .....	24
Figura 8 – 1: Pino; 2: Chaveta; 3: Conjunto.....	24
Figura 9 - Pacote sendo montado .....	25
Figura 10 - 1: Forno dosador; 2: Forno cadinho .....	26
Figura 11 - Rotor injetado .....	26
Figura 12 - Esquema de um processo genérico .....	30
Figura 13 - Prazos, atividades e objetivos das empresas [ 20 ].....	32
Figura 14 - Fluxo de informações e PCP [ 20 ].....	34
Figura 15 - Lista de materiais de uma Lapizeira P207 [ 5 ].....	36
Figura 16 - Abrangência do MRP e MRP II [ 1 ] .....	38
Figura 17 - Ciclo fechado MRP. [ 4 ].....	39
Figura 18 - Modelo MRP II. [ 4 ].....	40
Figura 19 - Modelo Waterfall ou Cascata [ 8 ] .....	43
Figura 20 – Esquema do papel do protótipo.....	54
Figura 21 - Informações necessárias para analisar similaridade.....	63
Figura 22 - Exemplo da programação semanal.....	64
Figura 23 - Banco de dados do setor.....	65
Figura 24 - Estrutura do protótipo.....	66
Figura 25 - Interface indicando sugestão de centro de trabalho alternativo. ..	67
Figura 26 - Interface indicando sugestão de data alternativa. ....	68
Figura 27 - Display de carga máquina.....	68
Figura 28 - Fluxograma do processo de utilização do protótipo. ....	69
Figura 29 - Redução do número de setups. ....	71

Figura 30 - Número de setups antes e depois, por máquina. ....	71
Figura 31 - Gráfico de troca de CTs. ....	73
Figura 32 - Carga / Máquina.....	74
Figura 33 - Imagem da melhora no indicador de Carga / Máquina.....	75
Figura 34 - Atrasos antes e depois do protótipo .....	76
Figura 35 - Tempo reduzido de máquina parada.....	78

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Máquinas do setor de injeção de alumínio .....	29
Tabela 2 - Registro básico do MRP. [ 4 ] .....	36
Tabela 3 - Funcionalidades e a dificuldade de implementá-las. ....	62
Tabela 4 - Aceitação dos colaboradores na fábrica.....	72
Tabela 5 - Taxa de atraso de ordens de produção.....	77

## **Simbologia**

**APS** – Sistemas de Planejamento e Programação Avançados – *Advanced Planning and Scheduling*.

**CRP** – Planejamento da Capacidade de Recursos – *Capacity Requirement Planning*.

**FCS** – Sistemas de programação com Capacidade Finita – *Finite Capacity Scheduling*.

**MRP** – Planejamento de Necessidade de Materiais – *Finite Capacity Scheduling*.

**MRP II** – Planejamento de Recursos de Manufatura – *Manufacturing Resource Planning*.

**RCCP** – Planejamento de capacidade de grosso modo – *Rought-cut Capacity Planning*.

**SFC** – Controle de Chão de Fábrica – *Shop Floor Control*.

## Capítulo 1: Introdução

Um fenômeno já conhecido pelas empresas atualmente, porém que continua a oferecer dificuldades e desafios para os processos produtivos de todo o mundo, é a constante mudança no perfil da demanda por produtos manufaturados. Um consumidor, que há cinquenta anos não dava importância para a personalização de seus bens de consumo, cada vez mais obriga as empresas a aumentar suas opções de produtos, agregando características e funcionalidades diferentes a eles para atender a diferentes necessidades e personalidades da demanda.

Se uma empresa quiser se manter competitiva diante desse mercado, precisa flexibilizar sua produção sem transferir o custo disso para o preço final do produto. Ou seja, as empresas precisam modificar todo um paradigma de produção em grande escala, que dilui custos fixos na grande quantidade de peças, para um paradigma de pequenos lotes, com alta flexibilidade e redução constante de gastos. Nesse contexto, o planejamento e o controle da produção se tornam cada vez mais complexos, uma vez que com a flexibilização da produção aumenta o número de peças a serem compradas ou produzidas, bem como o número de roteiros a serem seguidos pela produção na fábrica.

Em meados do século XX, estudos na área de planejamento, programação e controle da produção apareceram com o intuito de reduzir os custos associados a estoques, níveis de utilização e variação da capacidade produtiva. Além disso, a percepção do cliente com relação à empresa tornou-se uma preocupação da administração da manufatura, a qual procurava, e ainda procura, melhorar seus serviços, entregando produtos de qualidade de acordo com as especificações do cliente e dentro do prazo prometido.

Para atender a todas essas exigências que a demanda impõe às empresas, ao longo da história surgiram ferramentas que são utilizadas até hoje pelas empresas para oferecer um serviço melhor, controlando a produção e ao mesmo tempo reduzindo os efeitos das variações de demanda na manufatura.

Entre as ferramentas desenvolvidas nesse âmbito de planejamento e controle da produção pode-se citar o MRP, o qual tem como objetivo tornar a demanda dependente, planejando os requisitos dos materiais. Outra ferramenta é o MRP II, que engloba o MRP, porém acrescenta métodos para planejar os recursos da manufatura. Mais recentemente surgiu o FCS, que aplica cálculos avançados de otimização e lógicas baseados nas restrições reais da manufatura para se obter um melhor controle do chão de fábrica.

Vale ressaltar que todas essas ferramentas utilizadas hoje em dia nas empresas estão diretamente ligadas a tecnologias computacionais. Ou seja, o seu surgimento e sua popularização só foram possíveis com os avanços na área da tecnologia da informação. De um lado, os hardwares precisaram se tornar cada vez mais potentes para poder realizar os cálculos necessários para estes tipos de sistemas, devido tanto à complexidade das lógicas usadas nas ferramentas, quanto ao volume crescente de dados para se trabalhar. Por outro lado, os softwares precisaram evoluir paralelamente aos hardwares, uma vez que os sistemas se tornavam mais complexos e uma metodologia de desenvolvimento desses sistemas foi necessária para se obter sucesso nos projetos desenvolvidos.

Dentro de um contexto maior, nesse período desenvolveu-se a engenharia de software e posteriormente a engenharia de requisitos, as quais têm como principal objetivo desenvolver uma metodologia para desenvolvimento de sistemas de informação.

Tendo em vista este cenário referente à necessidade de flexibilização da produção, o presente trabalho foi desenvolvido na empresa WEG – Equipamentos Elétricos, em Jaraguá do Sul, Santa Catarina.

## **1.1: O problema**

Dentro da empresa WEG, o setor de Injeção de Alumínio é responsável pela produção de rotores do tipo gaiola de esquilo, que é a parte do motor que, acoplado a um eixo, transfere o torque para a carga que se deseja girar [ 14 ]. O processo de

fabricação do rotor envolve a adesão de várias chapas de aço de pequena espessura (em geral 0,5mm) por meio da injeção de alumínio fundido por entre suas ranhuras que formam a gaiola (Figura 1). Para isso usam-se máquinas que prensam as chapas de alumínio com forças que chegam a 500 toneladas. Essas máquinas injetoras são constituídas basicamente pela câmara de injeção, um sistema para prensagem e um molde (Figura 2). O primeiro é responsável pelo transporte do alumínio, o segundo pela força exercida no alumínio e o terceiro por dar a forma desejada ao alumínio.



*Figura 1 - Pacote de chapas de um rotor*

De acordo com Black & Kohser [ 15 ], devido às propriedades de fusão, o alumínio só pode ser injetado em máquinas de câmara fria, as quais necessitam de um forno externo à injetora para derretimento do metal. O metal fundido então é transportado até a câmara de injeção e submetido à força do pistão hidráulico.

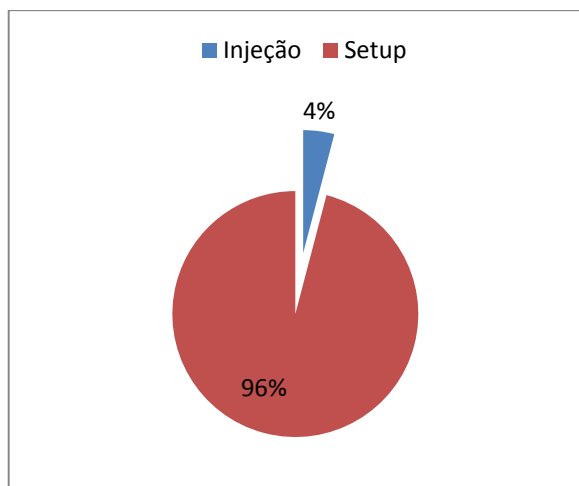
Durante a preparação (*setup*) de uma injetora na WEG, o molde, que em alguns casos chega a pesar 900kg, precisa ser substituído por outro. Esse processo pode levar até 45 minutos, um tempo muito elevado levando em conta que, em regime permanente, o tempo de processamento de um centro de trabalho é menor que 2 minutos.





*Figura 2 - Exemplo de uma máquina injetora horizontal*

O problema de preparações extensas é agravado quando analisa-se o planejamento da produção nesse setor, onde existem muitas ordens de produção, com quantidades e lotes de peças diferentes e, conseqüentemente, um número muito elevado de *setups*. Em casos extremos, quando há necessidade de retrabalho devido a algum problema em etapas posteriores da montagem do motor, é necessário fazer a troca de molde de uma injetora para fabricar apenas uma peça. Nestes casos, para efeitos de cálculo, utilizando 2 minutos para o ciclo de injeção da peça e 45 minutos para a troca de molde, tem-se uma utilização do centro de trabalho de menos de 4,25% (Figura 3).



*Figura 3 - Gráfico representativo da fabricação de um lote de uma peça*

Diante do exposto, acredita-se que com um planejamento otimizado da produção, levando em conta particularidades dos recursos produtivos e do modelo da demanda por rotores, pode-se reduzir o número de trocas de moldes ao longo da semana, reduzindo o tempo de máquina parada e utilizando as injetoras e os colaboradores de maneira proporcionalmente maior.

## **1.2: Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo comprovar os benefícios da programação por capacidade finita no setor de injeção de rotores da WEG motores em Jaraguá do Sul – SC. Deseja-se provar que, com a implantação dessa abordagem, indicadores de desempenho relacionados ao planejamento e ao controle da produção conduzirão a uma melhora no desempenho.

As responsabilidades relacionadas à programação e sequenciamento das ordens de produção nesse setor são de curto e curtíssimo prazo, levando em conta a programação semanal e o sequenciamento da programação diária, de maneira que podem ser citadas três atividades principais:

- Garantia do atendimento do prazo de entrega;
- Otimização na utilização dos recursos;
- Controle e reprogramação para contornar problemas decorrentes da mudança da demanda, necessidade de retrabalhos ou imprevistos nos recursos produtivos.

Adicionalmente, se for comprovada a eficácia da solução proposta, buscar-se-á levantar os requisitos necessários para se desenvolver um software que servirá como ferramenta auxiliar na programação e controle da produção. Com essa ferramenta modelada, espera-se uma melhora na utilização dos recursos, reduzindo a quantidade de *setups* nas máquinas, conseqüentemente aumentando a produtividade do setor, garantindo o atendimento dos prazos e permitindo um controle mais robusto da produção.

### **1.3: Estrutura do documento**

Esse trabalho está dividido em sete capítulos, sendo este primeiro um capítulo introdutório, no qual se contextualiza o problema e o contexto teórico em que ele está inserido.

No capítulo 2 é feita uma apresentação da empresa na qual esse trabalho foi realizado, descrevendo o ramo em que atua, dando ênfase à principal divisão da empresa, produtora de motores elétricos. Nesse capítulo ainda é descrito o setor de injeção de alumínio, responsável por produzir os rotores do tipo gaiola de esquilo, o processo de fabricação desses rotores e as características relevantes desse setor.

A revisão teórica é feita no terceiro capítulo, onde se introduz os conceitos de planejamento, programação e controle da produção. Nesse capítulo também são apresentadas as ferramentas MRP, MRP II e FCS. Ainda no capítulo 3 os conceitos referentes à engenharia de requisitos de sistemas de informação são citados, concluindo os estudos bibliográficos realizados durante esse trabalho.

No capítulo 4, a metodologia escolhida para a resolução dos problemas abordados nesse trabalho é apresentada, deixando claras as técnicas escolhidas para levantamento de requisitos e os indicadores de desempenho escolhidos para

medir os resultados da abordagem. Seguindo-se essa metodologia os objetivos desse trabalho são atingidos.

No quinto capítulo apresentam-se todos os passos de desenvolvimento do protótipo, apresentando as etapas de projeto, o processo de decisão das funcionalidades a serem implementadas, a estrutura final implementada no projeto e os fluxogramas do processo de utilização do protótipo.

Os resultados atingidos com o protótipo traduzidos em números pelos indicadores de desempenho criados na metodologia são apresentados no capítulo 6, bem como os requisitos levantados após a prática das técnicas de engenharia de software escolhidas.

Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões deste trabalho sobre os resultados obtidos. Nesse capítulo ainda são mostradas sugestões para trabalhos futuros, tendo como base os possíveis impactos da implementação da abordagem de *FCS* no setor de injeção de alumínio da WEG.

## **Capítulo 2: WEG Equipamentos Elétricos S/A e a Injeção de Alumínio**

A WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A é uma empresa que tem como ramo de atividade a pesquisa, desenvolvimento, produção/industrialização, comércio, exportação, importação, representação e locação de: máquinas elétricas girantes; máquinas, equipamentos de concepção mecânica, elétrica, eletromecânica, eletrônica, geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; programas para computadores, controladores programáveis, componentes eletromecânicos e eletrônicos destinados ao controle de circuitos elétricos.

Ela responsabiliza-se também pela criação, arrendamento, administração e manutenção de entrepostos aduaneiros; aluguel de máquinas e equipamentos de uso industrial; a prestação de serviços de montagem, instalação, manutenção e assistência técnica relacionada aos produtos fabricados pela própria companhia ou por terceiros e a participação em outras sociedades, negócios e empreendimentos de qualquer natureza, dentro e fora do país.

A empresa encontra-se em uma ótima posição no mercado, principalmente em se tratando de motores elétricos. Hoje ela é líder no mercado nacional e latino-americano, além de ter forte influência no mercado mundial, concorrendo com empresas como SIEMENS, ABB e BOSCH. Há na empresa um plano chamado 20/20 que se trata de uma estimativa traçada pela diretoria de atingir uma receita operacional de 20 bilhões de reais em 2020.

A WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS é uma empresa do tipo S.A., e no final de 2014 havia cerca de 30.000 colaboradores. Na figura 4 pode-se ver a evolução do número de colaboradores WEG até 2012.



*Figura 4 - Histórico de colaboradores*

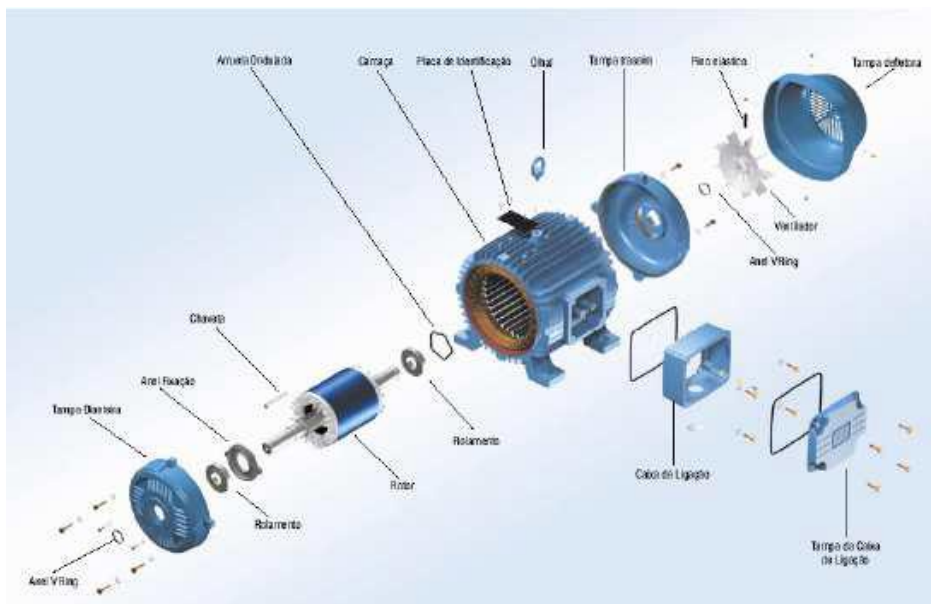
No ano de 2014, o grupo teve uma receita operacional líquida de 7,8 bilhões de reais e, no primeiro trimestre de 2015, chegou a 2,13 bilhões, crescendo 19,4% em relação ao mesmo período do ano anterior. A figura 5 apresenta um histórico da receita operacional líquida até o ano de 2012.



*Figura 5 - Histórico da receita operacional líquida*

## 2.1: A WEG Motores

A unidade Motores é responsável pelas linhas de motores de baixa tensão (Figura 6), e agrega a linha de alta tensão da WEG Energia. Ela é a maior unidade do Grupo, responsável pela produção dos motores elétricos de corrente alternada trifásicos, monofásicos e servo-motores, na faixa de 1/20 a 250cv. Fazem parte da WEG Motores as unidades fabris I, II, III, IV, V, VI e VII em Jaraguá do Sul, a de São Bernardo do Campo/SP, a de Linhares/ES, a Morbe na Argentina, a Mabe no México e a WEG-Euro Portugal que foi comprada da Efacec Motores.



*Figura 6 – Vista explodida de um motor elétrico*

Em Jaraguá do Sul a produção da unidade Motores está distribuída entre cinco montadoras e alguns setores auxiliares, que incluem: Fundições I, II e III, trefilação e esmaltação de fios de cobre, Ferramentaria, Estamparia e Injeção de Alumínio.

Fazem parte da unidade Motores as seguintes montadoras:

- Montadora I: Produz os motores de aplicação industrial;

- Montadora II: Produz os motores monofásicos de pequeno porte de aplicação comercial (roçadores de grama, trituradores);
- Montadora III: Produz os motores trifásicos de grande porte (motores de britadeiras);
- Montadora IV: Responsável pela fabricação dos motores trifásicos e monofásicos (talhas de grande porte, ponte rolantes);
- Montadora V: Produz motores da linha branca (lava-roupas semi-automáticas e “tanquinho”).

Dentre os motores produzidos pela WEG MOTORES, destacam-se:

- Motores Trifásicos: Motor IP54, utilizado em aplicações gerais, motor IP(W)55, destinado aos ambientes agressivos, às indústrias químicas e navais, motores à prova de explosão, utilizado em ambientes onde há risco iminente de explosão. Motor Dahlander (dupla polaridade), moto freio, entre outros;
- Motores Monofásicos: Motor para ar condicionado, motor para lavadoras e secadoras de roupa, motor para ceifadoras, lava-jato, entre outros.

A WEG ainda conta com uma linha de motores desenvolvida visando a conservação de energia, os Motores alto rendimento plus.

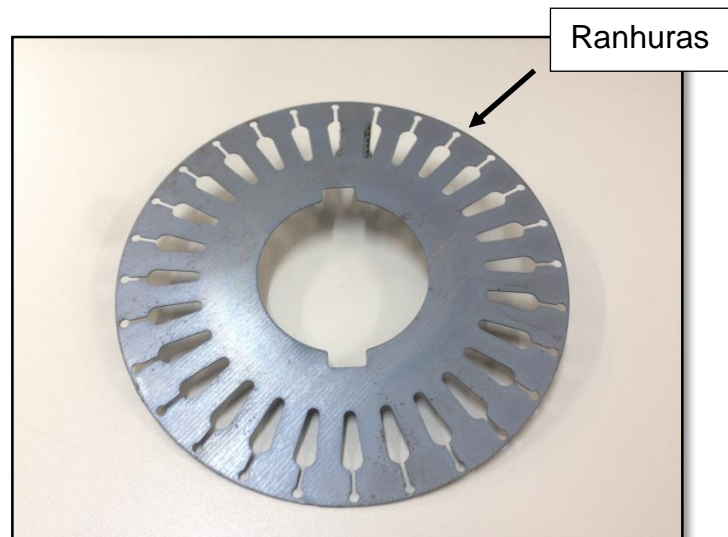
## **2.2: O Departamento de Injeção de Alumínio**

O departamento de Injeção de Alumínio é responsável pela produção do elemento girante de um motor elétrico: o rotor. Para a fabricação deste, o departamento utiliza máquinas de grande porte, chamadas de injetoras, que, pela aplicação de forças, podem chegar até 500 toneladas, pressionam o metal fundido contra um molde. Essas máquinas podem aplicar a força tanto na horizontal quanto na vertical, o que muda algumas características de parâmetros, qualidade das peças e o processo em si, desde o *setup* até a fabricação.

Como entradas desse processo de fabricação tem-se os materiais necessários: chapas de aço conformadas no departamento de estamparia (Figura

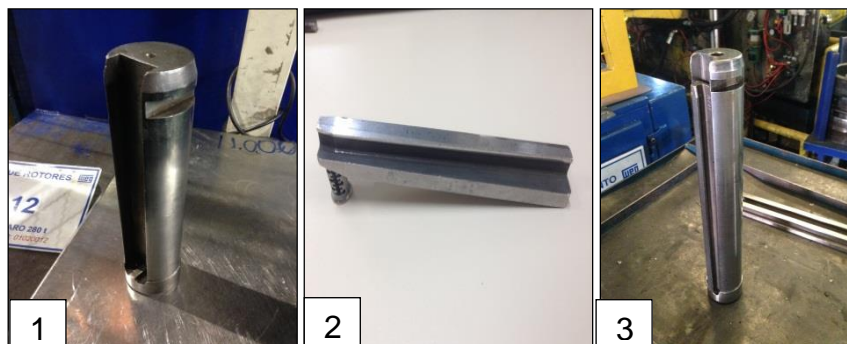


7), e o alumínio, que é fundido dentro do próprio prédio da injeção. As ferramentas necessárias são: os moldes, os pinos de injeção, as chavetas de inclinação, as agulhas de alinhamento e as buchas de centralização no caso das injetoras verticais [ 2 ].



*Figura 7 - Chapa de aço e as ranhuras*

As chapas, que têm espessura média de 5mm, são colocadas uma a uma no conjunto do pino de injeção (Figura 8) com a chaveta de inclinação. As chapas vão passando com o furo interno centrado no pino de injeção, enquanto que o rasgo do furo é encaixado na chaveta de inclinação.



*Figura 8 – 1: Pino; 2: Chaveta; 3: Conjunto*

Após o pacote ser montado (Figura 9), a agulha de alinhamento é encaixada entre uma das aletas das chapas, garantindo assim que todas as chapas estejam perfeitamente alinhadas entre si, sem que aconteça o “efeito escada” entre elas. Feito isso o pacote está pronto para ser injetado.



*Figura 9 - Pacote sendo montado*

Com o pacote pronto, montado e devidamente centralizado no molde da injetora, está tudo pronto para o processo de injeção propriamente dito. Nesse ponto, dois grupos de centros de trabalho são divididos: (a) os que têm um forno que dosa automaticamente o alumínio, e (b) os que têm fornos manuais, os quais precisam que o operador, com uma concha, dose a quantidade correta de alumínio na injetora (Figura 10).



*Figura 10 - 1: Forno dosador; 2: Forno cadinho*

Com o alumínio dosado, a injetora fecha, unindo os dois moldes e, por meio dos canais de ataque, o alumínio é pressionado contra as paredes do molde, sendo inserido entre as aletas das chapas, formando a gaiola de esquilo (Figura 11).



*Figura 11 - Rotor injetado*

## 2.3: O Setup (Preparação) de uma injetora

Como mencionado anteriormente neste capítulo, a WEG disponibiliza motores para as mais variadas aplicações, da geração de energia até aplicações domésticas. Isso torna a empresa muito competitiva, atendendo as exigências do mercado atual de flexibilidade da oferta. Porém, isso gera complicações na produção, em especial no setor de injeção de alumínio, pois é nele que os rotores de todas as linhas de produção são fabricados.

Em virtude da alta diversidade da demanda interna da WEG por rotores de gaiola de esquilo, o setor precisa gerenciar a produção de uma enorme variedade de produtos diferentes, os quais diferem entre si pelo tamanho, pelo material utilizado nas chapas, pela liga de alumínio da gaiola, pelos parâmetros das máquinas e pelas ferramentas utilizadas. É essa diferença de entradas (*inputs*) entre os processos que gera a necessidade do *setup* nos centros de trabalho.

O tempo de *setup* corresponde a todo o tempo de máquina parada entre o término da última peça de uma ordem de produção e o início da primeira peça considerada dentro dos padrões de qualidade do próximo lote. Esse tempo pode incluir a troca de qualquer entrada do processo como, por exemplo, a troca de uma ferramenta ou a troca da liga de alumínio utilizada. Esse tempo de máquina parada é considerado improdutivo, pois, obviamente, enquanto o centro de trabalho estiver parado, ele não estará agregando valor a nenhum produto.

Em uma máquina injetora de alumínio, esse *setup* é especialmente complicado, pois o peso de um molde pode chegar a 250kg. O esforço necessário para movimentar uma ferramenta tão pesada é elevado e, conseqüentemente, ocupa bastante tempo.

Além disso, como citado, em alguns casos o forno do centro de trabalho precisa ser trocado por outro. Isso porque os rotores são injetados com ligas de alumínio diferentes, e essa é outra atividade que ocupa um tempo elevado.

Toda essa problemática dos tempos de *setup* elevados gera uma baixa utilização das máquinas, visto que o tempo disponível para produção é reduzido a cada *setup* efetuado.

Adicionalmente, como existe um número muito elevado de tipos diferentes de rotores que precisam ser produzidos, a quantidade de preparações dos centros de trabalho também é alta, gerando muito desperdício para o setor.

## **2.4: Similaridade entre CTs**

Apesar da enorme quantidade de itens de rotores produzidos no setor, há uma característica nesse sistema de produção que pode ter grande influência no índice de disponibilidade desses centros de trabalho (CTs).

Para efeitos organizacionais, apesar de que dois tipos de rotores tenham um número de identificação (número do material) diferente, os seus processos de produção podem ser bem parecidos. Por exemplo, se um rotor difere do outro apenas pelo comprimento do pacote, ou seja, pelo número de chapas empilhadas no pino de injeção, o molde utilizado para formar a gaiola de esquilo é o mesmo. Esse tipo de similaridade entre rotores acontece de duas maneiras na WEG:

- Similaridade por molde – Como citado no exemplo, dois tipos de rotores podem ser produzidos com as mesmas ferramentas, diferindo apenas pelo método ou quantidade de material utilizado.
- Similaridade por máquina – As máquinas injetoras utilizadas no setor são divididas em quatro grupos que são separados por capacidade de pressão de injeção.

A tabela 1 mostra máquinas do setor de injeção de alumínio com várias faixas de capacidade, sendo que a diferença entre elas é o grupo de peças que elas produzem. Por exemplo, nas injetoras de 100 toneladas, um centro de trabalho é responsável por produzir rotores para os motores de pequeno porte, enquanto que outro centro de trabalho produz para motores maiores. Essa distinção por tamanho de rotor não é exata, sendo que alguns tamanhos de rotores são produzidos em mais de um CT.

Esses centros de trabalho são projetados para otimizar a produção de rotores que estão previamente planejados para serem produzidos neles. Porém, as diferenças são de leiaute e bancada, sendo que não há uma restrição rígida para que outros rotores sejam produzidos.

Percebe-se assim que há uma similaridade entre as injetoras, sendo que o mesmo rotor pode ser produzido em mais de uma máquina.

Injetora	Pressão de injeção
Fabricante 1	100 t
Fabricante 2	280 t
Fabricante 3	280t
Fabricante 1	300 t
Fabricante 1	500 t
Fabricante 4	500 t

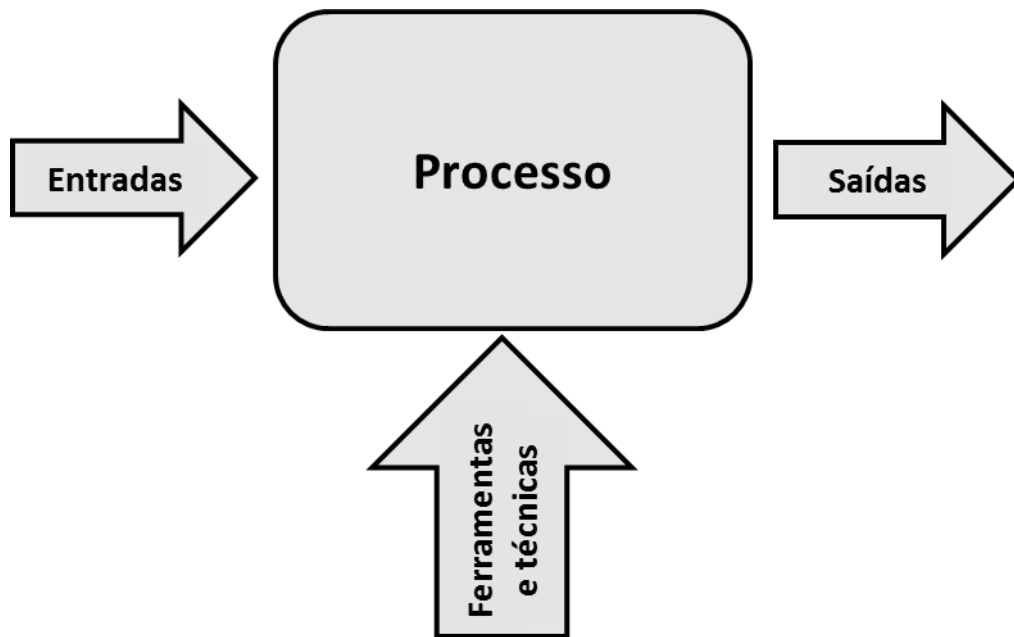
*Tabela 1 - Máquinas do setor de injeção de alumínio*

Mais à frente nesse trabalho, a característica de similaridades do processo de fabricação dos rotores será utilizada na abordagem para redução de *setup*.

## Capítulo 3: Referencial teórico

### 3.1: Planejamento e Controle da Produção

Um processo é definido como um conjunto de tarefas realizadas em uma ordem específica a fim de transformar um conjunto de entradas em um conjunto de saídas desejadas, como pode ser visto na figura 12 [ 1 ][ 17 ]. Em uma empresa como a WEG existem milhares de processos, desde o processo global de fabricar o produto até processos mais específicos, como o processo de compra de parafusos de um fornecedor. Esse conjunto de processos é chamado de sistema produtivo.



*Figura 12 - Esquema de um processo genérico*

Tanto em empresas de bens de consumo, quanto em prestadoras de serviços, para entregar o produto correto para o cliente de acordo com o pedido, dentro do prazo e dentro dos padrões de qualidade exigidos por ele, se faz necessária a coordenação das tarefas envolvidas em todos os processos do sistema produtivo [ 16 ]. Essa coordenação busca garantir que todas as entradas necessárias estejam disponíveis no tempo correto para que se realize a

transformação correta e, assim, se produzir a saída correta. O setor responsável por essa coordenação nas empresas em geral é o PCP (Planejamento e Controle da Produção).

De maneira geral, o PCP é responsável pelo controle de todo o fluxo de materiais e processos dentro de uma empresa. Ou seja, as atividades do PCP vão desde a participação no planejamento estratégico de vendas até o sequenciamento das ordens de produção no chão de fábrica [ 1 ].

### **3.1.1: Atividades do PCP**

Pode-se dividir as atividades do setor de planejamento e controle da produção em atividades referentes a horizontes de curto, médio e longo prazo.

Em um nível mais estratégico, o PCP atua em longo prazo, analisando, junto ao planejamento estratégico, a previsão de vendas. A partir dessa previsão um projeto dos recursos investidos para adequar a capacidade produtiva é feito, a fim de atender a demanda futura de produtos. Esse nível é categorizado como nível estratégico, pois a falha na previsão da capacidade produtiva pode acarretar problemas sérios para a empresa. Além disso, por ser de longo prazo, há tempo suficiente para direcionar os recursos e adequar a produção a praticamente qualquer estratégia produtiva desejada.

Em médio prazo, o Plano Mestre de Produção (PMP) deve ser desenvolvido de maneira que se defina uma tática para se otimizar os recursos definidos no nível estratégico. Definições táticas que podem constar no PMP podem ser, por exemplo, a definição de horas por turno ou então a decisão de terceirizar uma parte do sistema produtivo.

Já em uma visão operacional do sistema, o PCP realiza atividades de curto prazo, executando o plano mestre de produção. Com o sistema montado e as táticas definidas, resta agora gerenciar a produção, por meio de atividades de programação, sequenciamento, balanceamento, gerenciamento de estoques, garantindo na prática que todos os setores trabalhem alinhados a fim de atender o prazo e os padrões de qualidade. Sendo assim, por estarem ligadas diretamente com o sequenciamento, as atividades operacionais do PCP serão parte do estudo



desse trabalho, e serão discutidas com mais detalhes no decorrer desse documento. A figura 13 mostra os horizontes, as atividades de cada horizonte e os objetivos de cada atividade [ 1 ].

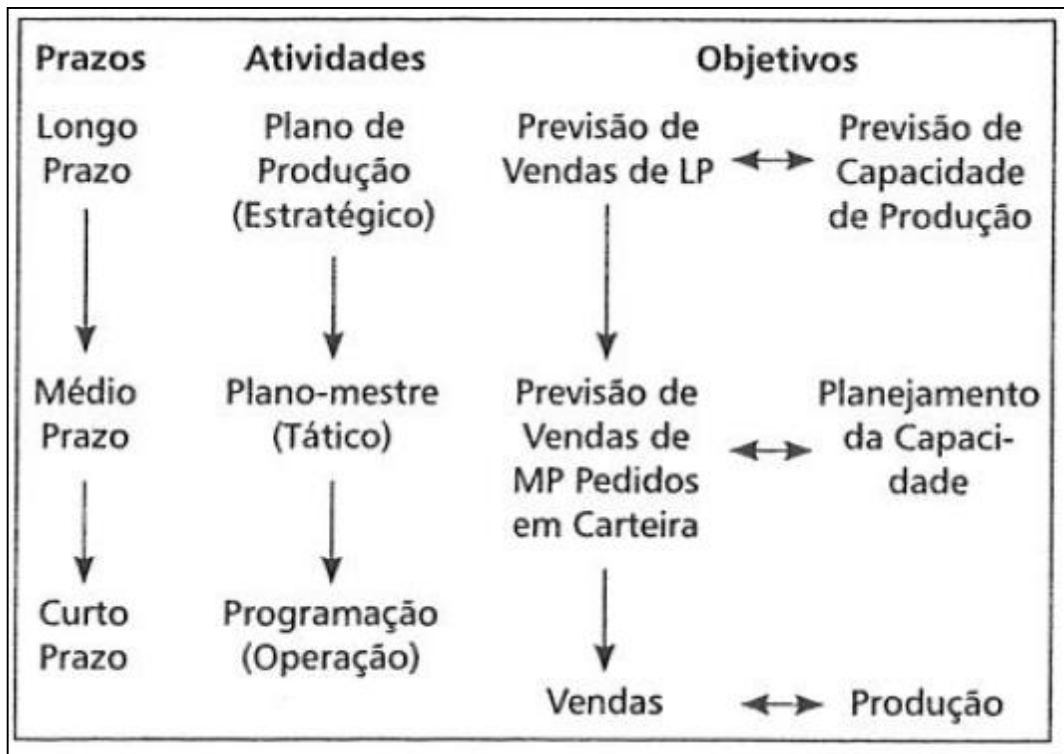


Figura 13 - Prazos, atividades e objetivos das empresas [ 20 ]

Como essa questão de sistema produtivo e planejamento e controle da produção é aplicável a praticamente qualquer empresa, seja ela prestadora de serviços ou manufatureira, a definição de tempos para os horizontes de curto, médio e longo prazo é difícil. O horizonte de curto prazo para uma empresa que fabrica aviões ou uma empreiteira que constrói uma usina hidrelétrica é diferente de uma empresa que fabrica motores elétricos para a linha branca, por exemplo.

De maneira geral, a definição de longo prazo pode variar de meses e trimestres, podendo chegar até a anos. Médio prazo transita entre semanas, chegando até meses, enquanto que curto prazo é medido em dias, para a semana em curso.

### 3.1.2: Fluxo de informações do PCP

Para atingir os objetivos de coordenação das atividades planejadas nos âmbitos estratégicos, táticos e operacionais, o PCP precisa administrar informações provenientes de todas as partes envolvidas no sistema produtivo (Figura 14) [ 1 ], que incluem:

- Engenharia do Produto – Em uma empresa de manufatura, por exemplo, a engenharia do produto fornece os desenhos técnicos e todos os níveis da lista de materiais.
- Engenharia de Processos – Fornece os roteiros para a fabricação, os tempos de ciclo dos centros de trabalho e os tempos padrões de atravessamento (*lead time*).
- Marketing – Informações como previsão de vendas de longo e médio prazo e os pedidos firmes em carteira são informações que o marketing disponibiliza.
- Manutenção – Fornece os planos de manutenção preventiva (longo prazo) e as manutenções planejadas (curto prazo).
- Compras/Suprimentos – Informa prazos, saídas e entradas de materiais do estoque.
- Recursos Humanos – Informações de colaboradores disponíveis e programas de treinamentos.
- Financeiro – Planos de investimentos, balanços e fluxo de caixa.

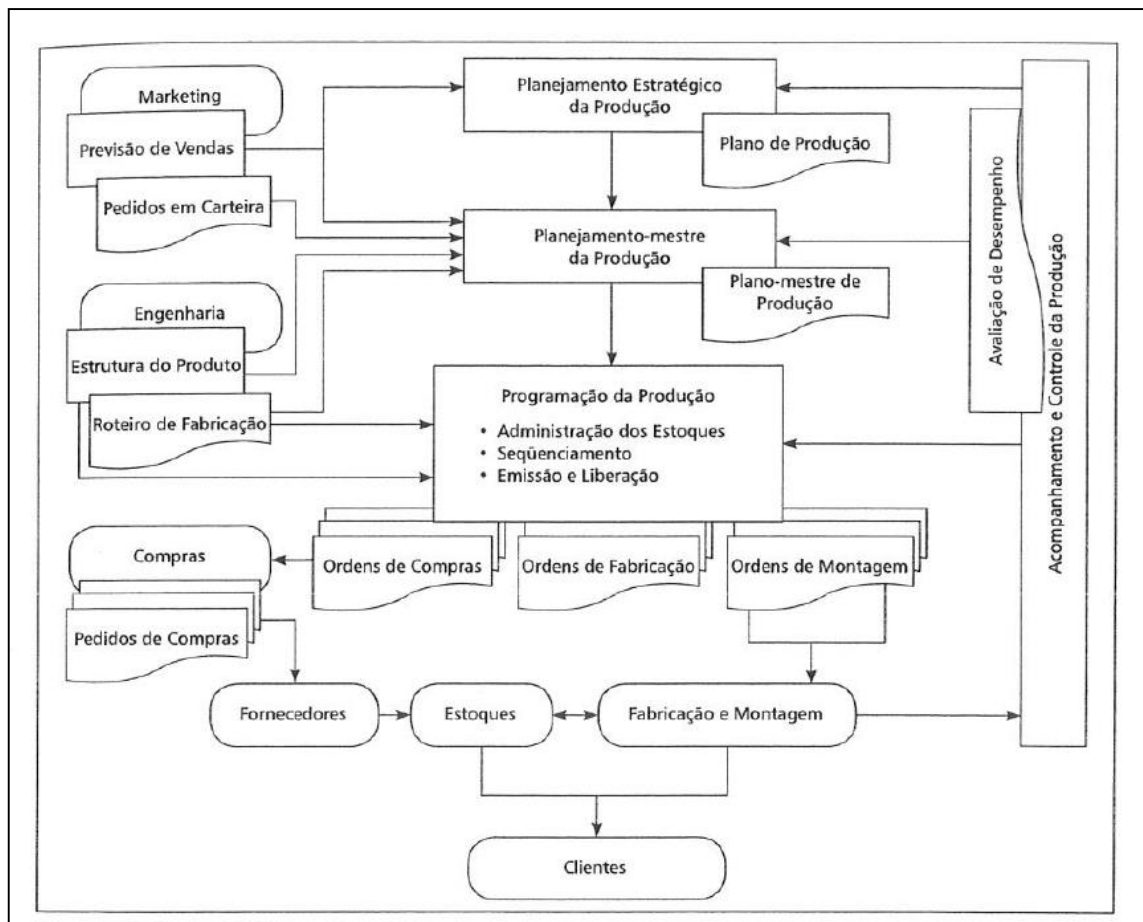


Figura 14 - Fluxo de informações e PCP [ 20 ]

Sendo assim, o PCP é um setor de fundamental importância nas empresas, e precisa ter uma equipe multidisciplinar para gerenciar essas informações de maneira clara e eficaz.

### 3.1.3: MRP

Como suporte ao planejamento e controle da produção, nos anos 1970, com o avanço das empresas de manufatura e o aumento da complexidade dos produtos e da demanda, Joseph Orlicky publicou um livro chamado MRP, mais especificamente em 1975 [ 4 ][ 18 ]. Naquele ano, Orlicky contribuiu significativamente para a evolução dos sistemas de gestão da manufatura e, a partir

dele, esses sistemas de gestão foram se aprimorando até chegar ao que vê-se hoje no cenário empresarial [ 18 ].

O livro é a primeira apresentação de uma metodologia para gerenciamento de materiais em um ambiente fabril. O *Material Requirement Planning* (MRP) veio com a proposta de controlar o que, quando e quanto se produzir ou comprar a fim de se atender a demanda. Para que essa nova metodologia aconteça, Orlicky apresenta três elementos básicos:

- A Lista de materiais ou *Bill of Materials* (BOM);
- O Plano Mestre de Produção (PMP) ou *Master Production Scheduling* (MPS);
- As quantidades em estoque.

A lista de materiais, ou *Bill of Materials*, é uma árvore de todos os materiais necessários para que se consiga produzir um determinado produto. Nessa árvore, cada nó é um material e as ligações entre os nós representam as relações de paternidade dos materiais. Outro elemento dessa árvore é a quantidade de materiais filho necessária para que o material pai, que está um nível imediatamente acima na árvore, seja produzido [ 4 ][ 5 ]. A figura 15 mostra um exemplo de árvore para a produção de uma lapiseira.

O plano mestre de produção, ou *Master Production Scheduling*, é o que determina a demanda para cada período de tempo. Por exemplo, em um horizonte de 2 meses e períodos semanais, o PMP dita quantas peças precisam ser produzidas em cada uma das 8 semanas [ 5 ].

Uma vez que os três elementos básicos do MRP estejam bem definidos, pode-se efetuar o cálculo de necessidades dos materiais. Nesse cálculo, com base nos tempos de produção ou compras (*lead times*) e nos estoques, são determinadas as ordens de produção e de compra. A tabela 2 representa um registro padrão do MRP.

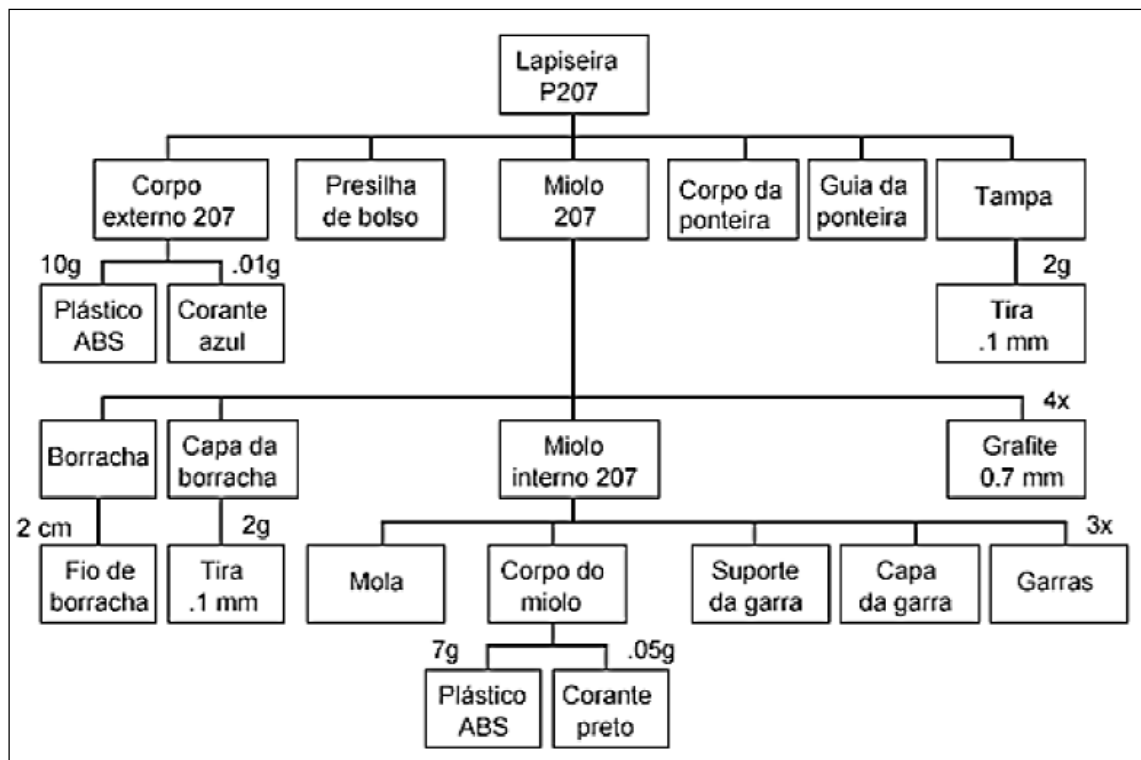


Figura 15 - Lista de materiais de uma Lapiseira P207 [ 5 ]

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Necessidades Brutas	100	80	100	50	80	50	100	40
Recebimentos Programados		200						
Estoque Projetado	170	70	190	90	40	60	10	60
Recebimentos Planejados					100		150	
Ordens Planejadas			100		150			

“Lead time” = 2 períodos.

Tabela 2 - Registro básico do MRP. [ 4 ]

Um dos fatores chave para que o MRP atinja seus objetivos é a análise correta do *lead time* de todos os materiais necessários. O mau dimensionamento do *lead time* de algum material pode ocasionar problemas para o setor produtivo [ 13 ].

Caso o *lead time* determinado seja menor do que o real, pode acarretar um subdimensionamento dos recursos produtivos, gerando atrasos de ordens de produção e não conformidades no prazo de entrega do produto final. Por outro lado,

se o *lead time* determinado for maior do que o real, um superdimensionamento dos recursos produtivos pode gerar estoques grandes intermediários.

O *lead time* é todo o tempo entre a liberação de uma ordem e o material pronto, o que, entre outros, inclui:

- Tempos de transporte;
- Tempos de *setup*;
- Tempos de fila;
- Tempos de processamento;
- Tempos de possíveis inspeções de qualidade.

Como, para fins de cálculo do MRP, esses tempos precisam ser constantes, há um problema em se determinar tempos muito flexíveis, como os tempos de fila por exemplo [ 4 ][ 5 ][ 13 ].

Apesar dos problemas do MRP, ele se mostrou uma ferramenta muito eficiente para controle da produção, ainda mais com o avanço dos recursos computacionais, permitindo a explosão dos materiais e posteriores alterações da programação em função de alguma variabilidade na programação original [ 4 ].

Para evitar uma instabilidade na fábrica, devido a muitas alterações nas programações geradas pelo MRP, introduziu-se o conceito de o período de programação firme, que corresponde ao intervalo de programação mais próximo. Nesse período, não são admitidas alterações nas ordens programadas [ 4 ].

Mesmo com tantos benefícios proporcionados pelo MRP, ainda havia lacunas entre o planejado e o executado nas fábricas.

O MRP não considera as restrições de capacidade produtiva existentes na fábrica nem o fluxo de materiais gerado pelas ordens de produção, podendo gerar programações da produção inviáveis de serem cumpridos [ 13 ][ 12 ]. Para contornar esse problema, em 1981, Oliver Wight publicou o livro *MRP II – Manufacturing Resources Planning* [ 4 ]. Nesse livro, Wight apresenta um novo conceito de sistema de controle da manufatura, acrescentando novos módulos ao MRP e gerando um

sistema que controla todos os recursos relacionados à manufatura, inclusive módulos voltados aos recursos humanos e orçamentários (Figura 16). Conforme Côrrea, Giansesi e Caon [ 1 ],

*“...o sistema MRP II diferencia-se do MRP pelo tipo de decisão de planejamento que orienta; enquanto o MRP orienta as decisões de o que, quanto e quando produzir e comprar, o MRP II engloba também as decisões referentes a como produzir, ou seja, com quais recursos”*

## Abrangência do MRP e do MRP II

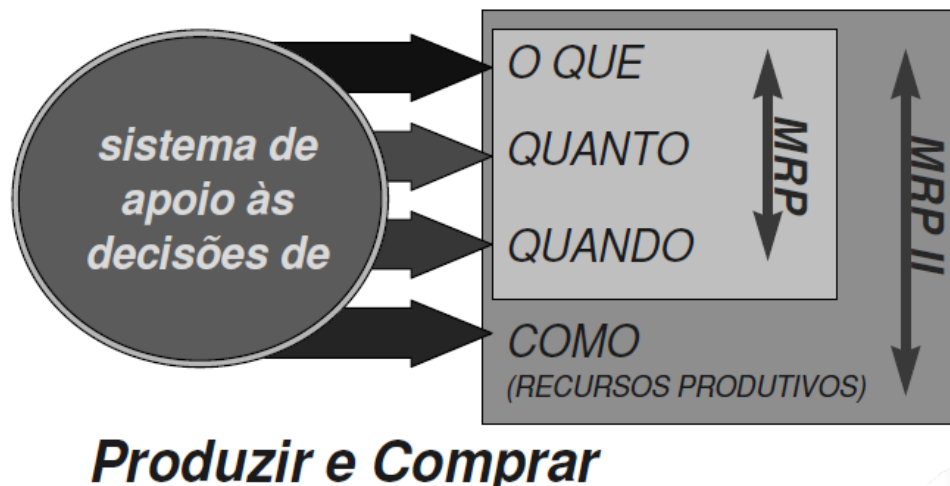


Figura 16 - Abrangência do MRP e MRP II [ 1 ]

Entre os módulos acrescentados, vale ressaltar o CRP ou *Capacity Requirement Planning* e o RCCP ou *Rough Cut Capacity Planning*, os quais possibilitaram uma análise mais detalhada dos recursos produtivos. Introduziu-se um conceito de centro de produção, o qual possui uma capacidade de produção finita em função da disponibilidade de equipamentos, operários, ferramentas etc.

Aos elementos básicos do MRP acrescentam-se os roteiros de produção (determinado pelo setor de métodos e tempos da empresa) e o cadastro dos centros de produção com suas respectivas capacidades. Com isso, pode-se fazer a

programação da produção de maneira iterativa, adequando as ordens de produção de maneira que se mantenha a utilização dos centros de trabalho em um nível alto, sem exceder sua capacidade.

Em um primeiro momento é utilizado o *RCCP*, onde se procura analisar a viabilidade do plano mestre de produção antes de rodar o ciclo completo no nível de detalhe da explosão dos materiais e carga dos centros de produção. Depois disso, verifica-se com o *CRP*, após a explosão dos materiais, a carga de cada centro de trabalho, fazendo os ajustes necessários caso ocorra algum excesso ou falta de trabalho em algum centro (Figura 17).

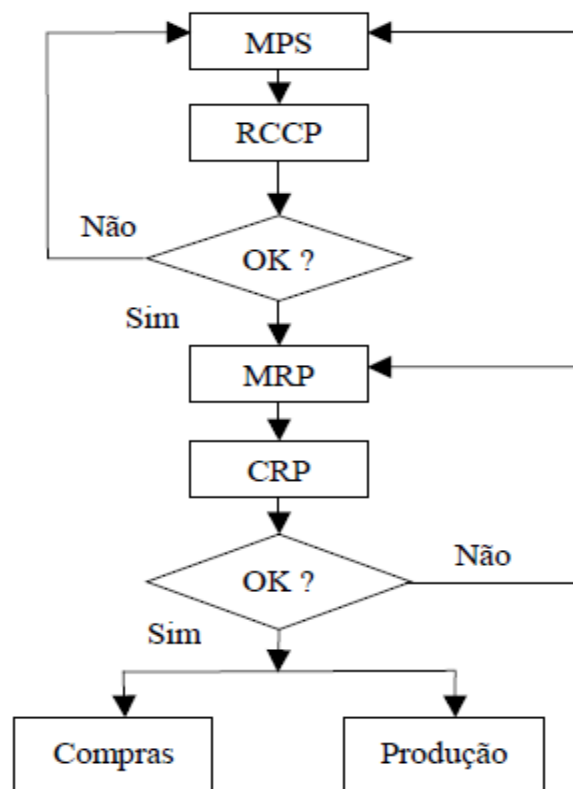


Figura 17 - Ciclo fechado MRP. [ 4 ]

Além do *CRP* e do *RCCP*, outros módulos auxiliares foram implantados. Entre eles o *S&OP* ou *Sales and Operations Planning*, que é usado no planejamento das vendas e as operações internas, e o *SFC* (*Shop Floor Control*) que auxilia no



controle do chão de fábrica e no sequenciamento das operações de cada centro de produção seguindo uma prioridade pré-definida (Figura 18).

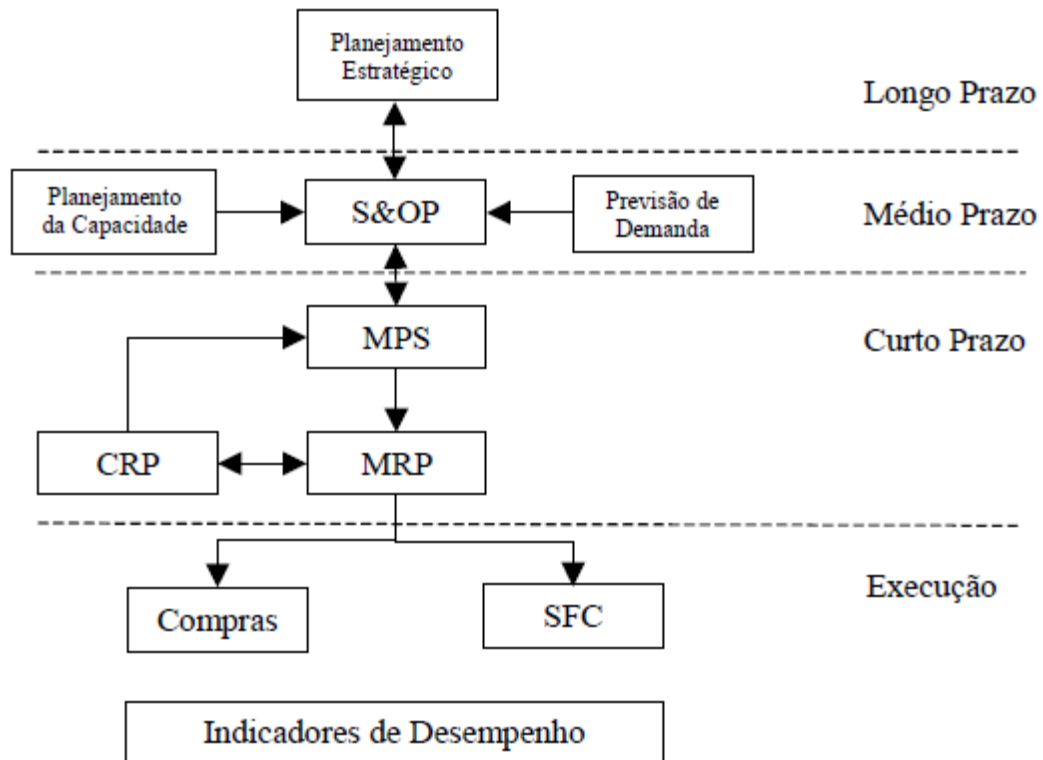


Figura 18 - Modelo MRP II. [ 4 ]

### 3.1.4: Sistemas de capacidade finita e programação avançada da produção

Apesar do avanço que o MRP II trouxe para o planejamento da produção, a visão da utilização da capacidade de cada centro de trabalho não aborda problemas intrínsecos dos sistemas produtivos que estão diretamente ligados à natureza técnica e cultural de cada empresa. O MRP II não oferece, por exemplo, suporte para tratar problemas de tempos de preparação dos centros de trabalho variáveis, de acordo com as ordens de produção precedentes, ou então, roteiros alternativos de produção, que variam conforme a natureza tecnológica dos equipamentos [ 3 ].

De maneira geral, os problemas encontrados em um sistema produtivo e que não é abordado pelo MRP II são:

- Quebras de máquina;
- Tempos variáveis de setup;
- Ferramentas e recursos humanos não disponíveis;
- Retrabalhos devidos a problemas de qualidade;
- Tempos de perecibilidade de operações;
- *Lead times* variáveis.

Segundo APS [ 19 ], nos sistemas MRP e MRP II,

*“[...] A lógica de prioridade é baseada na data do pedido, ignorando outras opções, como: número de trocas de ferramentas, tempos de setup, prioridade entre clientes, entre outras.”*

Sendo assim, diante das limitações desses sistemas, no início da década de 1990 surgiu a abordagem de planejamento e programação da produção baseada em conceitos de sistemas de capacidade finita ou *finity capacity scheduling (FCS)*. Esse novo conceito visa contornar as dificuldades encontradas na programação e no sequenciamento das ordens de produção, incluindo características intrínsecas do chão de fábrica e, assim, otimizando o sequenciamento das ordens de produção [ 6 ]. Para isso, uma programação baseada em sistemas de capacidade finita, em resumo, deve ter as seguintes etapas:

- Modelar o sistema produtivo – Máquinas, ferramentas, centros de trabalho;
- Informação da demanda;
- Informação das condições reais do sistema produtivo – Manutenção, quebra de máquina, etc.

- Modelagem de parâmetros para tomada de decisões – parâmetros de prioridade e restrições no geral

A partir dessas etapas, o software deve auxiliar para que a programação da produção e o sequenciamento das ordens sejam feitas para o ambiente específico em que ele está inserido, respeitando as particularidades de cada empresa, tanto tecnicamente quanto culturalmente.

Então, a partir do surgimento dos sistemas *FCS*, sistemas híbridos começaram a aparecer, unindo as qualidades do MRP II para o planejamento da produção e as qualidades do *FCS*, que substitui o módulo de gerenciamento do chão de fábrica (*SFC*). Esses novos sistemas foram chamados de *APS* ou *Advanced Planning and Scheduling*. Traduzindo a definição do APICS, 2007, um sistema *APS* é:

*“Qualquer programa de computador que use algoritmos avançados de cálculo ou lógica para realizar simulações e/ou otimizações em programação de sistemas com capacidade finita, planejamento do capital, planejamento dos recursos, gerenciamento de estoques, gerenciamento da demanda, e outros. Essas técnicas consideram simultaneamente uma gama de restrições e regras para fornecer planejamento e programação em tempo real, suporte de decisões de capacidade available-to-promise e capable-to-promise. Sistemas de programação por capacidade finta geralmente gera e avalia múltiplos cenários.”*

Sistemas *APS* fornecem módulos para gerenciar de maneira otimizada toda a cadeia de suprimentos de uma empresa e, além disso, gerencia todo o sistema produtivo, tendo como base algoritmos avançados e lógicas bem estruturadas [ 13 ].

### **3.2: Engenharia de requisitos**

Em um processo de desenvolvimento de um software, para garantir que o projeto seja finalizado com sucesso, o mesmo é executado seguindo algum modelo pré-estabelecido. Assim, seguindo as etapas estabelecidas, o analista de sistemas

garante que todas as atividades necessárias sejam executadas de acordo com um cronograma e um orçamento previamente estabelecido com o cliente.

Em modelos clássicos de modelagem de software, como o *Waterfall* (Figura 19), a etapa inicial consiste em elicitar e documentar completamente todos os requisitos. O objetivo disso consiste em garantir que todos os requisitos estejam claros antes do desenvolvimento do software propriamente dito [ 8 ][ 11 ].

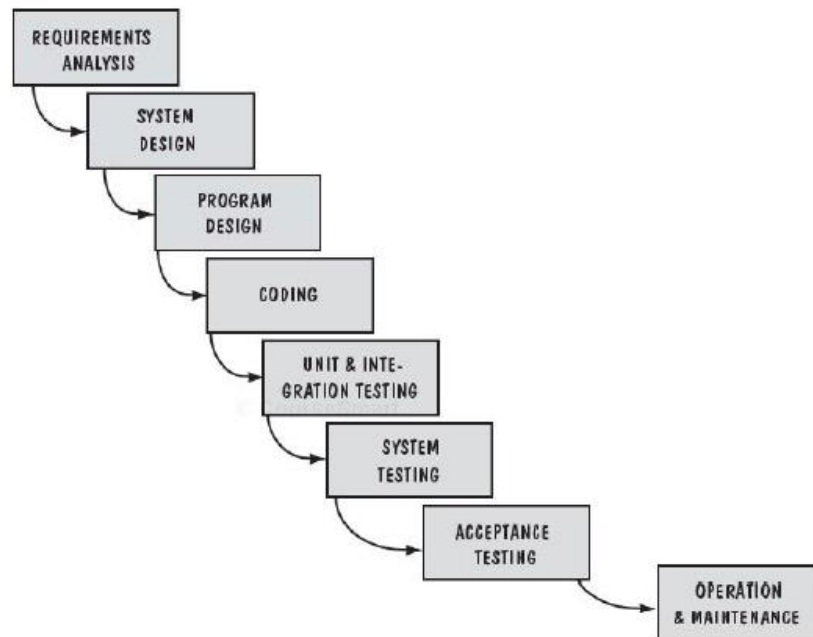


Figura 19 - Modelo Waterfall ou Cascata [ 8 ]

Ao longo dos anos essa etapa se mostrou tão importante e ganhou tanta atenção que se criou o termo *engenharia de requisitos* para designar todo o processo de projeto, criação e manutenção dos requisitos. Para Pohl e Rupp [ 9 ], a definição de engenharia de requisitos é:

*“ A engenharia de requisitos é uma abordagem sistemática e disciplinada para a especificação e gerenciamento de requisitos com os seguintes objetivos:*

1. *Conhecer os requisitos relevantes, estabelecer um consenso entre os stakeholders a respeito de tais requisitos, documentar os requisitos de acordo com*

*determinados padrões e gerenciar os requisitos de forma sistemática*

- 2. Compreender e documentar as expectativas e necessidades dos stakeholders, especificar e gerenciar os requisitos para minimizar o risco de entregar um sistema que não atenda às suas expectativas e necessidades.”*

No documento gerado pelo engenheiro de requisitos são listadas qualitativamente e quantitativamente as características acordadas entre o desenvolvedor e o cliente, inclusive servindo como parte de um possível contrato estabelecido entre eles.

Muitas vezes, ao longo desse processo, o engenheiro de software não está familiarizado com o domínio em que o problema do cliente está inserido e o cliente, por sua vez, não conhece as características da engenharia de software. Isso gera uma série de problemas e dificuldades, como por exemplo:

- O cliente pode não saber como descrever o sistema desejado, ou até mesmo não saber do que ele precisa pra resolver seu problema;
- Problemas de comunicação entre as partes, ocasionados pela diferença no vocabulário da engenharia de software e de outros domínios, jargões específicos e até diferenças sociais;
- Expectativas não-realistas em relação a aspectos financeiros e tecnológicos do sistema.

De acordo com Pohl e Rupp [ 9 ], para garantir que os requisitos sejam modelados corretamente, a sistemática proposta pela engenharia de requisitos é composta por 4 atividades principais:

- *Elicitação: Durante a elicitacão de requisitos, diversas técnicas são utilizadas para obter requisitos dos stakeholders e de ourats fontes, e para desenvolver os requisitos em maiores detalhes.*

- *Documentação: Durante a documentação, os requisitos elicitados são descritos da forma mais adequada. Diversas técnicas são utilizadas para documentar os requisitos, seja por meio da linguagem natural ou de modelos conceituais.*
- *Validação e Negociação: Para garantir que os critérios de qualidade previamente definidos sejam atingidos, os requisitos documentados devem ser validados e negociados desde o princípio.*
- *Gerenciamento: O gerenciamento de requisitos é ortogonal a todas as outras atividades, abrangendo toda e qualquer medida necessária para estruturas requisitos, preparar os mesmos para que possam ser utilizados por diferentes papéis, manter sua consistência após eventuais mudanças e assegurar sua implementação.”*

Este trabalho não aborda as duas últimas atividades da engenharia de requisitos, descrevendo apenas as técnicas para elicitação de requisitos e a documentação dos mesmos.

### **3.2.1: Técnicas pra elicitação de requisitos**

Para contornar os problemas inerentes à etapa inicial do desenvolvimento de um software, a engenharia de requisitos tem alguns procedimentos e boas práticas que ajudam a elucidar melhor o que o software deve ser capaz de fazer, quais suas características e quais suas interações com o ambiente em que ele estará inserido.

Não são abordadas todas as técnicas existentes para elicitação dos requisitos, pois o número de técnicas e suas variações é muito grande e varia muito de autor para autor. As principais serão descritas abaixo.

#### **3.2.1.1: Técnicas de pesquisa**

Nessa etapa, o objetivo é coletar informações dos interessados no software a ser desenvolvido. Parte-se do pressuposto que todas as declarações dadas pelos

stakeholders são confiáveis e que os envolvidos no processo estejam comprometidos a serem claros e objetivos.

➤ **Entrevistas e questionários:**

A fim de nivelar as expectativas, o vocabulário, o conhecimento e os objetivos, um engenheiro de requisitos precisa realizar várias entrevistas e questionários com todas as partes envolvidas no problema. Essas entrevistas e questionários podem ser realizados em reuniões individuais ou em grupos, e devem ser conduzidas pelo engenheiro. Como muitas vezes esse é o primeiro contato entre as partes e as reuniões podem se tornar muito longas e cansativas, elas precisam ser bem planejadas e se necessário divididas em pequenas reuniões a fim de otimizar a troca de informações [ 9 ].

Outro fator importante nessas reuniões é manter a imparcialidade das respostas, evitando que o entrevistador exerça influência nas respostas e, assim, capture com maior fidelidade a visão do cliente sobre o problema.

Como produto dessas atividades, anotações sobre as entrevistas que capturem as particularidades da visão de cada entrevistado e as ideias levantadas, além das respostas dos questionários aplicados devem ser compiladas e deve ser gerado um documento para a próxima fase.

➤ **Seções de debates**

Nessa etapa da modelagem, uma profundidade maior é dada a caracterização dos requisitos. A realização de debates, tendo como mediador uma pessoa alheia às partes, tem como características o *brainstorm*, as discussões sobre ideias e atividades bem definidas de tomada de decisões que devem resultar de um processo de negociação.

O documento gerado pela atividade de entrevistas e questionários, se houver, pode ser usado, a fim de guiar as discussões sem que haja dispersão dos envolvidos.

Como resultado dessa etapa, deve ser gerado um documento formal contendo os requisitos e as decisões tomadas sobre o sistema a ser implementado.

### **3.2.1.2: Técnicas de criatividade**

As técnicas de criatividade aparecem com o intuito de encontrar requisitos inovadores para o sistema, esboçar uma visão inicial do sistema e elicitar fatores inesperados de satisfação [ 9 ].

#### ➤ **Brainstorm**

O *Brainstorm* tem por objetivo coletar o maior número de ideias em um curto espaço de tempo. Um grupo de pessoas, preferencialmente de diferentes áreas de interesse, sugerem ideias a um moderador, que as documenta sem que haja discussão em cima da ideia.

Essa técnica é particularmente eficaz na elicitação de requisitos inovadores, pois um participante pode se basear na ideia de outro para construir requisitos que fogem ao padrão. Como não há discussão sobre as ideias propostas, as atenções dos participantes ficam voltadas apenas a parte criativa, deixando de lado a análise das ideias.

### **3.2.1.3: Técnicas de observação**

Quando há dificuldade de se extrair informações dos especialistas do domínio, seja porque eles não podem disponibilizar tempo ou por eles não conseguirem se expressar de forma clara, as técnicas de observação são bastante úteis.

Nelas, o engenheiro de software acompanha os trabalhos por um período de tempo e documenta todos os processos que envolverão o sistema. Nessa etapa os riscos, as dificuldades, os erros e as questões em aberto do domínio devem ser identificados.



➤ **Observação de campo**

Nessa técnica o engenheiro acompanha o trabalho realizado pelo especialista. Materiais em vídeo, fotos e áudios podem ser gravados para posterior análise. Aqui devem ser documentados os pontos importantes a serem considerados nos requisitos do software.

➤ **Apprenticing**

Aqui, o engenheiro precisa efetivamente fazer o trabalho do especialista, ou seja, ele precisa aprender como realizar as atividades relativas aos processos que serão englobados pelo sistema a ser desenvolvido.

#### **3.2.1.4: Técnicas de apoio**

As técnicas de apoio são utilizadas quando o engenheiro de requisitos não conhece o domínio em que o software está inserido. Além disso, eventuais pontos fracos nas técnicas anteriores são compensados.

➤ **Eventos hipotéticos**

A análise de eventos hipotéticos é uma técnica importante para analisar o comportamento que o cliente espera do sistema. Nessa etapa, eventos que poderiam acontecer durante a utilização do sistema são imaginados, desde o seu estado inicial, até obtenção do produto ou serviço final.

Uma sequência de estados de funcionamento é pensada juntamente com o cliente em uma operação sem erros, do início ao fim, formalizando a operação ideal do sistema. A partir daí possíveis erros e “rotas alternativas” das operações são imaginadas, em uma tentativa de abordar fielmente a essência do produto e antecipar possíveis erros.

Essa abordagem, por ser bastante prática e tratar da percepção que o cliente espera que o usuário tenha com o software, se mostra muito útil no alinhamento e nivelamento das expectativas de ambas as partes com o produto final.

## ➤ Prototipagem

Muitas vezes, mesmo depois de reuniões, entrevistas e análise de casos hipotéticos, o engenheiro de requisitos não consegue capturar os detalhes fundamentais do produto que o cliente quer. Nesses casos, ou em casos de sistemas críticos, que necessitem de um aprofundamento e uma confiabilidade maior dos requisitos, uma etapa de prototipagem se faz necessária.

Nessa etapa é desenvolvida uma versão superficial do software proposto, com requisitos básicos, bastante parecidos com os protótipos de engenharia mecânica ou as maquetes da engenharia civil.

Esse protótipo tem como objetivo auxiliar uma definição mais detalhada do sistema, partindo da hipótese que o cliente teria uma visão mais prática e palpável do produto. Além disso, ao se fazer testes de utilização do protótipo, o cliente que não sabe exatamente o que deseja ou as características que seu software deve ter, começa a imaginar o produto final com um embasamento melhor, esclarecendo as expectativas e criando ideias de como resolver o problema.

Como o desenvolvimento do protótipo requer tempo e recursos, existem custos relacionados a essa etapa que requerem uma avaliação da sua viabilidade. Como mencionado, casos em que o cliente não sabe definir suas necessidades ou até sistemas em que a interface gráfica seja um ponto crucial para o sucesso do projeto, são exemplos onde um protótipo pode ser uma solução na modelagem de requisitos.

Após a análise de viabilidade, é necessário decidir o tipo de protótipo a ser desenvolvido: *Throwaway* (para jogar fora) ou *Evolutionary* (evolucionário).

Um protótipo throwaway, ou para ser jogado fora, é concebido sem o intuito de aprimorá-lo até se tornar o sistema final, ou seja, uma vez que os requisitos tenham sido modelados, o protótipo é jogado fora e todo um sistema novo começa a ser desenvolvido do início. Sua única tarefa é servir de base para entendimento do problema.

Já um protótipo evolucionário é, desde o início, desenvolvido de maneira que se possa ser trabalhado e melhorado, sendo acrescentados funcionalidades e aspectos de confiabilidade, segurança e desempenho, tornando-se ao final um

sistema completo e dentro dos padrões estabelecidos na etapa de modelagem de requisitos [ 8 ].

Esse último tem como vantagem o aproveitamento dos recursos empregados no protótipo. Porém, deve-se tomar cuidado no seu desenvolvimento, pois deve-se garantir que a maneira como o protótipo seja programado seja possível implantar mudanças e melhorias de maneira fácil, sem que o programa se torne uma série de “remendos”.

### **3.2.2: Análise e especificação dos requisitos (Documentação)**

Após analisar o domínio e elicitar melhor os requisitos do sistema com as técnicas descritas no item anterior, o engenheiro precisa documentar da melhor forma possível os requisitos do sistema. Para isso, a engenharia de software possui técnicas bem definidas de documentação, a fim de estabelecer uma interface entre as etapas de modelagem de requisitos e o desenvolvimento do software. Segundo Pohl e Rupp [ 9 ]

*“ Uma técnica de documentação é qualquer tipo de representação mais ou menos formal que facilita a comunicação entre stakeholders e aprimora a qualidade dos requisitos documentados.”*

Essas técnicas de documentação podem apresentar várias formas, desde uma linguagem natural, redigida em prosa livre até técnicas mais formais, como diagramas de estados. A definição de Documento de requisitos para Pohl e Rupp [ 9 ] é:

*“ Uma especificação de requisitos é uma coleção de requisitos representada de forma sistemática, tipicamente para um sistema ou componente, atendendo a determinados critérios.”*

Três perspectivas podem ser abordadas em um documento de requisitos:

- Perspectiva estrutural – Documenta a estrutura estática do sistema, como, por exemplo, a estrutura dos dados de entrada ou as relações de dependência do sistema;
- Perspectiva funcional – Nessa perspectiva as informações que entram e saem do sistema são documentadas, bem como a ordem de execução das funções que processam esses dados;
- Perspectiva comportamental – Analisa os estados do sistema e como o sistema se relaciona com o ambiente em que está inserido.

Existem três formas de se elaborar esse documento:

- Linguagem natural – A linguagem natural tem como vantagem a fácil compreensão, onde qualquer pessoa envolvida com o projeto pode entender os requisitos do sistema modelado. Por outro lado, pode haver ambiguidade, uma característica indesejável em engenharia de requisitos;
- Modelos conceituais – Esses modelos, ao contrário da linguagem natural, não são facilmente compreendidos por alguém que não está familiarizado com as notações. Porém, seu grau de ambiguidade é menor e os requisitos podem ser modelados de maneira mais compacta;
- Documento híbrido – Tipicamente os documentos de requisitos apresentam uma combinação das duas primeiras formas. Dessa maneira, os pontos fracos de cada técnica são minimizados pelos pontos fortes da outra.

Por fim, um documento de requisitos precisa seguir uma estrutura clara, contendo todas as informações relevantes e mantendo fácil o acesso as informações. Para isso, criaram-se padrões para serem seguidos.

As vantagens de se usar padrões, entre outras, são que os padrões simplificam a inclusão de novos membros no projeto, facilitam o acesso às

informações uma vez que sua estrutura é padronizada e pode ser facilmente verificado, diminuindo a chance de erros. Entre outros padrões, os dois mais usados são:

- IEEE standard 830-1998 – Essa estrutura foi especialmente criada para documentação de requisitos de software. A estrutura do documento contém:
  - Introdução (limites do sistema, metas, etc);
  - Descrição geral (característica do usuário, restrições, etc);
  - Requisitos específicos (requisitos funcionais, de desempenho, etc).
- V-Model – Do Ministério do Interior da Alemanha, o Modelo-V apresenta diferentes estruturas de documentos:
  - Caderno de Encargos: É escrito pelo cliente, onde ele descreve todas as funcionalidades que deseja, podendo conter exigências dos usuários;
  - Caderno de Obrigações: É escrito pelo engenheiro, onde ele apresenta as sugestões de implementação, tendo como base as exigências descritas no caderno de encargos.

Concluindo, um documento de requisitos é uma parte fundamental da engenharia de requisitos, pois além de guiar o desenvolvimento do sistema, ele é um contrato firmado entre o cliente e o contratado. Portanto deve haver bastante atenção para elaborá-lo.

## Capítulo 4: Metodologia

Um grande problema enfrentado pelo setor de injeção de alumínio da WEG é o alto número de trocas de molde, causados pelo grande *mix* de produtos e o baixo número de peças por lote. Adicionalmente, o tempo entre a última peça do lote anterior até a primeira peça do próximo lote, chamado de *setup*, que envolve a troca dos moldes, a preparação dos ferramentais e toda a configuração do centro de trabalho, atualmente é bastante elevado, por vezes maior que o tempo para fabricar as peças do lote.

Por outro lado, muitas vezes a diferença entre os rotores de ordens de produção diferentes é apenas o comprimento da peça, o que muda o número de chapas que serão unidas pela gaiola de esquilo, mas que utilizam o mesmo molde para injeção. Além disso, moldes podem ser alternativos entre si, podendo ser substituídos pelos seus equivalentes sem perda de qualidade na peça. Então, uma pergunta que pode ser feita é: por que as ordens de produção do mesmo dia, ou até da mesma semana, não são agrupadas conforme o molde a ser utilizado, minimizando assim a necessidade de fazer todo o *setup* da célula?

O que acontece hoje na atividade de programação das ordens de produção da injeção de alumínio é que o programador não tem a visão dos moldes alternativos ou das ordens que não precisam realizar a troca de molde.

Uma ferramenta computacional para auxiliar os programadores a formar grupos de ordens similares poderia introduzir conceitos de programação avançada baseada em sistemas de capacidade finita, os quais levariam em conta tempos de *setup*, tempos de processamento, dados de carga máquina, podendo ser expandido à visão dos estoques de suprimentos e das paradas programadas das injetoras (Figura 20).

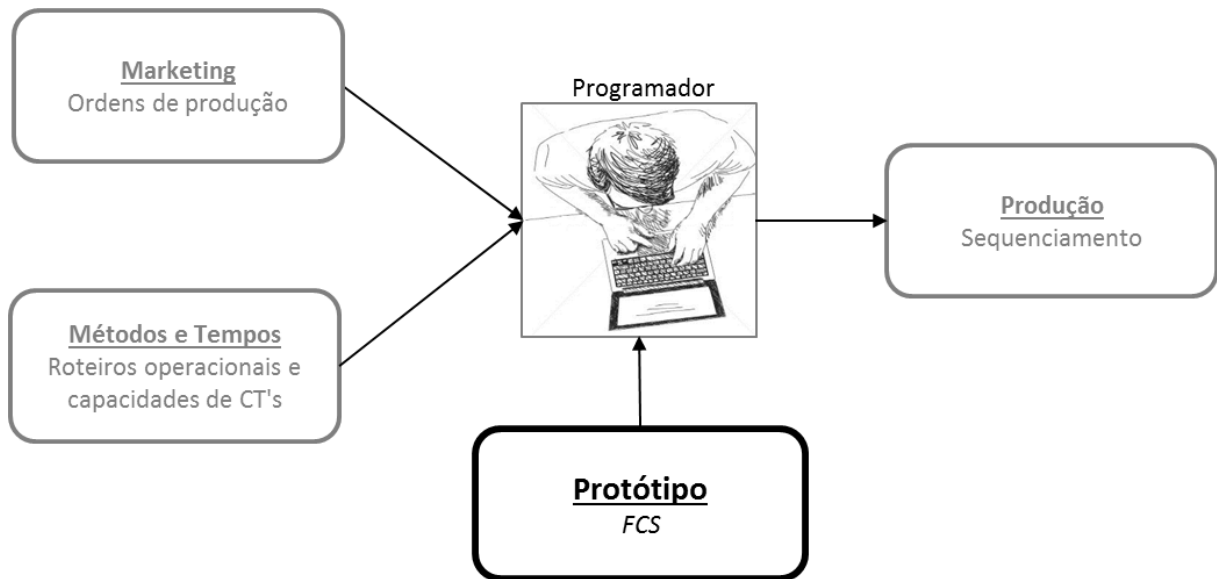


Figura 20 – Esquema do papel do protótipo

Sendo assim, como objetivo desse trabalho foi definido que será feita a modelagem dos requisitos de um sistema que programe as ordens de produção de rotores no setor de injeção de alumínio utilizando os conceitos de *FCS*.

## 4.1: Modelagem dos requisitos

No início do trabalho o autor deste trabalho não possuía conhecimento suficiente sobre o ambiente em que o software de programação da produção será inserido. Como levantar e especificar requisitos precisamente sem ao menos conhecer detalhes do que o software irá fazer? Para isso, foi necessário recorrer às técnicas da engenharia de software para entender as necessidades do setor e, assim, formular o documento de requisitos.

### 4.1.1: Técnicas de modelagem

#### ➤ Observação de campo

Como já citado na revisão teórica desse trabalho, uma das técnicas para tomar conhecimento do problema que será atacado por um software é a técnica de observação em campo.

Durante as primeiras semanas de trabalho eu fiquei próximo aos programadores do setor de injeção de alumínio, analisando sua rotina, os processos envolvidos na programação e as dificuldades que o programador encontrava tentando otimizar a produção. Nesse período também observei o chão de fábrica e a rotina das pessoas envolvidas na produção de rotores. Além disso, observei as operações de formação de pacote, injeção da peça e extração do pino de injeção. Também filmei *setups* para entender melhor as trocas de ferramentas, o porque delas precisam ser trocadas, quais as dificuldades envolvidas e o tempo gasto nessa operação.

### ➤ **Entrevistas e questionários**

Outra técnica utilizada no levantamento de requisitos e no estudo da problemática foram as entrevistas realizadas durante todo o período de estágio.

Simultaneamente à técnica de observação, entrevistas foram realizadas com as pessoas envolvidas no processo de programação e sequenciamento da produção.

O programador, o apontador (pessoa que lança no sistema as ordens de produção finalizadas), os preparadores (organizam o *setup* das injetoras) e os operadores das máquinas (operam a máquina e realiza o *setup*) me ajudaram a entender melhor como funciona o processo de produção dos rotores, desde a programação até o *setup* e a operação.

Nas entrevistas com os preparadores e os operadores, procurei aprender como funciona a produção de um rotor, as ferramentas utilizadas e seus propósitos, as dificuldades, as etapas críticas e o *setup* das máquinas.

### ➤ **Prototipagem**

Com a prototipagem objetivou-se não só entender melhor na prática como um software de programação por *FCS* deve atuar no setor de injeção de alumínio, mas também provar com resultados concretos traduzidos em indicadores de



desempenho a eficácia de introduzir a abordagem *Finite Capacity Scheduling* na atividade de programação de ordens de produção do setor.

Como já citado neste trabalho, do ponto de vista de engenharia de software, um protótipo pode ser desenvolvido para ser utilizado apenas como base no levantamento de requisitos e depois ser descartado (*Throwaway*), ou pode ser desenvolvido de forma que posteriormente, após a etapa de modelagem de requisitos, seja incrementado novas características e funcionalidades de maneira que o protótipo se torne o produto final (Evolucionário).

Existem algumas restrições com a utilização de um protótipo que irá se tornar um produto final, como, por exemplo, a preocupação em ter que trabalhar com a mesma plataforma e a mesma linguagem de programação que será entregue para o cliente.

Portanto, seguindo nessa linha de raciocínio, decidiu-se trabalhar com um protótipo descartável e, assim, se preocupar apenas com a funcionalidade do mesmo. As questões como ergonomia de software, desempenho e interoperabilidade não são tratadas utilizando essa abordagem e, portanto, tem-se um tempo menor de desenvolvimento. Os detalhes do protótipo serão tratados no próximo item.

## **4.2: Protótipo**

Com esse protótipo espera-se analisar a viabilidade de uma programação avançada da produção na seção de injeção de rotores. Além disso, esse protótipo também servirá como base no levantamento dos requisitos do software.

O protótipo foi instalado servindo de auxílio no PCP durante um período para experimento. A redução do número de *setups*, bem como a aceitação dos colaboradores da fábrica ao sequenciamento proposto, serviram como parâmetros para análise da viabilidade da solução:

- Redução do número de *setups* – A porcentagem de redução do número de *setups* em relação ao número antes do sequenciamento será o indicador de redução do número de *setups*.

$$\%R = \frac{N_A - N_D}{N_A}$$

*Equação 1- Redução do número de setups*

Onde: %R é a porcentagem de redução de *setups*,  $N_A$  é o número de *setups* antes do sequenciamento e  $N_D$  é o número de *setups* depois do sequenciamento

- Aceitação dos colaboradores da fábrica – Pela característica qualitativa desse indicador é necessária uma forma de quantificar os resultados a fim de medir os resultados. Portanto, é medida a aderência do sequenciamento pelos operadores das máquinas, ou seja, se as operações programadas serão executadas da forma que foi planejada:

$$\%Ac = \frac{N_M}{N_{Op}}$$

*Equação 2 - Aceitação dos colaboradores da fábrica.*

Onde: %Ac é a porcentagem de aceitação dos operadores,  $N_M$  é o número de mudanças na produção em relação à programação dentro de um determinado período, e  $N_{Op}$  é o número total de ordens de produção no mesmo período.

Para análise do potencial de ganhos do projeto, indicadores de carga/máquina, atraso da produção, tempo reduzido de máquina parada e ganhos potenciais serão analisados.

- Carga/Máquina – Esse será o indicador de utilização das máquinas, onde o tempo programado para a máquina, em relação ao tempo total disponível para a mesma será analisado.

$$C/M = \frac{T_P}{T_D}$$

*Equação 3 - Carga/Máquina.*

Onde:  $C/M$  é o indicador de carga/máquina,  $T_P$  é o tempo programado pro CT em um determinado período e  $T_D$  é o tempo total disponível no mesmo período.

- Atraso da produção – Para medir o atraso da produção, a taxa de ordens atrasadas em relação ao número de OPs produzidas será comparada com a mesma taxa antes da implantação do protótipo.

$$At_p = \frac{A_d/OP_d}{A_a/OP_a}$$

*Equação 4 - Atraso da produção.*

Onde:  $At_p$  é a taxa de melhoria nos atrasos,  $A_d$  é o número de ordens atrasadas depois da implantação em um determinado período,  $OP_d$  é o número de ordens de produção feitas depois da implantação no mesmo período,  $A_a$  é o número de atrasos antes da implantação e  $OP_a$  é o número de ordens produzidas antes da implantação.

- Tempo reduzido de máquina parada – A cada troca de ferramenta é gasto um tempo, esse tempo é considerado tempo de máquina

parada, pois não está produzindo nada enquanto não tem ferramenta. Ao reduzir um *setup*, uma certa quantidade de tempo deixa de ser gasta, deixando esse tempo disponível para a máquina produzir mais peças. A soma da quantidade de tempo de máquina parada economizada será o indicador.

$$T_{Mp} = \sum T_{setup}$$

*Equação 5 - Tempo reduzido de máquina parada.*

Onde:  $T_{Mp}$  é o tempo total reduzido de máquina parada e  $T_{setup}$  é o tempo de um setup que foi reduzido no novo sequenciamento.

Essa foi a abordagem utilizada para medir os ganhos desse projeto dentro do setor de injeção de alumínio.

## Capítulo 5: Desenvolvimento do Protótipo

Com o intuito de analisar o potencial de uma programação avançada com conceitos de sistemas de capacidade finita no setor de produção de rotores da WEG, decidiu-se desenvolver um protótipo, o qual teria como finalidade provar a eficácia dessa abordagem e, além disso, serviria como base para o levantamento de requisitos.

A partir desse ponto, um pequeno estudo se fez necessário para decidir qual a melhor forma de desenvolver esse experimento.

### 5.1: Projeto do protótipo

Após uma reunião com o analista da engenharia industrial, juntamente com o técnico do PCP, foram levantadas algumas características importantes para decidir de que maneira o protótipo seria desenvolvido.

- **Facilidade de implantação** – O protótipo precisaria ser facilmente implantado, ou seja, o tempo de treinamento dos usuários deveria ser o menor possível, visto que essa etapa de testes não pode ocupar muito os recursos.
- **Rapidez no desenvolvimento** – Por se tratar de um protótipo, seu tempo de desenvolvimento deverá ser o mais curto possível, caso contrário o custo envolvido nisso poderá ultrapassar o orçamento e o prazo de entrega pode não ser o suficiente, impossibilitando a conclusão do projeto.
- **Interface gráfica** – Aliado à facilidade de implantação, os recursos gráficos tem grande importância na escolha da abordagem de desenvolvimento do protótipo. O técnico da programação que fará o sequenciamento não deve se preocupar com linhas de comando de um *prompt*, por exemplo.

- **Rapidez no processamento** – O tempo gasto para os testes não deve ser grande o suficiente a ponto de atrapalhar o trabalho do técnico da programação.

Diante das características desejadas para o protótipo e para o seu desenvolvimento, chega-se à conclusão que o teste deve ser feito usando-se uma plataforma muito conhecida dentro da WEG, o Microsoft *Excel*®. Esse software é amplamente utilizado pra inúmeras aplicações dentro do setor de injeção de alumínio e, assim, os colaboradores estão familiarizados com a interface gráfica e com o seu funcionamento.

Além disso, por se tratar de um software que possui várias ferramentas já implementadas, o foco do programador se resume à solução do problema em si, sem se preocupar com a consistência dos dados e outras características que possam ter um custo alto de tempo. Dessa forma, o desenvolvimento terá um tempo efetivo muito menor.

Como já mencionado, o Microsoft *Excel*® possui uma interface gráfica muito boa, à qual os possíveis usuários da aplicação têm grande afinidade. Dessa forma, o usuário não precisa se preocupar com linhas de comando e, ao mesmo tempo, tem uma facilidade maior durante o aprendizado do uso da ferramenta.

O Microsoft *Excel*® é um software consolidado no mundo todo e possui algoritmos otimizados de cálculo. Sendo assim, o tempo de processamento dos dados necessários para a aplicação não será um problema e, com certeza, não atrapalhará o fluxo do trabalho do técnico da programação.

Uma última característica do teste falta ser definida: o tipo de protótipo a ser desenvolvido.

Se um protótipo for projetado para ser melhorado posteriormente, quando novos requisitos forem inseridos e ao final do projeto ele se torna o produto final, certo cuidado no desenvolvimento deste é necessário. A etapa de protótipo nesse caso ocupa uma parcela maior do projeto. Além disso, o protótipo deve ser desenvolvido na mesma plataforma, com os mesmos recursos que serão utilizados no produto final.

Por outro lado, se um protótipo é considerado desde o início para servir apenas como testes, sendo que ao final dessa etapa ele é jogado fora e um produto

novo é desenvolvido, não há muita preocupação por parte da equipe desenvolvedora em programá-lo de forma que facilite mudanças em outras etapas.

No caso da ferramenta de sequenciamento de ordens de produção estudado nesse trabalho, não se tem a priori informações da plataforma e dos recursos que serão necessários para desenvolvimento do sistema final. Esta é uma particularidade da modelagem do sistema, uma etapa mais avançada desse estudo de caso. Diante do exposto, decidiu-se fazer um protótipo do tipo *throwaway*.

Após o estudo das características básicas do protótipo, uma análise mais detalhada das ferramentas que seriam implementadas no aplicativo se fez necessária.

Devido ao tempo limitado de desenvolvimento do protótipo, foi decidido que apenas as características essenciais deviam ser implementadas, ou seja, apenas as funcionalidades que provem o potencial da programação *FCS* seriam desenvolvidas no protótipo. Então, partindo dessa premissa, uma reunião, juntamente com os responsáveis pela programação da produção, foi feita para analisar as possíveis funcionalidades a serem implementadas no protótipo. A tabela 3 mostra o resultado da reunião.

<b>Funcionalidade</b>	<b>Dificuldade de realizar manualmente</b>
Sequenciamento das ordens de produção	Baixa
Análise dos estoques de materiais	Baixa
Programar manutenção	Média
Avaliar ordens de produção similares	Alta

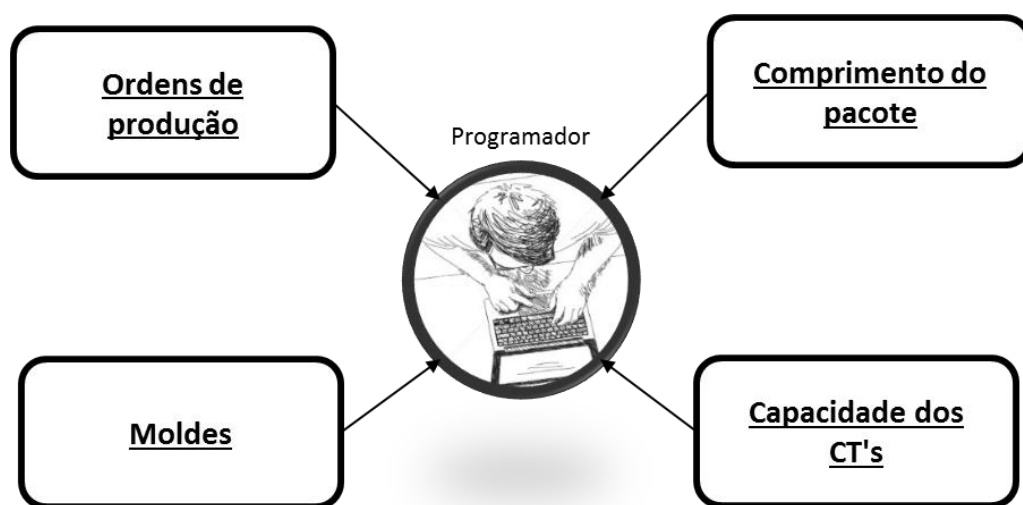
*Tabela 3 - Funcionalidades e a dificuldade de implementá-las.*

A única atividade que realmente proporciona dificuldades para o programador em realizar manualmente é avaliar as ordens de produção que podem ser similares entre si, utilizando os critérios de similaridade apresentados no item 2.4.

As outras três funcionalidades têm dificuldade baixa ou média, isso porque o software ERP utilizado na WEG já disponibiliza ferramentas de suporte a essas atividades.

Detalhando melhor a atividade de avaliar ordens de produção similares, descobre-se que a principal dificuldade está na dispersão da informação, ou seja, as informações necessárias para fazer esta avaliação estão espalhadas em bancos de dados e tabelas.

Para o programador avaliar se uma ordem de produção pode ser reprogramada para outro centro de trabalho ou outra data, ele precisa ter acesso a informações técnicas das ferramentas utilizadas para a injeção dos rotores, o comprimento do pacote para o item presente em cada ordem de produção, as datas de todas as OPs e a carga máquina ou capacidade restante em cada centro de trabalho (Figura 21).



*Figura 21 - Informações necessárias para analisar similaridade.*

Para fazer todas as pesquisas técnicas de ferramentas, comprimento do pacote e capacidade de cada centro de trabalho, e ainda cruzar todas as informações com as datas das ordens de produção e seus respectivos centros de trabalho, o programador teria que se esforçar sobremaneira. Além de ser uma atividade praticamente impossível de ser realizada manualmente no dia a dia da





necessárias para isso. Esse banco de dados é um recurso que já existe e que está bem consolidado dentro da produção.

Material	CT	Molde	Agulha Ideal	Chaveta Ideal NORMA NOVA	Bucha Centralização	Inc Chaveta Nova	Inclinação Chaveta Antiga	Pino
10023962	1020006	18041	1	1182	4	11,78	12,4 11,5 12,7	10
10023962	1020014	18041	1	1182	4	11,78	12,4 11,5 12,7	10
10025560	1020006	18041	1	1188	4	11,62	12,3 11,6 11,4	10
10025730	1020002	16584/2	1	1182	5	11,23	10,7 11,6 10,4	19
10025730	1020002	16584	1	1182	5	11,23	10,7 11,6 10,4	19
10025730	1020006	16584/2	1	1182	5	11,23	10,7 11,6 10,4	19
10025730	1020006	16584	1	1182	5	11,23	10,7 11,6 10,4	19
10025730	1020014	16584/2	1	1182	5	11,23	10,7 11,6 10,4	19

Figura 23 - Banco de dados do setor.

A partir dessas entradas, o aplicativo é capaz de saber as datas das ordens de produção, o tipo de rotores que será injetado, os centros de trabalho e os moldes utilizados. Sendo assim, pode-se calcular alternativas de mudanças na programação a fim de agrupar ordens similares.

Porém, para avaliar se isto é viável, do ponto de vista dos recursos necessários, é preciso que o protótipo calcule automaticamente a carga máquina diária dos centros de trabalho e que se recalcule caso o programador modifique as datas, podendo-se avaliar as vantagens e a viabilidade das mudanças.

Para fazer esses cálculos, foram modelados todos os centros de trabalho de acordo com a capacidade de cada um. Assim, ao analisar o documento de programação semanal, o protótipo pode calcular de acordo com os tempos padrão de produção de cada CT (Figura 24).

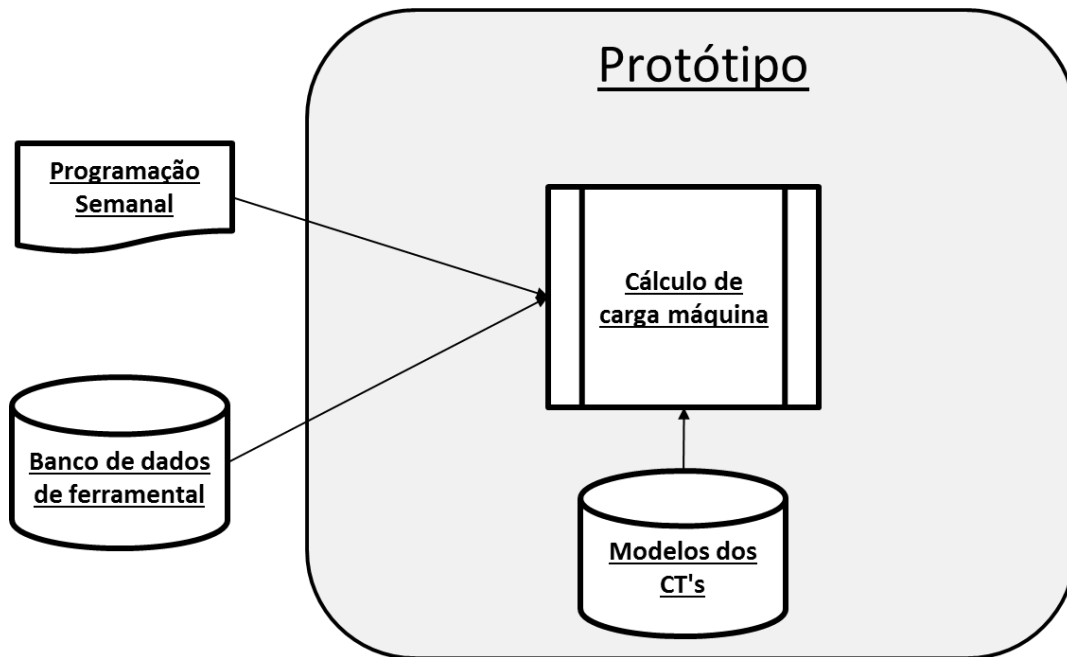


Figura 24 - Estrutura do protótipo.

Como a programação é um documento externo, que vem diretamente do planejador MRP, é necessário extrair os dados das ordens dele, ou seja, o aplicativo precisa ler o documento, entender os dados e organizá-los por número da ordem de produção, item do rotor de cada ordem, data e centro de trabalho. Para isso foi programado em *Visual Basic*, no *Excel*, uma rotina de extração e organização das informações desse documento.

Logo após a extração e organização dos dados, é necessário fazer a ligação dos itens de rotor com o molde utilizado para sua fabricação. Isso é feito por meio das ferramentas do *Excel*, que vai buscar no banco de dados o molde principal para a injeção e seus moldes alternativos.

Com essas informações organizadas, o protótipo precisa identificar as ordens de produção que podem ser agrupadas seguindo a lógica de similaridade entre centros de trabalho citados antes nesse trabalho.

Para isso, a lógica implementada em *Visual Basic* identifica, entre a lista de OPs da mesma data, os itens de rotores iguais, mas que estão programados para CTs diferentes. O programa também encontra rotores que podem ser injetados com roteiros e moldes alternativos e podem ser agrupados com outras ordens de produção sem perder a qualidade.

Como forma de mostrar ao usuário quais OPs podem ser reprogramadas para minimizar a quantidade de *setups* na produção, o protótipo imprime na tela, em uma coluna do lado da coluna do centro de trabalho programado, o novo CT sugerido, como mostrado na figura 25.

Alterações Propostas					
Material	CT		Data		Chapa
	De	Para	De	Para	
10028835	12	7			10023395
10029895	12	7			10023506
10208181	13	9			10023588
12938388			13/07	10/07	11438964
11478393			13/07	10/07	11439836
11478388			13/07	10/07	11439836
11448685			13/07	10/07	11439836
11446313			13/07	10/07	11438964

Figura 25 - Interface indicando sugestão de centro de trabalho alternativo.

Um processo similar é utilizado para identificar ordens de produção programadas em datas diferentes. Para essas, a lógica identifica as mesmas similaridades, porém, para mostrar ao usuário, o que é impresso na tela é a data sugerida para mudança (Figura 26).

Em ambos os casos, quando o usuário identifica a possível mudança na programação, ele pode simular como ficaria a carga máquina dos CTs se essa mudança ocorresse na prática.

Nesse caso, a nova data ou novo CT sugerido pelo protótipo é inserido em um campo específico da planilha, que ao identificar a mudança recalcula a porcentagem de capacidade dos centros de trabalho utilizada, para que assim o programador possa decidir fazer a mudança ou não (Figura 27).

Alterações Propostas					
Material	CT		Data		Chapa
	De	Para	De	Para	
10028835	12	7			10023395
10029895	12	7			10023506
10208181	13	9			10023588
12938388			13/07	10/07	11438964
11478393			13/07	10/07	11439836
11478388			13/07	10/07	11439836
11448685			13/07	10/07	11439836
11446313			13/07	10/07	11438964

Figura 26 - Interface indicando sugestão de data alternativa.

		300 e 500t								
		1020001	1020003	1020005	1020022					
Carga de Máquina	09/07/2015	Qui	46%	21%	5%	43%	59%	71%	29%	46%
	10/07/2015	Sex	75%	75%	26%	3%	130%	112%	33%	17%
	11/07/2015	Sáb	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	13/07/2015	Seg	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	14/07/2015	Ter	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	15/07/2015	Qua	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	16/07/2015	Qui	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	17/07/2015	Sex	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	18/07/2015	Sáb	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		1020001	1020003	1020005	1020022					

Centro de trabalho

Col. antes das mudanças

Col. depois das mudanças

Figura 27 - Display de carga máquina.

É importante ressaltar que todas as mudanças sugeridas pelo protótipo visam a diminuição do número de trocas de ferramentas no setor de injeção de alumínio e, portanto, uma ordem de produção só será identificada como uma possível candidata

a mudança na programação, caso ela possa ser transferida por completo para outra data ou outro CT. A cada item de rotor que possa ser injetado em outras circunstâncias, o protótipo faz o cálculo de tempo necessário para sua produção e o tempo restante no CT pretendido. A Figura 28 mostra o fluxograma do processo de utilização do protótipo.

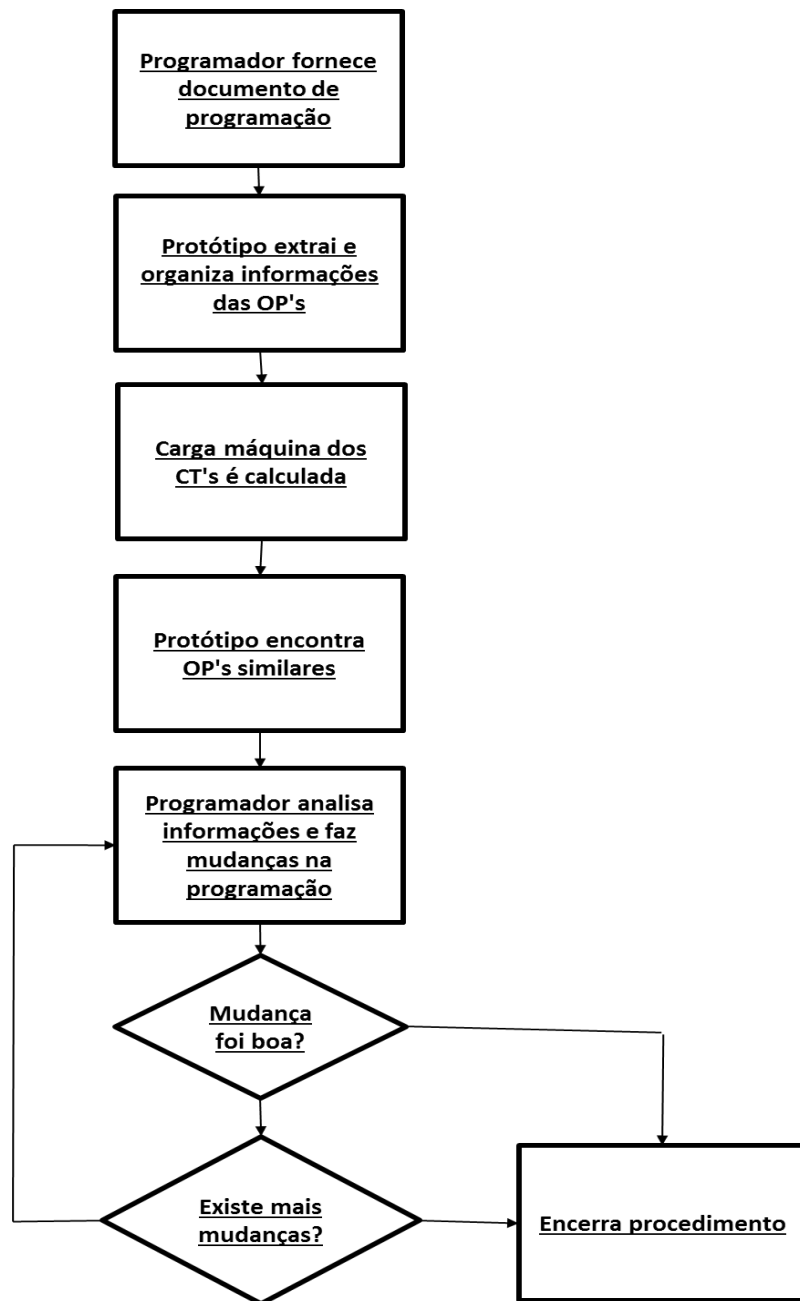


Figura 28 - Fluxograma do processo de utilização do protótipo.

## Capítulo 6: Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados parciais da implantação do protótipo na programação da produção de rotores, bem como o documento de requisitos resultante das técnicas de levantamento de requisitos utilizada no decorrer do projeto.

### 6.1: Resultados do protótipo

Como um dos objetivos desse trabalho é provar a adequação da abordagem de programação *FCS* para a produção de rotores do setor de injeção de alumínio da WEG, primeiramente se faz necessário a apresentação dos resultados obtidos com a implantação do protótipo.

É importante ressaltar que os resultados apresentados não estão divididos por centros de trabalho (alguns foram omitidos neste documento), mas os resultados foram similares para todas as células. Escolheu-se essa forma de apresentar os resultados pelo fato de haver um número muito elevado de centros de trabalho no setor.

#### 6.1.1: Redução do número de *setups*

Foi definida a Equação 1 para medir o primeiro indicador de resultados (Redução do número de *setups*). A Figura 29 mostra o resultado de 10 dias utilizando o protótipo para auxílio da programação.

Na coluna *% Redução* pode-se ver o cálculo do indicador utilizando a equação 1 dos resultados obtidos na prática. Na média, obteve-se 21% de redução do número de *setups*, e no dia 10/jul (sexta-feira) chegou-se a economizar 28%.

Já na coluna *Setups Economizados* pode-se ver o número de trocas de ferramentas que foram economizados na prática.

Dia Programado	Economia			% Redução
	Setups Economizados	Horas	Nº Setups	
26/jun - sex	13	3,45	69	16%
29/jun - seg	21	6,17	56	27%
30/jun - ter	17	5,03	55	24%
01/jul - qua	13	3,5	71	15%
02/jul - qui	22	6,68	73	23%
06/jul - seg	11	2,87	69	14%
07/jul - ter	13	3,57	66	16%
08/jul - qua	22	6,18	68	24%
09/jul - qui	18	5,53	70	20%
10/jul - sex	23	7,1	59	28%

Figura 29 - Redução do número de setups.

A figura 30 apresenta uma imagem da interface do protótipo, que mostra o número de *setups* antes e depois, por máquina.

		Com Chaveta										
		1020002		1020004		1020006		1020014		1020023		
Preparações	10/07/2015	Sex	4	5	5	7	3	3	1	3	4	4
	11/07/2015	Sáb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13/07/2015	Seg	2	0	10	2	2	2	6	2	0	0
	14/07/2015	Ter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15/07/2015	Qua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16/07/2015	Qui	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17/07/2015	Sex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18/07/2015	Sáb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20/07/2015	Seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 30 - Número de setups antes e depois, por máquina.



### 6.1.2: Aceitação dos colaboradores na fábrica

Para medir a aceitação dos colaboradores na fábrica, utilizou-se a equação 2 e obteve-se os resultados apresentados na tabela 4.

	Período	Ordens produzidas	Número de mudanças de CT	Indicador
<b>2014</b>	Maio	4370	2511	<b>57%</b>
	Junho	4820	2836	<b>59%</b>
	Julho	5265	1436	<b>27%</b>
	Agosto	5099	905	<b>18%</b>
	Setembro	4728	830	<b>18%</b>
	Outubro	3780	628	<b>17%</b>
	Novembro	3780	731	<b>19%</b>
	Dezembro	5437	928	<b>17%</b>
<b>2015</b>	Janeiro	5754	924	<b>16%</b>
	Fevereiro	4565	663	<b>15%</b>
	Março	3607	628	<b>17%</b>
	Abril	3452	580	<b>17%</b>
	Maio	4828	542	<b>11%</b>
	Junho	5283	373	<b>7%</b>
	Julho	5007	300	<b>6%</b>

*Tabela 4 - Aceitação dos colaboradores na fábrica.*

A figura 31 mostra um gráfico dos dias antes e depois da implantação do protótipo. Pode-se notar uma diminuição da troca de centros de trabalho depois de utilizar a ferramenta para auxílio da programação, o que demonstra uma grande aceitação dos colaboradores da fábrica.

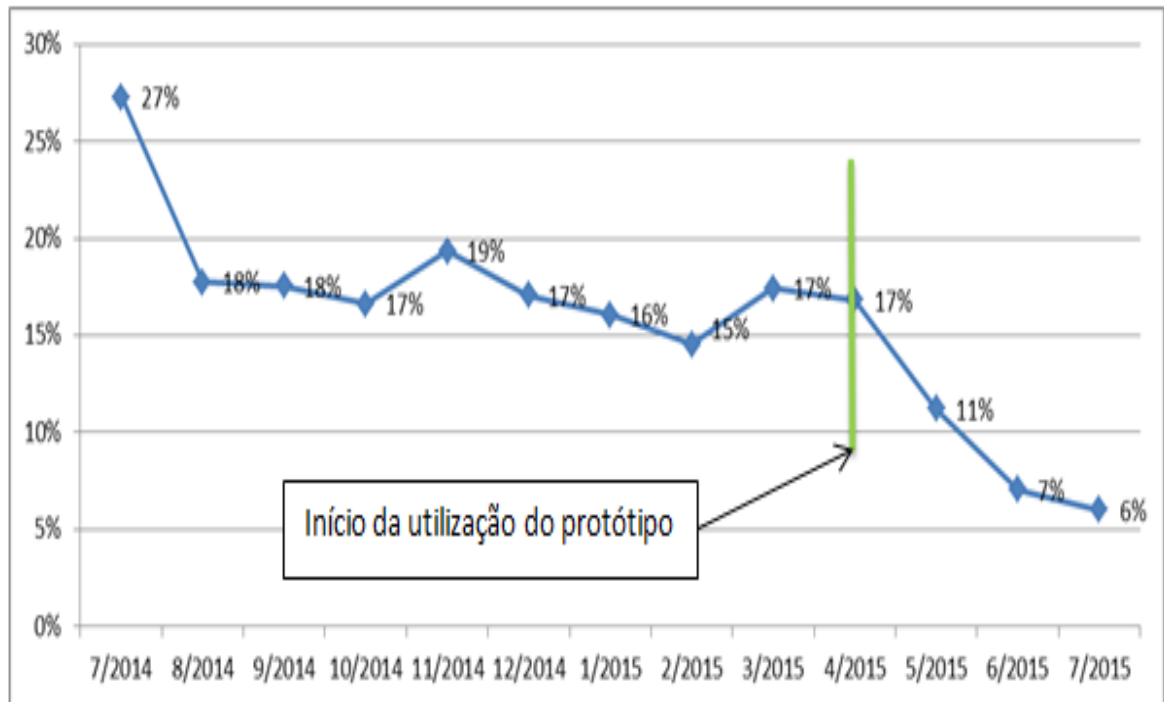


Figura 31 - Gráfico de troca de CTs.

### 6.1.3: Carga / Máquina

A Figura 32 mostra o gráfico que representa a Carga/Máquina e o atendimento às ordens de produção das seções A e B dentro do setor de injeção de alumínio. Pode-se notar que o indicador se mantém constante ao longo da semana.

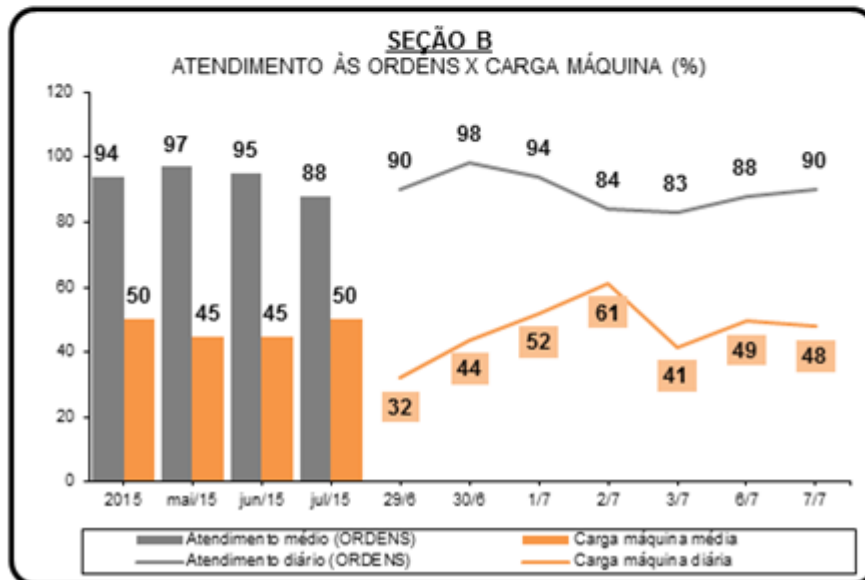
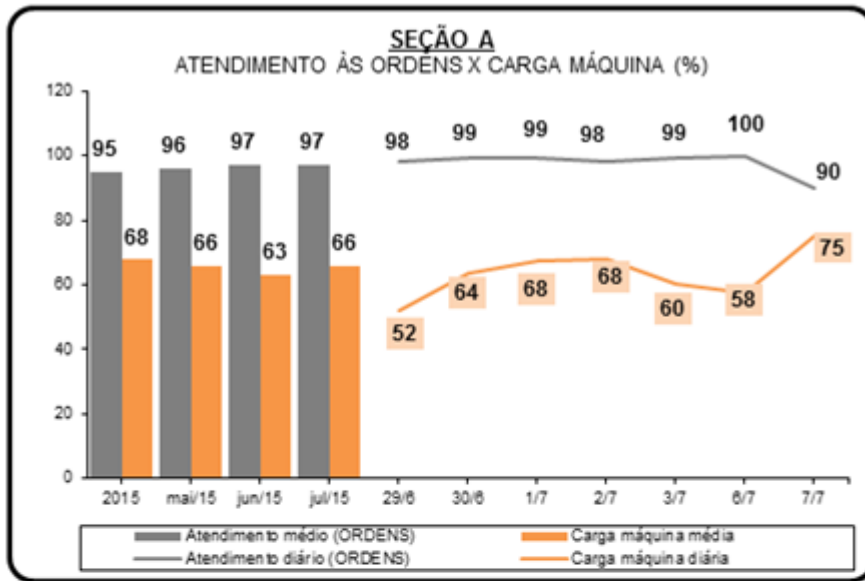


Figura 32 - Carga / Máquina

A Figura 33 foi extraída do protótipo, mostrando a melhora no indicador dos centros de trabalho com a utilização do protótipo. No caso, somente os dias 10/07 e 13/07 tinham sido programados, por isso a carga de máquina estava zerada nos outros dias.

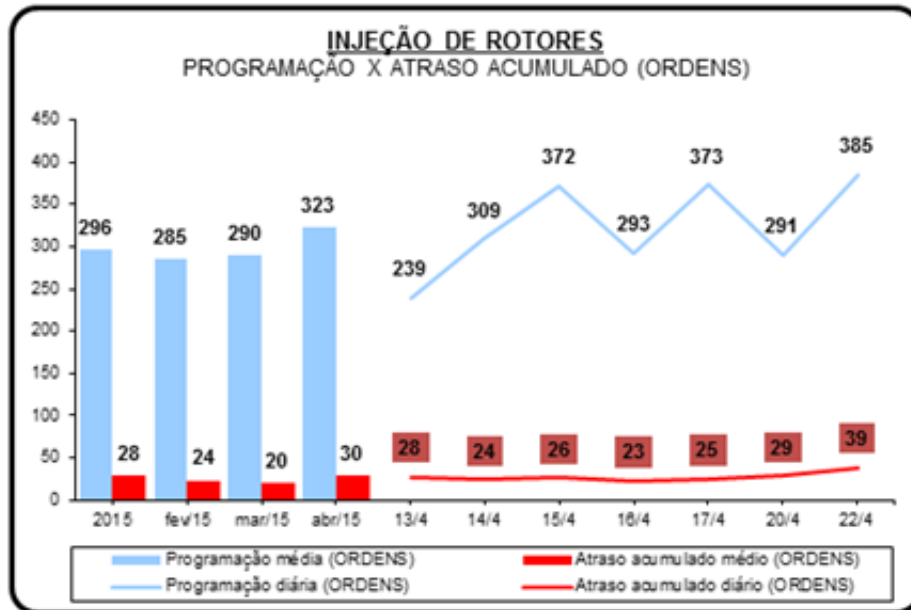
			1020002	1020004	1020006	1020014	1020023
<b>Carga de Máquina</b>	10/07/2015	Sex	68% 90%	25% 95%	75% 75%	6% 49%	41% 56%
	11/07/2015	Sáb	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
	13/07/2015	Seg	97% 70%	142% 55%	63% 63%	108% 55%	19% 1%
	14/07/2015	Ter	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
	15/07/2015	Qua	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
	16/07/2015	Qui	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
	17/07/2015	Sex	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
	18/07/2015	Sáb	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
	20/07/2015	Seg	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%	0% 0%
			<b>1020002</b>	<b>1020004</b>	<b>1020006</b>	<b>1020014</b>	<b>1020023</b>

*Figura 33 - Imagem da melhora no indicador de Carga / Máquina*

#### 6.1.4: Atraso da produção

A Figura 34 mostra um gráfico dos atrasos antes e depois da implantação do protótipo na programação das ordens de produção. Pode-se notar que não houve uma diferença significativa neste indicador. Isto é um resultado positivo pois, mesmo mudando a forma de programar a produção do setor, não houve um aumento no número de ordens atrasadas.

## Antes



## Depois

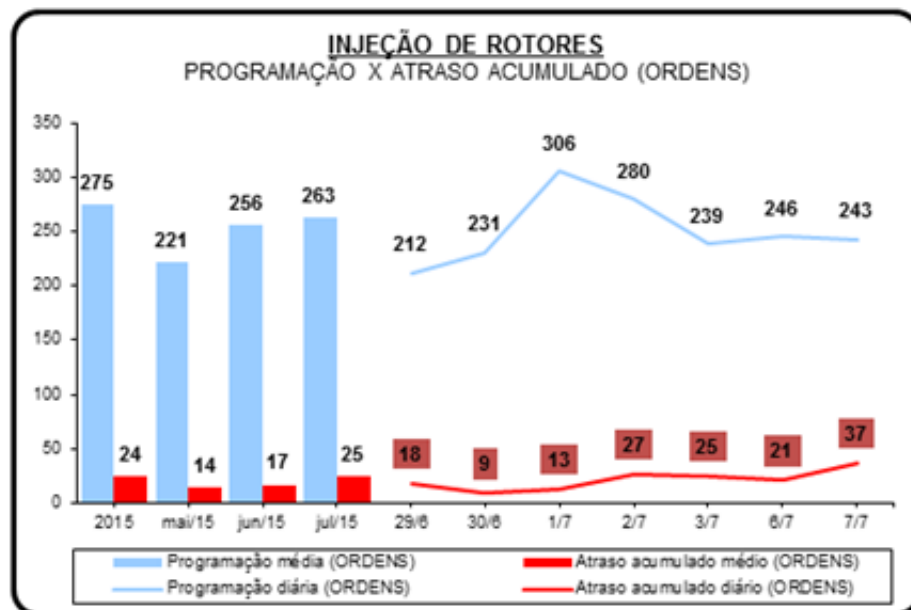


Figura 34 - Atrasos antes e depois do protótipo

A tabela 5 apresenta o cálculo do indicador conforme a equação 4. Também pode-se notar com os resultados que não houve diferença nos atrasos de ordens de produção, visto que a média do indicador ficou muito próxima de um.

Antes			Depois		
Ordens programadas	Ordens atrasadas	Taxa de atraso	Ordens programadas	Ordens atrasadas	Taxa de atraso
239	28	10%	212	18	8%
309	24	7%	231	9	4%
372	26	7%	306	13	4%
293	23	7%	280	27	9%
373	25	6%	239	25	9%
291	29	9%	246	21	8%
385	39	9%	243	37	13%

Indicador	
Atraso de produção	
	0,75
	0,52
	0,62
	1,21
	1,51
	0,87
	1,44
<b>Média</b>	<b>0,99</b>

Tabela 5 - Taxa de atraso de ordens de produção.

### 6.1.5: Tempo reduzido de máquina parada

A Figura 35 apresenta, na coluna Horas, o número de horas de máquina parada com *setup* reduzidos, após 10 dias de utilização do protótipo. A média foi de 5 horas diárias, chegando até a 7,1 horas de redução de *setups*. Esse indicador foi calculado utilizando a equação 5.

Dia Programado	Economia			% Redução
	Setups Economizados	Horas	Nº Setups	
26/jun - sex	13	3,45	69	16%
29/jun - seg	21	6,17	56	27%
30/jun - ter	17	5,03	55	24%
01/jul - qua	13	3,5	71	15%
02/jul - qui	22	6,68	73	23%
06/jul - seg	11	2,87	69	14%
07/jul - ter	13	3,57	66	16%
08/jul - qua	22	6,18	68	24%
09/jul - qui	18	5,53	70	20%
10/jul - sex	23	7,1	59	28%

Figura 35 - Tempo reduzido de máquina parada

## 6.2: Requisitos

Nesse item será apresentado o documento de requisitos gerado no levantamento que utilizou as técnicas citadas no capítulo 4 de metodologia.

### 6.2.1: Introdução do documento de requisitos

Devido ao alto número de motores que a WEG oferece e ao alto número de características diferentes que esses motores podem ter, a produção é obrigada a se adaptar e se flexibilizar, tornando-se assim, apta a produzir tal gama de produtos dentro de parâmetros aceitáveis de qualidade e tempo de entrega. Esse último é o tópico abordado por esse software.

Para cumprir prazos apertados de entrega dos produtos, o planejamento e o controle da produção (PCP) precisam ser robustos e otimizados, a fim de reduzir o tempo de ciclo de um produto dentro da fábrica e sequenciando as operações de maneira a suprir a demanda da melhor forma possível.

### ➤ **Propósito do produto**

Este software, tem como propósito otimizar o sequenciamento das ordens de produção do setor de injeção de alumínio na WEG, aplicando conceitos de programação avançada da produção e sistemas de capacidade finita.

Em consequência disso, diminuir o tempo necessário para a produção das peças e gerenciando o uso dos recursos disponíveis, levando em conta os estoques de material e de produtos acabados, bem como as características do setor, como ferramentas necessárias e tempos de setup's.

## **6.2.2: Descrição Geral do Produto**

### ➤ **Contexto**

O software proposto deve auxiliar nas decisões do PCP, calculando alternativas de sequenciamento de ordens de produção (OP's) no setor de injeção de alumínio, o qual fabrica rotores do tipo 'gaiola de esquilo'.

Por auxiliar nos referimos à: Dado o planejamento bruto semanal do setor, gerar uma solução satisfatória de sequenciamento diário, levando em conta o tempo disponível dos centros de trabalho (CT's), os itens de rotores a serem produzidos, na WEG chamados de material do rotor, o número de peças de cada OP, as ferramentas necessárias para se produzir cada material do rotor, entre outros.

Atualmente, o setor de injeção de rotores conta com um sistema de planejamento da produção que não tem uma visão detalhada do que acontece de fato no chão de fábrica. Além disso, não existe sequenciamento diário da produção, ou seja, uma vez planejada uma OP para uma data específica, a ordem que ela será produzida no centro de trabalho fica a cargo dos operadores da máquina, sem seguir uma regra ou um procedimento específico.

A ferramenta que é especificada nesse documento visa agregar no sistema de PCP, implementando uma forma mais robusta de programação e o sequenciamento diário da produção.



## ➤ **Funções**

Para realizar o propósito desse software, é necessário que o software possua as seguintes funções.

**O sequenciamento** – Este deve seguir as regras pré-estabelecidas pelo departamento do PCP da WEG, tais como a minimização do número de setup's, dando prioridade pra OP's em atraso e, após as OP's em atraso, seguir uma ordem crescente do tempo de processamento.

**A redução de setup's** – Para realizar essa função, o software deve agrupar ordens de produção que utilizem a mesma ferramenta em um único centro de trabalho.

**A análise de estoques de chapa** – É necessário que o software trabalhe com dados de estoque dos itens de chapas necessárias para a fabricação dos rotores.

**A consideração das manutenções preventivas** – Para isso o software deve receber informações de manutenções programadas e levar em conta na programação das ordens de produção.

**A interface gráfica** – É necessário que o software tenha uma interface gráfica para mostrar o resultado dos cálculos de carga máquina e as mudanças na programação feitas durante as simulações.

**A simulação em tempo real** – O software deve calcular os indicadores em tempo real, respondendo aos estímulos do usuário e atualizando a interface a cada mudança feita por ele.

**A interação com o usuário** – O usuário deve conseguir visualizar a programação em tempo real e interagir com o software (fazendo mudanças manuais na programação).

**A geração de relatórios** – Devem ser gerados relatórios de desempenho da programação, com informações relevantes aos gestores.

O objetivo da ferramenta é melhorar esse procedimento, logo, um patamar mínimo aceitável para o desempenho da aplicação é de ser equivalente ao

procedimento atual, não sendo tolerada a redução dos níveis da média de utilização do centro de trabalho, um aumento no número de setup's ou atraso de OP's.

Ainda falando em desempenho, como o tempo é uma variável importante no processo de fabricação da maioria das empresas, uma característica desejável do software, é que seu tempo de processamento seja muito menor do que o tempo economizado com o sequenciamento, sendo impraticável para fábrica tempos de cálculo de sequenciamento maiores que 1 hora e o tempo economizado seja de 50 minutos, por exemplo.

As ordens sequenciadas pelo programa serão entregues aos respectivos operadores dos centros de trabalho para serem executadas. Portanto, esse processo estará ligado diretamente com a produção e não terá nenhuma etapa intermediária. Sendo assim, o programa também deve seguir um parâmetro de confiabilidade, sendo necessária a garantia de que todas as ordens de produção sejam levadas em conta, não deixando de sequenciar nenhuma OP previamente planejada.

Quanto à segurança, é imprescindível a garantia de integridade dos dados, tanto das ordens de produção quanto das informações relativas às características do ambiente, tais como número dos itens dos rotores e ferramentas necessárias.

### ➤ **Características do usuário**

Como o software estará inserido em um ambiente fabril, em contato direto com o chão de fábrica, mas também fornecerá informações táticas e estratégicas importante para os indicadores do setor, as características dos usuários são amplas, diferindo pelas funcionalidades que serão usadas.

Por um lado, os usuários que terão acesso aos dados do sequenciamento gerados pelo programa são, na sua maioria, de idade mais avançada e de baixa escolaridade, muitos apenas com ensino médio. Para eles, a simplicidade e clareza das funcionalidades são importante, de maneira que a utilização do software não altere em muito, a rotina de seus trabalhos.

Por outro lado, para os técnicos que farão a programação e para os gestores que irão analisar os relatórios gerados, não há a necessidade de tal simplicidade nas funcionalidades. Para esses usuários, a qualidade das informações e a complexidade das funcionalidades são a prioridade.

### **6.2.3: Requisitos específicos**

#### **➤ Requisitos Não-Funcionais**

- O software deve ter capacidade de ler arquivos CSV e planilhas para interpretar os dados da programação semanal;
- Também deve ter interface com impressoras, para impressão dos relatórios, caso necessário;
- Interface com banco de dados, para leitura e gravação de dados;
- Velocidade de processamento menor que 1 minuto para cálculo de todos os indicadores;

#### **➤ Requisitos Funcionais**

- Calcular automaticamente um sequenciamento diário robusto e otimizado da produção de rotores;
- Para o sequenciamento: Levar em conta tempo disponível dos CT's, os itens de rotores a serem produzidos, o número de peças de cada OP e as ferramentas necessárias;
- Seguir regras pré-estabelecidas pelo setor de planejamento: Minimizar o número de troca de ferramentas nas máquinas, dar prioridade para OP's em atraso e dar prioridade para OP's com tempo menor de processamento;
- Ser capaz de considerar manutenções preventivas programadas;

- Analisar estoques e programação das chapas necessárias para produção dos rotores;
- Minimizar o número de setup's entre os centros de trabalho, agrupando ordens de produção que utilizem as mesmas ferramentas;
- Calcular em tempo real os indicadores, respondendo às mudanças que o usuário fizer na programação;
- Permitir que o usuário faça as modificações manuais desejadas na programação e no sequenciamento;
- Gerar relatórios diários de mudanças na programação, carga / máquina dos centros de trabalho antes e depois da utilização do programa, diminuição do número de setup's, número de peças produzidas e ferramentas mais utilizadas;
- Interface gráfica dinâmica, com as informações necessárias para o usuário realizar as atividades de ajuste da programação e do sequenciamento.

## Capítulo 7: Conclusões e Perspectivas

Com base nos resultados apresentados no capítulo anterior e nos estudos realizados, tanto sobre a empresa quanto sobre a metodologia utilizada, a seguir apresentam-se algumas considerações.

### 7.1: Análise da viabilidade da utilização da abordagem FSC

Analisando os resultados pode-se notar uma redução no número de *setups* das injetoras e, conseqüentemente, uma melhor utilização dos centros de trabalho, visto que o tempo de máquina parada é reduzido durante o período de produção.

Quanto a atrasos em ordens de produção, ou diminuição de produtividade, pode-se concluir que não houve alteração significativa nos indicadores de produção, ou seja, a implementação da abordagem não trouxe ganhos nesse indicador, porém também não trouxe prejuízos.

O indicador de aceitação dos colaboradores à nova abordagem de programação mostrou resultados muito favoráveis, visto que 94% ordens de produção seguiram o centro de trabalho programado no último período medido. Em contrapartida, no primeiro período medido, antes do protótipo ser instalado no setor, apenas 63% seguiram o centro programado. Isso indica que, culturalmente, a empresa aprovou o novo método de sequenciamento.

Diante dessas considerações, conclui-se que a abordagem de programação FSC trouxe muitos benefícios para a empresa, sem piorar indicadores essenciais, como, por exemplo, o de atrasos de ordens de produção. Portanto, considera-se provado com esse trabalho que a programação avançada da produção é benéfica para o setor e deve ser melhor explorada trabalhos futuros.

## **7.2: Levantamento dos requisitos**

Uma vez que a abordagem *FSC* foi provada como sendo uma boa alternativa para o planejamento e a programação da produção no setor de injeção de alumínio da WEG, foram levantados os requisitos para o desenvolvimento de um sistema de programação avançado da produção para um controle mais otimizado do chão de fábrica.

Com base nas entrevistas, nos estudos e nas observações realizadas no setor, bem como no protótipo implementado, levantou-se requisitos importantes e que podem guiar um projeto de modelagem do software, garantindo que as necessidades do problema sejam atendidas e ao final do projeto o cliente esteja satisfeito.

Vale ressaltar também que durante a utilização do protótipo pela pessoa responsável pela programação das ordens de produção, requisitos como a necessidade de se incluir o estoque de chapas e os planos de manutenção nas considerações feitas pelo sistema de programação e sequenciamento foram identificados, o que mostra que a prototipagem foi importante no levantamento de requisitos.

Portanto conclui-se que todas as técnicas utilizadas no levantamento de requisitos foram essenciais e surtiram o efeito desejado.

## **7.3: Perspectivas e recomendações para trabalhos futuros**

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a continuação das etapas de modelagem de software para o sistema de programação avançada da produção. Deve-se seguir as etapas previstas em algum modelo existente na literatura, como por exemplo o modelo *Waterfall*, proposto por Royce em 1987.

Durante os trabalhos, deve-se continuar acompanhando o dia a dia da fábrica, pois por ser um setor que tem a produção bastante flexível, muitas coisas podem mudar ao longo do tempo, como, por exemplo, novas técnicas para a produção das peças ou novas soluções para roteiros alternativos.

Recomenda-se analisar com cuidado a possibilidade de usar modelos de programação rápida para acelerar o processo de desenvolvimento do software e, assim, não fazer com que esse tema seja esquecido, e divulgar os ganhos provenientes desse sistema na empresa.

#### **7.4: Problemas encontrados**

Por fim, para concluir esse trabalho, é importante deixar claro nesse capítulo que, apesar dos resultados serem muito satisfatórios analisando os indicadores aplicados ao setor, um estudo mais detalhado do impacto sob a cadeia produtiva do motor deve ser realizado.

Por ser uma empresa de grande porte, esse trabalho teve como cenário apenas o setor de injeção de alumínio, desconsiderando outros atores da produção dos motores elétricos da WEG.

Um possível problema, levantado ao decorrer dos trabalhos, foi o adiantamento de ordens de produção em relação à data programada sem que os processos clientes (as montadoras) estejam esperando por esses rotores.

A produção adiantada de ordens de produção pode ser boa na perspectiva de diminuição do número de *setups*. Porém, em uma visão mais abrangente da cadeia produtiva, isso pode acarretar problemas logísticos e de armazenamento em setores mais avançados, como nas montadoras.

Portanto, em um trabalho futuro esse estudo pode ser realizado, objetivando um horizonte maior, como o de integração do sistema de programação avançado da produção por todos os setores da empresa.

## Bibliografia:

- [ 1 ] CORRÊA, H.L, GIANESI, I.G.N., CAON, M. (2001) Planejamento, Programação e Controle da Produção MRP II/ERP: Conceitos, Uso e Implantação. 4ª ed., Editora Atlas.
- [ 2 ] FINLEY, W.R. & HODOWANEC, M.M. (2001) Selection of Copper vs. Aluminum Rotors for Induction Motors. IEEE Transactions on Industry Applications, 37(6): 1563-1573.
- [ 3 ] IVERT, L.K. (2009) Advanced planning and scheduling systems in manufacturing planning processes. Trabalho de Conclusão de Curso, Chalmers University of Technology.
- [ 4 ] LAURINDO, F.J.B. & MESQUITA, M.A. (2000) Material requirements planning: 25 anos de história – uma revisão do passado e prospecção do futuro. Gestão e Produção, 7(3): 320-337.
- [ 5 ] LOPES, C.B., SILVA, R.H., ROCHA, W.A., DUARTE, J.A. (2012) Sistemas de produção MRP & MRP II. 2º Congresso de Pesquisa Científica: Inovação, Ética e Sustentabilidade, Anais de Trabalhos Premiados.
- [ 6 ] PEDROSO, M.C. & CORRÊA, H.L (1996) Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica? Revista de Administração de Empresas, 36(4): 00-00.
- [ 7 ] PEINADO, J. & GRAEML, A.R. (2007) Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços). Curitiba: UnicenP.
- [ 8 ] PFLEEGER, S.L. & ATLEE, J.M. (2010) Software Engineering – Theory and Practice. 4ª ed. Editora Pearson.
- [ 9 ] POHL, K & RUPP, C. (2012) Fundamentos da engenharia de requisitos. 1ª ed. Editora Santa Bárbara.
- [ 10 ] SCHORR, M. (2013) Redução de setup através do sequenciamento de impressão em uma empresa de latas. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Vale do Taquari.



- [ 11 ] SHULL, F. & TESORIERO, R. (2000) Study Guide to Accompany Shari Lawrence Pfleeger's Software Engineering: Theory and Practice. 1ªed. Editora Pearson.
- [ 12 ] ZATTAR, I.C. (2003) Metodologia para implantação de um sistema de programação da produção com capacidade finita em empresas prestadoras de serviços. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Superior de Tecnologia.
- [ 13 ] ZATTAR, I.C. (2004) Análise da aplicação dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita nos diversos níveis da administração da manufatura através de estudos de caso. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [ 14 ] WEG. Guia de Especificação de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul: Weg.com.br, 2014, p. 13.
- [ 15 ] BLACK, J.T. & Kohser, R.A. DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing. 11 ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2011, p. 319 e 320.
- [ 16 ] CHOPRA, S. & MEINDL, P. (2002) Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. 1ª ed., Editora Pearson Education.
- [ 17 ] SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. Tradução: Maria Teresa Correa de Oliveira, Fábio Alher. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747 p.
- [ 18 ] ORLICKY, J.A.: Material Requirements Planning: the new way of life in Production and Inventory Management, McGraw-Hill, 1975.
- [ 19 ] APICS (2007), Using Information Technology to Enable Supply Chain Management, APICS Certified Supply Chain Professional Learning System, APICS, Alexandria, VA.
- [ 20 ] TUBINO, D. F. Planejamento e Controle da produção: Teoria e Prática. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2007.