

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
TRANSPORTES**

**SOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMPLEXOS DE PROGRAMAÇÃO
ATRAVÉS DE REGRAS DESENVOLVIDAS EM TECNOLOGIA
APS**

RANGEL TURATTI

Orientadora: Prof^ª Giovana Savitri Pasa, Dr.

Porto Alegre

2010

RANGEL TURATTI

**SOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMPLEXOS DE PROGRAMAÇÃO
ATRAVÉS DE REGRAS DESENVOLVIDAS EM TECNOLOGIA
APS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientadora: Prof^ª. Giovana Savitri Pasa,
Dr.

Porto Alegre

2010

RANGEL TURATTI

**SOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMPLEXOS DE PROGRAMAÇÃO
ATRAVÉS DE REGRAS DESENVOLVIDAS EM TECNOLOGIA
APS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a. Giovana Savitri Pasa, Dr.

Orientadora PPGEP/UFRGS

Prof^a. Carla Schwengber ten Caten, Dr.

Coordenadora PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Cláudio José Muller, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Professor Guilherme Luís Roehé Vaccaro, Dr. (PPGEPS/UNISINOS)

Professor Michel José Anzanello, Dr. (PPGEP/UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, pelo incentivo durante a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Giovana Savitri Pasa, pelos conhecimentos, pelo tempo dedicado e pelas oportunidades de aprendizado.

Aos membros da banca, pelas observações realizadas, que contribuíram para enriquecer este trabalho.

À empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso, que abriu as suas portas para a realização deste trabalho, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de um estudo com base na realidade de um ambiente produtivo.

RESUMO

O ambiente competitivo no qual as empresas estão inseridas é caracterizado por mudanças frequentes na demanda de seus produtos e por uma necessidade em reduzir custos. Para obter sucesso frente à concorrência, se faz necessário alcançar resultados através da melhoria do processo produtivo, oferecendo respostas mais rápidas a variações na demanda e com uma utilização adequada dos recursos produtivos. Neste contexto, a utilização de softwares *Advanced Planning and Scheduling* com regra personalizada de programação possibilita melhoria no planejamento e programação da empresa no sentido dos objetivos citados. A partir disso, este trabalho propõe uma sistemática de desenvolvimento e implantação de regras de programação personalizadas. Após, é apresentada aplicação de um caso prático no qual foram detalhadas todas as etapas propostas na sistemática, desde o entendimento das necessidades da empresa até a avaliação dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Programação da Produção, Regra de Programação Personalizada, Programação por Capacidade Finita, Planejamento Avançado e Programação.

ABSTRACT

The competitive environment in which firms operate is characterized by frequent changes in product demand and a necessity to reduce costs. To succeed against the competition, it is necessary to gain competitive advantage by improving the production process, providing faster responses to changes in demand and proper use of productive resources. In this context, the use of Advanced Planning and Scheduling software with custom programming rule allows improved planning and programming company towards the objectives mentioned. This study proposes a systematic development and deployment of custom programming rules, next it is presented a case study which detail the stages proposed in the systematic, from the understanding of the business requirement until the evaluation of results.

Keywords: Production Schedule, Custom Rule Programming, Finite Capacity Scheduling, Advanced Planning and Scheduling

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	11
1.2	TEMA E OBJETIVOS	12
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	MÉTODO	15
1.5	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	NÍVEIS HIERÁRQUICOS DOS SISTEMAS DE PPCP.....	20
2.1.1	Nível Estratégico	21
2.1.2	Nível Tático	24
2.1.3	Nível Operacional.....	24
2.2	SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO.....	26
2.2.1	<i>Material Requirements Planning e Manufacturing Resources Planning</i>	26
2.2.2	<i>Enterprise Resources Planning</i>	28
2.2.3	<i>Finite Capacity Scheduling</i>	28
2.2.4	<i>Advanced Planning and Scheduling</i>	30
2.3	REGRAS DE PROGRAMAÇÃO.....	31
2.3.1	Regras Convencionais de Programação	32
2.3.2	Regras APS.....	36
2.3.3	Heurísticas	43
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	47
3.1	ETAPA DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	48
3.2	SELEÇÃO DA EMPRESA	48
3.3	ENTENDIMENTO DOS PROCESSOS	49
3.4	CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO	50
3.5	DESDOBRAMENTO DA SOLUÇÃO E ESPECIFICAÇÃO	50
3.6	DESENVOLVIMENTO DOS SOFTWARES E MODELAGEM	50
3.7	SIMULAÇÃO	51
3.8	<i>START UP</i>	52
3.9	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52
4	ESTUDO DE CASO	53
4.1	Entendimento dos Processos.....	54
4.1.1	Natureza da Demanda.....	55
4.1.2	Planejamento Estratégico e Tático	57
4.1.3	Planejamento Operacional e Programação	58
4.2	Concepção da Solução	61
4.3	Desdobramento da solução e especificação.....	63
4.4	Desenvolvimento dos Softwares e Modelagem.....	66
4.4.1	Rodada de Testes 1	68
4.4.2	Rodada de Testes 2	71
4.4.3	Rodada de Testes 3	72
4.5	Simulação.....	76
4.5.1	Primeira Simulação de Uso	76
4.5.2	Segunda Simulação de Uso	80
4.6	Start up.....	83

4.7	Análise dos resultados	84
4.7.1	Planejamento da Demanda	85
4.7.2	Planejamento estratégico	88
4.7.3	Planejamento Operacional	90
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	93
5.1	CONCLUSÃO.....	93
5.2	RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	94
	REFERÊNCIAS	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de demanda de um Mini-pedido com numeração masculina.....	56
Tabela 2: Exemplo de grade contendo a disponibilidade de matrizes de injeção.....	61
Tabela 3: Exemplo de demanda utilizado para o primeiro teste do modelo da regra.....	69
Tabela 4: Exemplo de ocupação por período x produto.....	74
Tabela 5: Exemplo do volume financeiro bloqueado por produto e por período.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Planejamento, Programação e Controle da Produção	21
Figura 2: Evolução dos Sistemas de Gestão da Manufatura	26
Figura 3: Carregamento Finito x Infinito.....	39
Figura 4: Resumo da regras de sequenciamento	33
Figura 5: Minimização de <i>Work In Process</i> para frente: cenário prévio e cenário otimizado	37
Figura 6: Minimização de <i>Work In Process</i> para trás: cenário prévio e cenário otimizado	38
Figura 7: Gargalo Seletivo - Teoria das Restrições.....	39
Figura 8: Gargalo Dinâmico: cenário prévio e cenário otimizado.....	40
Figura 9: Seleção de critério de Sequencia Preferida.....	41
Figura 10: Sequência Preferida com Min. de <i>Setup</i> (cenário prévio) e otimização para dois e três dias	42
Figura 11: Etapas do método de pesquisa.....	47
Figura 12: Macro etapas do processo produtivo da empresa A	56
Figura 13: Fluxo de informações	64
Figura 14: Funcionamento da solução	67
Figura 15: Solução de programação do produto A.....	70
Figura 16: Resumo das atividades da Rodada de Testes 1	73
Figura 17: Resumo das atividades da Rodada de Testes 2	74
Figura 18: Resumo das atividades da Rodada de Testes 3	78
Figura 19: Solução de programação para múltiplas injetoras.....	79
Figura 20: Exemplo do plano de produção	80
Figura 21: Interface de ajuste do plano de produção.....	82
Figura 22: Exemplo do plano com detalhe do produto	83
Figura 23: Exemplo do plano com detalhes do produto por cor e por numeração	83
Figura 24: Distribuição dos Pedidos, Produção e Embarque antes do estudo.....	88
Figura 25: Distribuição dos Pedidos, Produção e Embarque depois do estudo.....	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Acompanhando o crescimento econômico mundial, verifica-se em paralelo o desenvolvimento tecnológico dos processos produtivos. Processos complexos com uso de maquinário de alta tecnologia representam fator preponderante de competitividade dentro de um mercado globalizado e, da mesma forma, representando grandes investimentos financeiros. Faz-se assim necessário que estes recursos sejam utilizados de forma otimizada, possibilitando um retorno rápido e atendendo de forma flexível às variações de demanda. No mesmo sentido, os novos produtos desenvolvidos atravessam as unidades produtivas passando por diversas etapas para agregação de valor, dificultando a logística entre fábricas e o gerenciamento eficaz das atividades produtivas em redes complexas. Paralelamente, observa-se o crescimento dos investimentos em tecnologia da informação como forma de oferecer subsídios que auxiliem a gestão das atividades produtivas.

Os mercados globalizados caracterizam-se pela grande concorrência e competitividade, o que se reflete em um cenário de alta volatilidade, curto ciclo de vida e alta obsolescência dos produtos, além de grande e constante pressão por reduções de custos, fazendo com que as empresas necessitem atingir altos índices de eficiência para garantir a rentabilidade frente a margens reduzidas. Como forma de obter eficiência operacional, a tecnologia da informação tem se voltado para a busca de ferramentas que possibilitem um melhor gerenciamento de suas atividades, sobretudo de produção.

Um sistema de Programação e Controle da Produção, além de determinar a Programação e Sequenciamento, deve estar alinhado às estratégias da organização no longo prazo, sendo flexível às condições impostas pelo mercado e atendendo a reprogramações necessárias no curto prazo, como consequência de influências externas (VOLMANN; BERRY; WHYBARK, 1997). Da mesma forma, o alinhamento das estratégias deve ser mantido até os níveis operacionais da organização para que estes possam traduzi-lo seguindo as regras de negócio estabelecidas pela alta administração. Em vista disso, são necessários sistemas de produção ágeis e responsivos, com custos aceitáveis. Responder rapidamente ao mercado requer um rápido fluxo das informações através da organização, para que as estratégias emergentes e novos pressupostos possam

tornar-se efetivos, tendo impacto direto na alocação dos recursos produtivos, priorização das demandas e esforços de produção.

O grande número de variáveis envolvidas na decisão de programação, associado à necessidade de respostas rápidas de reprogramação, com visibilidade através de um horizonte firme, faz com que não seja possível oferecer a dinâmica necessária para atividade apenas com o uso das ferramentas tradicionais. Eventos de mudanças de datas de entrega, quebras de máquinas, problemas de qualidade de matéria-prima, necessidade de fechamento de pedidos para embarque, entre outros, destacam o dinamismo do ambiente produtivo, no qual as intervenções de replanejamento de curto prazo requerem do programador decisões rápidas.

Dado este contexto, verifica-se a dificuldade em encontrar soluções e sistematizar problemas complexos de produção. A complexidade dos processos produtivos, o compartilhamento dos recursos e a necessidade de sincronização das operações entre as etapas do processo, bem como com o recebimento de matérias-primas, componentes e embarques, faz do uso das regras de programação uma crescente alternativa para desenvolvimento de soluções de programação.

1.2 TEMA E OBJETIVOS

O tema desta dissertação é a Programação Fina de Produção. O foco é voltado para a criação e desenvolvimento de regras de programação customizadas desenvolvidas com a tecnologia de sistemas APS (*Advanced Planning and Scheduling*) e que contribuem para o alinhamento estratégico da organização até os níveis operacionais através de uma programação da produção sistêmica voltada para o gerenciamento das atividades produtivas.

Segundo Volmann, Berry e Whybark (1997), o gerenciamento das atividades produtivas está relacionado diretamente ao Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP), no qual se destaca, no horizonte de curto prazo, a Programação da Produção. O PPCP determina as quantidades e o momento de fabricar ou montar cada item necessário à composição dos produtos finais, levando em consideração, para isso, a capacidade dos recursos produtivos. Além disso, também é responsável pela garantia de execução da programação, atuando no controle e acompanhamento da produção.

Os sistemas de gerenciamento de produção utilizados até o início dos anos 90 eram baseados nos conceitos do MRP (*Materials Requirements Planning*), e não eram capazes de atender as necessidades das empresas no que dizia respeito ao planejamento de curto prazo. Como alternativa a estes problemas surgiram, então, os Sistemas de Programação da Produção com Capacidade Finita. Esses sistemas eram caracterizados por serem especialistas em programação da produção e, portanto, introduzidos na maioria dos casos de forma integrada aos sistemas MRP e MRP II (*Manufacturing Resource Planning*), suprimindo as deficiências destas ferramentas.

De acordo com Zattar (2004), os sistemas que utilizam o conceito de Programação por Capacidade Finita se dividem em duas categorias. A primeira diz respeito aos FCS (*Finite Capacity Scheduling*), sistemas capazes de considerar a capacidade como a principal restrição, buscando realizar uma programação viável. Já a segunda refere-se aos APS, os quais vão além da capacidade produtiva, tratando restrições de matéria-prima, programando e otimizando a produção através de regras especiais de sequenciamento que necessitam de pouca ou nenhuma intervenção do programador (FAÉ, 2004).

De acordo com Zattar (2003), as regras APS convencionais, tais como Minimização de Estoque em Processo, Gargalo Dinâmico, Carregamento Paralelo, Sequência Preferida e Minimização de Setup Global, tratam a grande maioria dos problemas de programação trazendo significativos ganhos, porém não são suficientes quando a programação exige algoritmos relacionados a características específicas do processo produtivo. O desenvolvimento de uma regra customizada de programação pode tratar de um refinamento de regra de programação já existente, apenas incorporando novas lógicas e variáveis.

Observam-se situações específicas de produção que determinam uma grande dificuldade para gerar a programação da produção. Questões como alocações especiais, alocação de múltiplos produtos com características similares simultaneamente no mesmo recurso, ou ainda programações em que seja necessário o desenvolvimento de um algoritmo específico, fazem da regra customizada uma necessidade para alcançar uma programação de fábrica condizente com a realidade de determinados processos produtivos. O grande diferencial do desenvolvimento de uma regra de programação é a

flexibilidade encontrada para traduzir a real necessidade de programação para o *software* APS, culminando em uma grande aderência às necessidades da empresa.

Nesse sentido, o desenvolvimento de regras de programação visa identificar e estabelecer os principais critérios que determinam a necessidade de desenvolvimento de uma solução de programação através de uma regra customizada e, estabelecida a necessidade de sua utilização, orientar a identificação das variáveis essenciais para o desenvolvimento, estabelecendo um padrão de especificação e desenvolvimento das regras de programação.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é elaborar uma sistemática de implantação de regras de programação com validação parcial através da aplicação de um caso prático, utilizando-se a tecnologia dos sistemas APS. Além disto, destacam-se como objetivos específicos descrever o processo de especificação e desenvolvimento da regra customizada de programação e a avaliação, sob uma análise qualitativa, dos ganhos diretos e indiretos da utilização de uma regra de programação na solução de problemas complexos de programação.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização de regras desenvolvidas especificamente para as necessidades de determinada empresa traz contribuições significativas sobre o seu resultado, pois atua diretamente na atividade de agregação de valor, melhorando o uso da capacidade produtiva, reduzindo o nível de inventário, melhorando o desempenho de entrega e potencializando o alinhamento entre a estratégia e atividades produtivas. A complexidade envolvida em realizar uma programação da produção sem o uso de uma ferramenta de programação inviabilizaria a análise de cenários e das diferentes possibilidades de programação, uma vez que tornaria impraticável a avaliação de todas as variáveis necessárias para obter resultados satisfatórios e traduzir dinamicamente as reações às mudanças impostas pelo mercado. Imprevistos como cancelamentos, adiamentos, alteração nas quantidades, quebras de máquina, falta de operadores, entre outros, fazem com que a eficiência do sistema produtivo esteja condicionada à necessidade constante de reprogramações. Um sistema de programação deve estar apto a responder rapidamente a alterações que afetam a programação no curto prazo, possibilitando realizar simulações imediatas e perceber o impacto direto das reprogramações, fornecendo informações precisas para balizar as decisões do PPCP.

Dado este contexto, percebe-se a importância de viabilizar o desenvolvimento de uma sistemática que sirva de referência ao desenvolvimento de regras de programação. O aprofundamento dos estudos a respeito de regras de programação viabiliza a criação de novos conceitos, que, apesar de observados em determinados estudos específicos, podem vir a ser extrapolados para outras situações de similar aplicabilidade, podendo, no limite, passar a ser uma nova regra de programação convencional para determinadas situações atualmente não atendidas pelos softwares de programação.

A sistematização da programação da produção possibilita ao PCP gerenciar as atividades produtivas e observar de forma precisa o seu andamento, auxiliando a tomada de decisão de forma rápida e dinâmica. O sistema APS, integrado aos demais sistemas da empresa, favorece a centralização das decisões de planejamento e programação, uma vez que integrado ao sistema corporativo da empresa e aos apontamentos de chão-de-fábrica, representa o elo para garantir o correto alinhamento entre as estratégias da empresa até o nível operacional.

Nesse sentido, o estudo dos sistemas APS pode oferecer soluções de programação viáveis para problemas complexos, potencializando as atividades de planejamento e programação, utilizando a tecnologia dos sistemas APS e fazendo uso de sua flexibilidade para modelar as diversas situações que necessitam ser resolvidas pela programação da produção. A utilização de uma regra customizada representa a possibilidade de incorporar um maior número de variáveis desejadas aos sistemas programação, sem comprometer a dinâmica necessária para o adequado gerenciamento dos recursos produtivos.

1.4 MÉTODO

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, que objetiva gerar conhecimento com aplicação voltada para solução de problemas específicos. No que diz respeito aos objetivos, de acordo com Gil (2002) este trabalho pode ser classificado como exploratório-descritivo. Classifica-se como exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o objeto do estudo, tornando-o explícito e construindo hipóteses acerca do desenvolvimento de uma regra personalizada de programação. Descritiva, pois detalha as atividades realizadas durante o desenvolvimento da regra personalizada de programação com orientação para o desenvolvimento de uma sistemática para este fim.

No que diz respeito ao procedimento-técnico utilizado, esta pesquisa classifica-se como estudo de caso, pois envolve no estudo profundo de poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2002). Para Yin (2009), o estudo de caso é caracterizado como uma investigação empírica, na qual se detalha um fenômeno contemporâneo observado em seu contexto. Nesse sentido, com vista à evolução do estudo e aprofundamento acerca de regras personalizadas de programação desenvolvidas em tecnologia APS, este trabalho está estruturado em oito etapas.

A primeira etapa trata de um estudo a respeito dos principais tópicos relacionados à programação da produção e contextualização do seu papel em relação à estratégia organizacional. Partindo-se do levantamento realizado na etapa inicial, na segunda etapa elaborou-se uma sistemática que visa o entendimento dos elementos e características relevantes na programação, buscando o alinhamento com os objetivos estratégicos da organização.

Após a seleção da empresa para o estudo e com base nos conhecimentos obtidos na literatura e das observações realizadas na fase exploratória, na terceira etapa partiu-se para elaboração e análise de hipóteses de solução do problema de programação da empresa. Com o apoio do PCP da empresa, foram avaliadas e identificadas as principais variáveis e tratamentos que deveriam ser incorporados à regra de programação para que apresentasse um resultado alinhado com as expectativas e necessidades da empresa. Nesta etapa foi necessário o envolvimento de todos os setores que seriam impactados pelos novos procedimentos de programação para garantir o atendimento das expectativas de cada setor e discussão de pontos conflitantes.

Com a definição das variáveis, partiu-se para o desenvolvimento de um modelo conceitual de programação, com modelagem inicial. Com a observação e aprimoramento deste modelo conceitual, foram testadas e avaliadas hipóteses. A partir disso, realizaram-se reuniões com o PCP da empresa buscando o refinamento e o entendimento das variáveis e decisões que influenciavam a programação de produção. Nesta etapa foi necessário realizar o detalhamento do processo de programação, garantindo que o desenvolvimento de um modelo computacional que se aproxime da programação objetivo.

Depois de validado o modelo conceitual e realizadas as interações manualmente no APS, partiu-se para próxima etapa, quando foi realizado o desenvolvimento de um modelo computacional baseado nas observações do processo produtivo e das discussões realizadas com o PCP, para isso utilizou-se o *software* APS e programação em Visual Basic. Nesta etapa foram realizadas reuniões de discussão e aprimoramento do modelo, estas atividades foram conduzidas com a programação de alguns produtos representativos da empresa que possuíam características de programação específicas. Esta etapa teve como objetivo aprimorar o algoritmo computacional até alcançar um resultado que apresentasse uma programação próxima aos objetivos estabelecidos.

Na etapa seguinte foi realizada a simulação de uso com o PCP da empresa foco, visando uso do modelo para novo aprimoramento e identificação de oportunidades de melhoria e situações que ainda não haviam sido atendidas. Na simulação foram testadas e avaliadas diferentes linhas de produtos, com seus respectivos recursos e restrições. Além disso, foram validadas as informações de saída geradas a partir da programação da produção. Ao final desta etapa, o algoritmo de programação já gerava, a partir das demandas, uma programação devidamente alinhada com os objetivos da empresa e considerando todas as variáveis pertinentes à programação da produção.

Com o algoritmo da regra de programação customizada devidamente alinhado, partiu-se para início do uso por parte da empresa foco deste estudo. Além disso, foram analisados do ponto de vista qualitativo os resultados obtidos com o uso da solução de programação proposta para a empresa.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Representando uma aplicação prática de implantação e desenvolvimento de uma regra de programação este trabalho não se propõe a detalhar cada uma das ferramentas envolvidas em um sistema típico de planejamento da produção, mas sim focar nas que impactam diretamente no planejamento de curto prazo. Nesse sentido, buscou-se apresentar as características básicas da lógica de Planejamento, Programação e Controle da Produção e o modo como uma regra de programação customizada se insere neste contexto.

Apesar da importância dos dados de entrada, as análises tiveram como foco a programação da produção, não cabendo a este trabalho a análise de detalhamento do

tratamento das demandas processadas anteriormente e disponibilizadas para o software. Desta forma, foram detalhadas apenas as atividades relacionadas à especificação, desenvolvimento e acompanhamento do uso da regra de programação.

Existindo diversos softwares especialistas em Programação da Produção, não fazem parte do escopo deste trabalho a análise, descrição e escolha do software entre as opções comercializadas. Nesse sentido, o projeto foi desenvolvido partindo do *Software* APS previamente escolhido pela empresa na qual as atividades foram desenvolvidas.

Por fim, destaca-se que o presente trabalho foi resultado de observações realizadas sobre um problema específico de programação, sendo reflexo do envolvimento direto do pesquisador com o objeto de pesquisa. Assim sendo, os resultados e avaliações não devem ser extrapolados para conclusões genéricas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho divide-se em cinco capítulos, de acordo com a estrutura a seguir. No primeiro capítulo é realizada uma introdução à pesquisa proposta. Apresentam-se os temas de pesquisa e contextualizam-se os problemas identificados, além de propostos objetivos, justificativas, metodologia e limitações do trabalho.

No segundo capítulo consta o levantamento bibliográfico acerca das pesquisas e temas relacionados ao trabalho proposto. Apresentam-se os níveis hierárquicos de Planejamento, Controle e Programação da Produção, com ênfase nas interações entre eles. Neste capítulo também são relacionados os níveis de planejamento e os sistemas usualmente utilizados para a atividade de PPCP, bem como os modelos computacionais desenvolvidos para simulação de produção.

No terceiro capítulo apresenta-se o método de pesquisa e propõem-se uma sistemática de desenvolvimento de regras de programação. Inicia-se com o entendimento dos processos, prosseguindo com a concepção da solução, desdobramento da solução e especificação, desenvolvimento dos *softwares* e modelagem, simulação, *start up* e análise dos resultados.

No quarto capítulo é apresentado o estudo caso com a aplicação da sistemática proposta. São apresentados os resultados obtidos e avaliada a sistemática proposta do ponto de vista qualitativo. No quinto capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho,

discussões destas em relação aos objetivos propostos e por fim a sugestão de pesquisas complementares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se a revisão da literatura de referência, englobando inicialmente os diferentes níveis hierárquicos de planejamento e as ferramentas envolvidas em um sistema de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP). Após, apresentam-se as regras convencionais de programação e as regras APS associadas aos conceitos encontrados na literatura. Por fim, são desenvolvidas as referências acerca de heurísticas de programação, finalizando com regras personalizadas de programação, foco principal deste trabalho.

2.1 NÍVEIS HIERÁRQUICOS DOS SISTEMAS DE PPCP

O PPCP divide-se em diferentes níveis hierárquicos em função de distintos horizontes de tempo e níveis de agregação de informação, sendo divididos em planejamento de longo, médio e curto prazo e controle (PEDROSO; CORRÊA, 1996). Analogamente, Zattar (2004) divide os diferentes níveis de planejamento em função do escopo de decisões envolvidas, os quais são: estratégico (longo prazo), tático (médio prazo) e operacional (curto prazo). Ambas as divisões apresentam os níveis hierárquicos de forma similar, sendo que, na divisão proposta por Zattar (2004), há um detalhamento dos níveis hierárquicos no sentido de atividades e objetivos relacionados a cada nível.

De acordo com Volmann, Berry e Whybark (1997), a divisão do planejamento, programação e controle da produção em níveis hierárquicos propõe uma metodologia que divide o problema em problemas menores, resolvendo do maior para o menor horizonte de planejamento. Esta divisão, bem como as interações entre os módulos, pode ser visualizada na Figura 1.

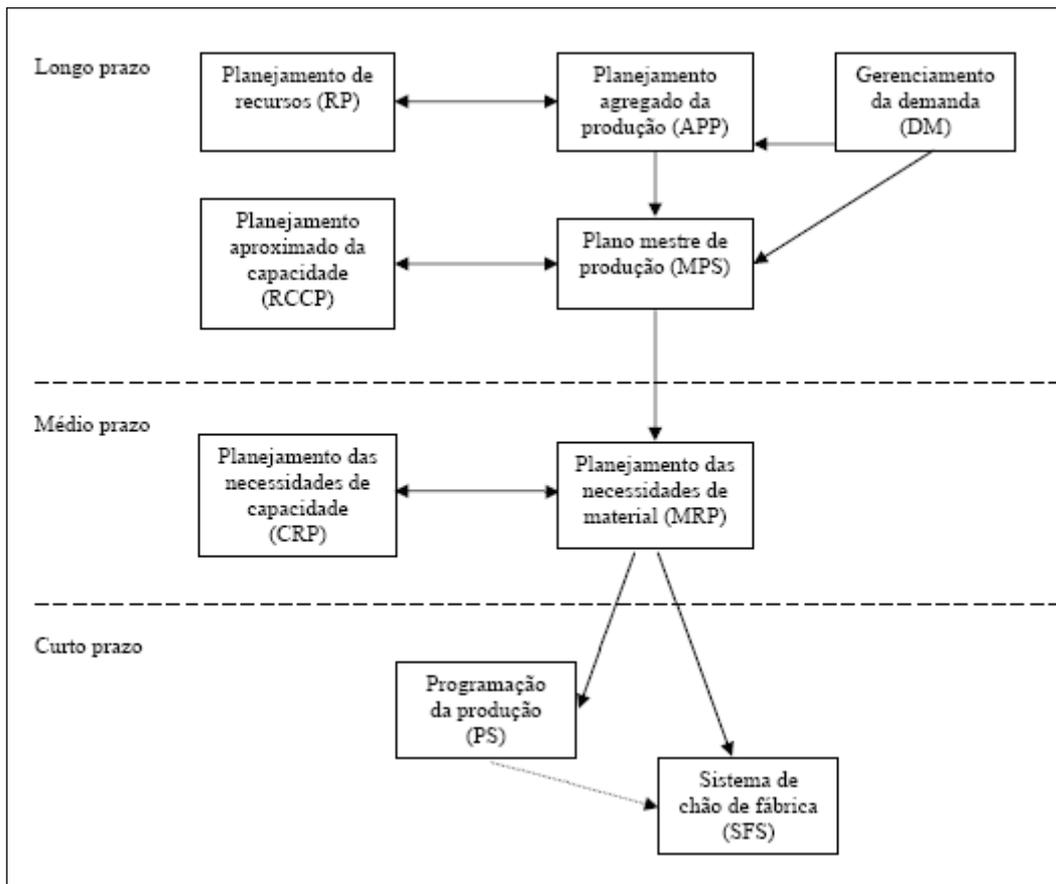


Figura 1 - Sistema de Planejamento, Programação e Controle da Produção

Fonte: Adaptado de Volmann, Berry e Whybark (1997)

2.1.1 Nível Estratégico

O nível inicial na lógica de Planejamento, Programação e Controle da Produção é o de longo prazo. Com o objetivo de reduzir o nível de detalhamento exigido no processo de planejamento, os produtos são agrupados em famílias e os recursos são agregados em função das características e funcionalidades comuns. Da mesma forma, o tempo é agregado em meses ou trimestres em um horizonte de um a dois anos (KRAJEWSKY; RITZMAN, 2004).

De acordo com Muller (2003), o processo de Planejamento Estratégico, por outro lado, é um processo sistemático, incluindo modelos referenciais e etapas bem definidas, que viabilizam a formulação de um plano de ação visando à implementação das estratégias definidas. Para Pagnoncelli e Vasconcellos (1992), Planejamento

Estratégico é o processo através do qual a empresa se organiza de forma pró-ativa para atingir o sucesso e construir o seu futuro, tendo como referência, o seu ambiente atual e futuro.

Também de acordo com Muller (2003), o Planejamento Estratégico atua com uma visão voltada para o futuro, para o longo prazo, diferenciando-se, entretanto, do Planejamento de Longo Prazo. O Planejamento de Longo Prazo (PLP) é um procedimento sistemático para o estabelecimento de metas de longo prazo que visa prever o futuro a partir da extrapolação de dados do passado. No Planejamento Estratégico (PE), por outro lado, não é esperado que o futuro seja um progresso em relação ao passado, e da mesma forma, não se acredita que esse possa ser extrapolável (ANSOFF; MCDONNELL, 1993). Apesar de não atuarem da mesma forma, ambos ocorrem paralelamente, sendo importante este relacionamento para que as estratégias da organização possam ser refletidas até os níveis operacionais.

Muller (2003) observa que o Planejamento Estratégico, por si só, não é capaz de garantir sucesso para as organizações, considerando que, em sua essência, ele ocupa uma posição apenas de planejamento. Reforçando este ponto, Kaplan e Norton (2001) afirmam que apenas 10% das estratégias formuladas são efetivamente implantadas.

Considerando que o Planejamento Estratégico refere-se à etapa de formulação, e aceitando o fato de que se encontram dificuldades na implantação, é importante salientar os níveis de gerenciamento que devem ser contemplados no plano de ação. Salienta-se, no entanto, que a operacionalização do planejamento estratégico acontece, de fato, no nível mais baixo do planejamento. Para Kotler (1998), o planejamento estratégico é o processo de análise que visa ao desenvolvimento e manutenção do ajuste entre os objetivos e recursos da organização e as oportunidades de mercado que se alteram dinamicamente. A questão está em como lidar com a aleatoriedade dos fatores que influem diretamente na produção diária sem perder o foco na estratégia empresarial previamente definida.

Nesse sentido, a etapa inicial do planejamento estratégico diz respeito ao Planejamento Agregado da Produção (APP – *Aggregate Production Planning*). Nesta etapa, busca-se a agregação aproximada das operações da organização, satisfazendo a previsão de demanda a um custo baixo e possibilitando o planejamento preliminar da

capacidade produtiva (MEREDITH; SHAFER, 2002). O APP baseia-se na demanda agregada e no planejamento de recursos. Com estas informações associadas às estratégias da organização, realiza-se um dimensionamento da utilização da capacidade produtiva e das quantidades agregadas de produção (VOLMANN; BERRY; WHYBARK, 1997).

De forma paralela ao APP, ocorre o Planejamento de Recursos (RP – *Resource Planning*). O RP recebe do APP informações de demanda e das necessidades agregadas e, em função destas, realiza o planejamento e a análise para traçar a demanda de capacidade preliminar. A partir disso, o RP pode apontar a necessidade de expansão ou até mesmo de redução da capacidade, ainda que submetido às estratégias da organização. Desta forma, APP e RP realizam a troca de informações, comparando recursos, demandas e políticas de produção, alinhadas sob as diretrizes estratégicas da organização.

Também paralelo ao APP, porém apenas alimentando o mesmo, ocorre o Gerenciamento da Demanda (DM – *Demand Management*). O DM identifica todas as demandas geradas, internas e externas, englobando as atividades de previsão, entrada de pedidos, compromissos com pedidos firmados e determinação das necessidades de entrepostos, pedidos interfábricas e de peças para manutenção (COX; BLACKSTONE, 1998). Além do APP, o Gerenciamento da Demanda também alimenta, porém com um maior refinamento, o Plano Mestre de Produção (MPS – *Master Planning System*).

Em paralelo ao MPS e visando identificar gargalos no processo produtivo, realiza-se o Planejamento Aproximado da Capacidade (RCCP – *Rough Cut Capacity Planning*). Segundo Ritzman e Krajewsky (2004), o RCCP é realizado através da desagregação da produção em diferentes produtos e da discretização da demanda e dos períodos do APP. O RCCP segue a lógica de planejamento de longo prazo, apresentando um planejamento de capacidade sobre informações agregadas, porém suficientes para orientar o MPS na determinação do que a empresa pretende produzir, expresso em configurações, quantidades, e datas específicas (COX; BLACKSTONE, 1998).

No nível mais avançado do planejamento de longo prazo, encontra-se o Plano Mestre de Produção, resultado da integração das informações dos módulos de APP, DM

e RCCP. O MPS detalha quais os produtos finais a serem produzidos e suas respectivas quantidades para períodos de tempo menores e determinados, geralmente expressos em semanas (KRAJEWSKY; RITZMAN, 2004). O Plano Mestre de Produção agrega as informações necessárias para dar início ao planejamento de médio prazo.

2.1.2 Nível Tático

O planejamento de médio prazo insere-se na lógica de planejamento como um detalhamento das necessidades. Neste nível, são firmadas as necessidades de recursos de matéria-prima, componentes e de capacidade, especificando a quantidade e o instante em que serão necessários (CORRÊA; GIANESI, 1996).

O planejamento de médio prazo tem início no Planejamento das Necessidades de Material (MRP – *Material Requirements Planning*). O MRP calcula, com base no Plano Mestre de Produção, as requisições de materiais e de capacidade para tornar viável o plano estabelecido no planejamento de longo prazo. Além do MPS, o MRP necessita também da informação das necessidades de materiais de cada produto e o inventário de cada item em estoque (ZATTAR, 2004). A partir destas três informações, o MRP gera as datas e as quantidades a serem compradas ou fabricadas.

No planejamento de médio prazo, verificam-se as capacidades realizando o Planejamento da Necessidade de Capacidade (CRP – *Capacity Requirements Planning*). O CRP produz levantamentos da capacidade de todos os recursos, possibilitando, assim, uma análise detalhada da capacidade em relação ao plano de produção proposto pelo MPS e com as quantidades requeridas pelo MRP. No entanto, Turbide (2000) afirma que a análise do CRP é muito simplificada, pois analisa um trabalho de cada vez, sem avaliar nenhuma variação de capacidade instalada e, da mesma forma, sem considerar as variações e imprevistos localizados que influenciam as atividades produtivas.

2.1.3 Nível Operacional

Tendo como principal *input* as informações geradas pelo MRP, o planejamento de curto prazo trabalha sob uma perspectiva de dias a semanas. Neste nível do planejamento, são tratadas as ordens de produção e os recursos detalhadamente, para

posteriormente serem inseridas no contexto da fábrica. Este nível recebe grande influência do ambiente externo, necessitando de replanejamento constante.

O principal módulo do Planejamento de Curto Prazo diz respeito à Programação da Produção (PS – *Production Scheduling*). Ao realizar a programação, deve-se observar a utilização dos recursos e as características específicas de cada produto solicitado; balancear a produção evitando sobrecargas e ociosidades; considerar as restrições do ambiente produtivo; minimizar estoques e *lead times*, atender as datas de entrega, além de se adequar às estratégias da organização. Estas variáveis associadas às instabilidades de curto prazo tornam a atividade de programação altamente complexa.

De acordo com Tubino (2006), com base no plano mestre de produção e nos registros de controle de estoques, a Programação da Produção estabelece no curto prazo quando comprar, fabricar e/ou montar cada item necessário à composição de produtos finais. Para o autor, a Programação da Produção estabelece as quantidades e o momento em que se deve fabricar ou montar cada item necessário à composição dos produtos finais. Atua através do dimensionamento e emissão de Ordens de Compra (para itens comprados), Ordens de Produção (para itens fabricados internamente) e Ordens de Montagem (para as submontagens intermediárias e montagem final dos produtos definidos pelo MPS). Nesse sentido, o planejamento de curto prazo requer que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade adequada, no momento adequado e no nível de qualidade adequado para que a programação se torne efetiva (SLACK *et al.*, 1997).

Recebendo e retornando informações para a Programação da Produção, estão os Sistemas de Chão de Fábrica (SFDC - *Shop Floor Data Control*). Nestes sistemas são realizados os apontamentos de produção para garantir que o programa de produção seja executado corretamente e realizar o acompanhamento da produção em tempo real (FAÉ, 2004). Os SFDC se inserem no planejamento, fornecendo informação rápida e precisa para análise e replanejamento da Programação da Produção.

Dado o dinamismo das atividades de planejamento de curto prazo, sobretudo de Programação da Produção, Ritzman e Krajewski (2004) enfatizam que o ajuste manual das datas de processamento dos pedidos através de planilhas ou quadros magnéticos de programação da produção é virtualmente impossível, de modo que se torna

imprescindível a utilização de uma ferramenta dinâmica e informatizada para programação fina da produção.

2.2 SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO

Nesta seção forma apresentadas e discutidas as principais ferramentas utilizadas pelas organizações na administração e gestão da manufatura. Sob o ponto de vista evolutivo, são apresentados os principais sistemas levando-se em conta a cronologia de surgimento dos mesmos. Conforme pode ser observado na Figura 2, as primeiras ferramentas utilizadas para gestão de manufatura surgiram na década de 50 tratavam-se apenas de sistemas manuais. Nas duas décadas seguintes, surgiram respectivamente o MRP e MRPII, representando os primeiros sistemas de gestão de manufatura. Estes sistemas predominaram até a década de 90, quando surge o ERP, FCS e APS, respectivamente, sendo o último a tecnologia mais avançada em termos de sistemas até os dias atuais.

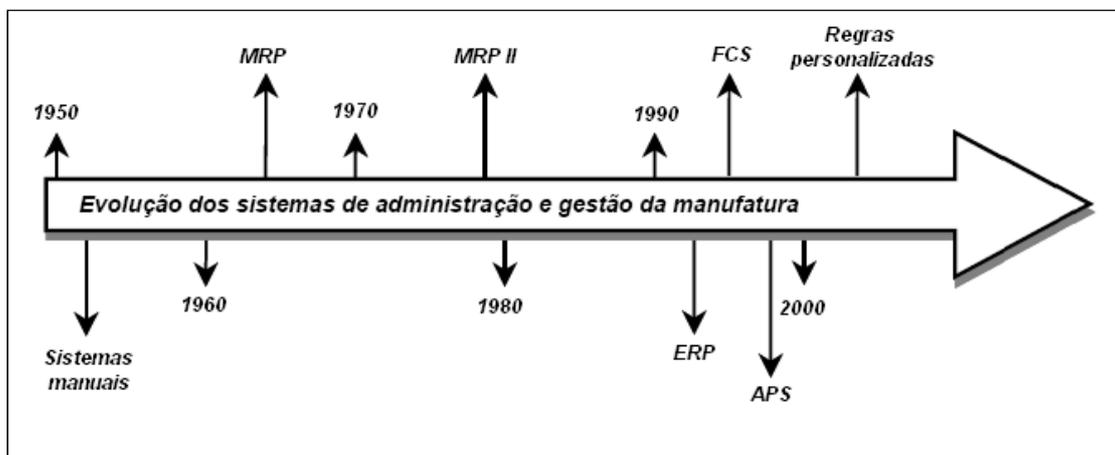


Figura 2 - Evolução dos Sistemas de Gestão da Manufatura

Fonte: Adaptado de Zattar (2004)

2.2.1 *Material Requirements Planning e Manufacturing Resources Planning*

Surgido no início da década de 70 para organizar as necessidades de materiais e utilizado por muitas empresas para gerenciar a produção, o MRP (*Material Requirements Planning*) realiza a explosão das necessidades brutas e líquidas de materiais e gera ordens de montagem, fabricação e compras, para que a demanda de

produto final seja atendida. No entanto, os MRP não consideram a capacidade dos recursos produtivos da empresa na geração das ordens. Como forma de suprir este limitante, surge na década de 1980 o MRP II (*Manufacturing Resources Systems*) como alternativa para tratar a capacidade dos recursos produtivos (ZATTAR, 2004).

No entanto, a lógica do MRP/MRP II pressupõe algumas situações que não refletem a realidade dos ambientes produtivos. Entre as limitações, pode-se destacar a capacidade infinita dos recursos para programação, os *lead times* constantes, o ciclo de processamento demorado, a necessidade de tempos de processos e os roteiros fixos sem considerar diferentes alternativas de sequenciamento. Além disso, não consideram outras restrições típicas de ambientes produtivos como, por exemplo, mão-de-obra especializada, operações terceirizadas, tempos de preparação diferentes, ferramentas, entre outras (FAÉ; ERHART, 2005).

É importante salientar que o MRP II, apesar da inclusão do módulo de Planejamento da Capacidade de Recursos (CRP), não realiza análise da capacidade de forma paralela ao planejamento do MRP. Após o planejamento de materiais encontrar-se concluído, o CRP realiza o levantamento dos recursos com base nas requisições do MRP.

Corrêa, Gianese e Caon (2001) observam que o sistema MRP II dispõe de recursos limitados para lidar com ambientes produtivos que apresentem alto grau de complexidade em termos de detalhamento de programação e ressaltam o nível hierárquico no qual o MRP está inserido (médio prazo). Dessa forma, esses sistemas apresentam-se como excelentes ferramentas de planejamento, mas insuficientes no que diz respeito às decisões de programação da produção (curto prazo).

Como alternativa para as limitações encontradas no MRP/MRP II, a partir do início dos anos 90 surgiram os sistemas de programação com o conceito de capacidade finita (FCS – *Finite Capacity Scheduling*). Por outro lado, os sistemas de gerenciamento de recursos produtivos também evoluíram para sistemas de gestão de recursos organizacionais globais, os Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP).

2.2.2 *Enterprise Resources Planning*

Surgidos no início dos anos 90, os Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP – *Enterprise Resources Planning*) representam a evolução do MRP/MRP II e tem na integração o seu ponto chave. O ERP não se restringe à manufatura, agregando módulos de gestão como recursos humanos, financeiro, fornecedores e vendas, entre outros. O ERP possibilita um fluxo de informações único, contínuo e consistente por toda a empresa utilizando uma única base de dados, permitindo visualizar por completo as transações efetuadas pela empresa. É importante salientar que os módulos implantados em cada empresa ficam a critério do contratante, podendo esta abrir mão de módulos desnecessários ou priorizar os que julgar mais importantes. Carvalho (2001) destaca que usualmente um sistema de ERP dispõe de módulos de contabilidade, controladoria, entre outros, representando um grande avanço na gestão das empresas. Porém, tende a ser incapaz de lidar com a dinâmica dos ambientes produtivos devido às mesmas deficiências observadas no MRP/MRP II.

Nesse sentido, como alternativa para suprir as carências do sistema ERP relativa aos processos produtivos, surgiram os *softwares* FCS e APS, sistemas especialistas em programação da produção introduzidos, na maioria dos casos, de forma integrada ao módulo de produção dos sistemas ERP, caracterizando sistemas híbridos (MRP/MRP II + FCS/APS) (ZATTAR, 2004). Segundo Corrêa, Gianese e Caon (2001), os sistemas híbridos, combinando o módulo de manufatura do ERP com sistemas de programação de capacidade finita, tendem a ser cada vez mais usados em virtude das restrições do MRPII em tratar ambientes complexos com limitações de capacidade produtiva.

Faé e Erhart (2005) observam que os sistemas baseados em capacidade finita não substituem e nem excluem a necessidade de sistemas de capacidade infinita, pois surgiram com o propósito de integrarem-se aos sistemas ERP, MRP e MRPII.

2.2.3 *Finite Capacity Scheduling*

Surgidos no início dos anos 90, os Sistemas de Capacidade Finita (FCS - *Finite Capacity Scheduling*) se apresentaram como uma alternativa aos sistemas de MRP/MRP II. Por utilizarem o conceito de programação por capacidade finita, realizam uma programação de produção que considera a real disponibilidade de capacidade dos

recursos produtivos ao longo do tempo, considerando todas as variáveis e restrições inerentes aos processos produtivos e buscando garantir uma programação viável mesmo em ambientes complexos e dinâmicos (ZATTAR, 2004).

De acordo com Corrêa, Gianese e Caon (2001), os sistemas de capacidade finita são indicados para tratar de problemas complexos de programação e sequenciamento. Apresentam resultados mais expressivos principalmente para os ambientes de produção com características como: roteiros complexos e não repetitivos; *setups* dependendo da sequência; transferência de lote; divisão de ordens; e possibilidade de alocação da mesma tarefa em diferentes recursos.

Segundo Erhart (2006), os sistemas FCS realizam a programação e sequenciamento fino da produção através de discretização dos tempos de produção. Isso possibilita o carregamento das ordens de produção considerando a cada momento a disponibilidade dos recursos produtivos, observando a dependência entre as atividades e balanceando os centros de trabalho. O grande diferencial dos sistemas FCS diz respeito ao carregamento finito, lógica de sequenciamento que aloca atividades a determinado centro de trabalho até o limite da capacidade do mesmo. Segundo Faé (2004), esta abordagem é relevante quando se pode limitar a carga ou é necessário limitar a carga. A abordagem contrária seria a não limitação do carregamento, tentando adequar a capacidade ao mesmo. Ambas as abordagens podem ser observadas na Figura 3.

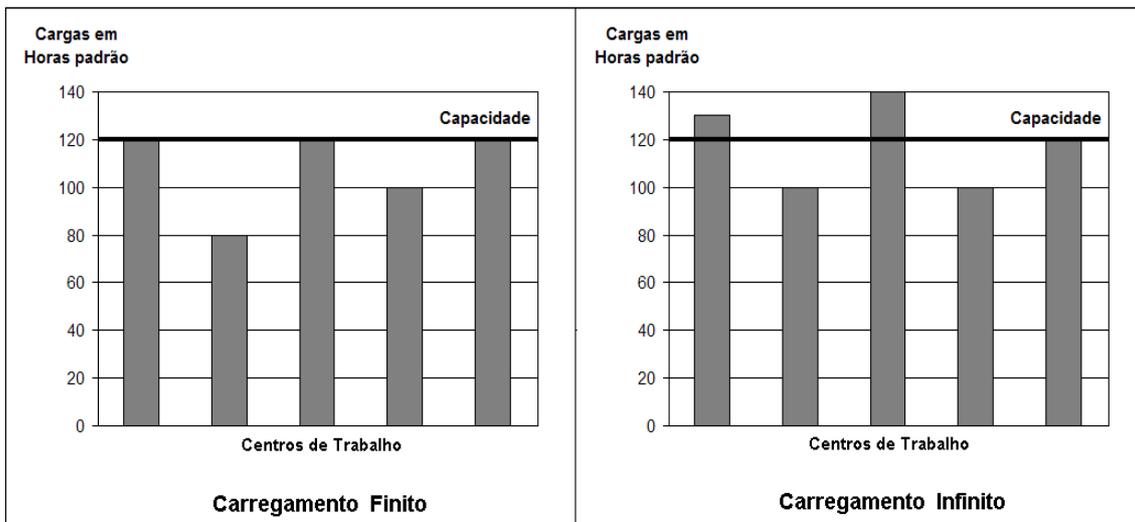


Figura 3 – Carregamento Finito x Infinito

Fonte: Adaptado de Faé (2004)

De acordo com Faé e Erhart (2005), o sistema deve ser constantemente alimentado com as condições da fábrica, como por exemplo, a disponibilidade de matéria-prima, a situação das máquinas, o *status* das ordens, os níveis dos estoques e os apontamentos. A partir desses dados, o sistema permite simular cenários e identificar possibilidades de melhorias no processo. Nesse sentido, o alto desempenho possibilita a simulação de diversos planos de produção, orientando a tomada de decisão gerencial e possibilitando uma melhor alocação dos recursos com prazos de entrega confiáveis.

Segundo Zattar (2004), o surgimento do conceito de gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management*) gerou a necessidade de inclusão de novas funcionalidades, como a restrição de matérias-primas e o controle de estoques. A incorporação destas funcionalidades gerou os sistemas APS, a evolução natural dos sistemas FCS.

2.2.4 *Advanced Planning and Scheduling*

Surgidos no final dos anos 90, os sistemas APS abrangem um grande número de funcionalidades e ferramentas. Segundo Zattar (2004), os sistemas avançados de programação da produção são capazes de analisar rapidamente as implicações de decisões alternativas, considerando consequências, problemas e restrições, gerando programações otimizadas para serem transferidas às ferramentas de execução.

Segundo Faé e Erhart (2005), os Sistemas de Programação Avançada tem como características principais: (i) a programação por capacidade finita, considerando as reais capacidades dos recursos; (ii) as restrições finitas, que consideram em sua programação todas as restrições operacionais existentes na produção; (iii) o relacionamento entre ordens (diferentemente do MRP, as ordens de produção podem ser interligadas para um maior controle e podendo perceber as dependências entre as mesmas); (iv) rapidez nas reprogramações, permitindo realizar ajustes em função de imprevistos e alterações na produção; e (v) simulação de cenários, possibilitando análise de performance e dos custos envolvidos com o uso de horas-extras, terceirizações, compras de equipamentos e divisão de lotes, entre outros.

Para Carvalho (2001), entre os benefícios tangíveis e intangíveis dos sistemas APS, podem ser destacados: aumento da capacidade aparente, redução do estoque de

produtos acabados e em processamento, melhoria no atendimento dos pedidos, minimização dos efeitos de reprogramações e dos imprevistos, melhor previsibilidade para compras de materiais e melhoria nas relações entre clientes e fornecedores. Além disso, melhoram consideravelmente a capacidade de intervir no processo antecipadamente, ganhando segurança nas decisões rotineiras, gerando melhoria das relações internas da empresa, sobretudo entre as áreas de produção e vendas. Também nesse sentido, o referido autor destaca os ganhos na gestão estratégica através da possibilidade de simular resultados financeiros, orientando a análise de investimentos em máquinas ou a contratação de mão-de-obra e auxiliando a empresa a definir suas políticas de produção e atendimento, priorizando certas linhas de produtos ou determinados clientes.

Zattar (2004) destaca que os sistemas APS utilizam algoritmos de otimização que incorporam as metas do negócio. Desta forma, são capazes de fornecer um planejamento e programação em tempo real, auxiliando assim em decisões de suporte, como por exemplo, na avaliação de promessas de entrega. Segundo Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2000), além da Programação da Produção, os sistemas APS abrangem também as áreas de Planejamento de Demanda, com modelos de previsão baseados em dados históricos, e Planejamento da Cadeia de Suprimentos, tendo por objetivo a alocação eficiente dos recursos logísticos, gestão de inventários e planejamento de distribuição e transportes.

Partindo-se de uma programação confiável, com um horizonte ampliado, é possível antecipar as necessidades de alocação dos recursos, facilitando o gerenciando de compras, recebimentos e fornecimentos. Nesse sentido, percebem-se ganhos significativos na integração da cadeia de suprimentos com melhoria na relação com os fornecedores e clientes.

2.3 REGRAS DE PROGRAMAÇÃO

De acordo com Tubino (2006), as regras de programação são heurísticas usadas para determinar quais demandas devem ser programadas para a atual disponibilidade do sistema produtivo. Da mesma forma, visam estabelecer, qual das demandas aguardando sequenciamento tem prioridade de processamento, bem como, qual recurso produtivo

apto deve ser carregado com esta ordem. Para Faé (2004), pesquisas relacionadas a regras de sequenciamento têm ganhado importância, e regras vêm sendo propostas na literatura. Geralmente, estas regras estão relacionadas com o tempo de processamento, data de entrega e índices de priorização. Além destas, destacam-se também algumas soluções que visam alcançar a otimização através de técnicas de Pesquisa Operacional.

Nesta seção são apresentadas as regras convencionais de programação, já difundidas e amplamente apresentadas na literatura, as quais têm foco na simplicidade e aplicabilidade a diversas necessidades de programação. Na sequência, exploram-se as regras APS, que oferecem potencial de ganhos superiores e adaptabilidade a situações que requerem modelagem mais específica do problema de programação e que já fazem parte do padrão de *softwares* APS disponíveis no mercado. Por fim, são apresentadas as heurísticas e regras customizadas de programação, tratando do desenvolvimento de regras e lógicas específicas, criadas para atender a problemas de programação voltados para sistemas produtivos complexos.

2.3.1 Regras Convencionais de Programação

De acordo com Tubino (2006) as regras de programação mais empregadas na prática são as apresentadas na Figura 4. Além disso, o autor reforça que não há regras de sequenciamento que sejam eficientes em todas as situações, sendo a eficiência de um sequenciamento medida em termos de três fatores: o tempo de atravessamento médio, o atraso médio, e o estoque em processo médio.

Uma das regras convencionais comumente utilizadas para determinar o sequenciamento da produção é a Regra PEPS (Primeira que entra primeira que sai), também largamente conhecida pelo termo em inglês FIFO (*First in First Out*). Segundo Tubino (2006), é empregada normalmente em filas de atendimento e prestação de serviços em que fica clara a posição do cliente em relação à fila de espera. Esta lógica de sequenciamento tem como característica o atraso de toda sequência de produção ao processar grandes lotes ou realizar atendimentos demorados. Ao processar os lotes grandes, a regra PEPS gera ociosidade nos processos posteriores e aumento do tempo de espera dos processos anteriores, impactando diretamente no tempo médio total de atravessamento.

Sigla	Especificação	Definição
PEPS	Primeira que entra primeira que sai	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada no recurso.
MTP	Menor tempo de processamento	Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento do recurso.
MDE	Menor data de entrega	Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega.
IPI	Índice de prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto.
ICR	Índice crítico	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: (data de entrega – data atual) / tempo de processamento
IFO	Índice de folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor tempo de: $\frac{(data de entrega - \Sigma \text{tempo de processamento restante})}{\text{número de operações restante}}$
IFA	Índice de falta	Os lotes serão processados de acordo com o menor tempo de: quantidade em estoque / taxa de demanda

Figura 4 – Resumo das regras de sequenciamento

Fonte: Tubino (2006)

De acordo com a regra PEPS, os lotes ou demandas são realizados de acordo com sua chegada no recurso, sem fazer uso de nenhuma priorização ou reordenamento de fila. Esta lógica pode ser utilizada para sequenciamento sem as limitações anteriormente citadas, quando um número maior de locais de atendimento ou recursos consome uma única fila. Dessa forma, atendimentos ou processamentos longos têm impacto direto apenas na operação em si, fazendo com que o tempo de espera não seja influenciado pelo processamento de demandas mais demoradas.

Uma alternativa ao PEPS, a regra MTP (Menor tempo de processamento) propõe um sequenciamento da produção considerando a análise dos tempos padrões de processamento das ordens de produção. De acordo com esta regra, ocorre a priorização das ordens com menor tempo de atravessamento em detrimento das ordens mais extensas (PINEDO, 2008). Para Tubino (2006), a regra MTP obtém um tempo de atravessamento médio baixo das operações de produção, proporcionando a redução dos estoques em processo, com uma melhor utilização dos recursos e com um bom nível de atendimento ao cliente. Por outro lado, o autor reforça que a regra MTP, em virtude da despriorização das ordens de maior *lead time*, determina que ordens de maior *lead time* tenham dificuldade em entrar em produção, sobretudo se a dinâmica de entrada de ordens menores for intensa.

Nesse sentido, observa-se que a baixa prioridade de ordens de maior *lead time* influencia o resultado da programação como um todo, e por consequência, o resultado financeiro da organização, uma vez que ordens com maior *lead time* poderiam representar uma significativa fatia do faturamento. Complementando esta regra, faz-se necessário o monitoramento destas ordens, forçando sua priorização no sequenciamento, ou ainda, através do uso de um parâmetro de tempo máximo de espera, garantindo automaticamente sua priorização e programação nos recursos.

Uma das regras mais utilizadas para realizar o sequenciamento de produção, em alguns casos como complemento a regras de maior complexidade, é a regra MDE (Menor data de entrega). Tendo em vista que a priorização da produção determina a sequência de entrada em produção a partir das datas de entrega, observa-se um ganho expressivo no cumprimento dos prazos de atendimento acordados com os clientes, apresentando um bom desempenho em sistemas de produção voltados para o atendimento frente a pedidos ou *make-to-order*. No entanto, a utilização única desta regra, sem a flexibilização com base em outros parâmetros, não observa possibilidades de agrupamento de lotes como forma de obter ganhos de escala. Neste caso, é comum observar um aumento do número e, por consequência, do tempo de preparação de máquina em sistemas de produção que utilizem unicamente como priorização a regra MDE (TUBINO, 2006).

A regra IPI (Índice de Prioridade) estabelece o sequenciamento das demandas a partir de uma informação previamente estabelecida e determinada com base em regras de atendimento. O índice de prioridade pode assumir diversos valores, compondo, a partir de um número ilimitado de informações, o índice de prioridade desejado. Desta forma, o índice de prioridade apresenta uma dinâmica que depende da concepção da lógica de priorização. De forma análoga, o resultado da programação é determinado por esta lógica pré-estabelecida, tornando determinante a necessidade de avaliar o comportamento do índice calculado em diferentes cenários e contextos de programação (TUBINO, 2006).

Observa-se como exemplo de índices de prioridade a utilização de prioridades associadas a cada cliente, determinando a sequência em que os clientes são alocados nos recursos produtivos. Esta sequência de prioridade é normalmente determinada pela alta direção ou ainda pelo setor comercial da empresa. Outra possibilidade diz respeito ao

índice associado diretamente ou de forma proporcional ao faturamento ou margem de contribuição das ordens de produção. Dessa forma, haveria a possibilidade de realizar o sequenciamento visando obter uma programação com o máximo faturamento ou lucratividade. Observa-se que para o melhor funcionamento da regra de IPI, as lógicas estabelecidas devem ser constantemente revistas, com objetivo de manter a prioridade e, como consequência, a programação devidamente alinhadas com os objetivos estratégicos da organização.

O Índice crítico (ICR) ou Razão Crítica é uma regra de sequenciamento que busca um compromisso entre tempo de processamento e prazo de entrega, determinando a prioridade das ordens na fila de programação (KRAJEWSKY; RITZMAN, 2004; ELSAYED; BOUCHER, 1994). Nesse sentido, o ICR é calculado dinamicamente em função da diferença entre a data de entrega e a data atual, determinando quantos dias há para o prazo final da ordem. Este valor, dividido pelo tempo de processamento padrão da ordem, determina um índice que, quanto menor, mais próximo está do limite para início de produção sem atraso (PINEDO, 2008). De acordo com a regra ICR, o sequenciamento inicia com a prioridade para os menores valores, lembrando que o índice comporta valores negativos, representando ordens que não podem ser mais entregues no prazo, e que naturalmente, devem entrar prioritariamente na fila de prioridade de programação e espera por recursos.

Também representando um cálculo, o Índice de Folga (IFO) considera, para determinar a priorização de sequenciamento, o tempo que ainda deve ser despendido com a ordem, relacionando o mesmo com a data de entrega e o número de operações pendentes (TUBINO, 2006). O Índice de folga é calculado a partir da subtração do tempo de processamento restante em relação à data de entrega, determinando quantos dias de folga existem até data de entrega. Este valor, dividido pelo número de operações que deve ser executadas, determina o índice de prioridade. Novamente, quanto menor o valor obtido, maior a prioridade de sequenciamento. Apesar de assemelhar-se ao ICR, observa-se que o índice de folga, por considerar como parâmetro o número de operações pendentes, representa melhor a priorização de sequenciamento em sistemas produtivos com significativos tempos de espera entre processo, ou seja, ordens que dependem de um maior número de operações terão maior perda por deslocamento entre processo e, em consequência, para atravessamento total.

Por fim, observa-se na literatura o sequenciamento da produção a partir de índice de falta (IFA), também representando um cálculo que determina a priorização das ordens na escolha pelos recursos produtivos. De acordo com esta regra a prioridade é definida através da divisão da quantidade apurada em estoque pela taxa de demanda (TUBINO, 2006). Tendo em vista as variáveis consideradas no cálculo, é conclusiva a sua aplicação direcionada para sistemas produtivos voltados para produtos seriados destinados a alimentar um estoque, que por sua vez é consumido em taxas determinadas. Destaca-se que o compromisso entre desempenho de entrega e reduzidos níveis de estoque serão determinados, sobretudo, pela precisão da taxa de demanda estabelecida para cada produto, podendo ser considerada a partir de um histórico de atendimento, para produtos já consolidados, ou ainda, considerando-se a previsão de demanda calculada por métodos estatísticos.

2.3.2 Regras APS

A regra APS de Minimização de *Work in Process* (WIP) apresentam-se como uma alternativa à programação nas ocasiões em que se torna mais importante a redução do estoque em processo, reduzindo o *lead time* de atravessamento das ordens de produção e, conseqüentemente, o capital associado às ordens em processo. Possuindo as variantes para frente e para trás como método base de sequenciamento, a regra de minimização de WIP realiza dinamicamente o ajuste do sequenciamento das operações visando reduzir o tempo de espera entre operações e, por conseqüência, a redução do WIP (PINEDO, 2008).

Observando a Figura 5, na seção da esquerda, estão dispostos os recursos na vertical e a linha de tempo na horizontal. As operações de uma primeira ordem ocupando os recursos na seqüência lógica de relacionamentos que segue a numeração crescente da mesma. Considerando como método de programação para frente, a primeira ordem, por ter sido sequenciada com total disponibilidade de recursos, possui as operações sem nenhuma espera. No entanto, a segunda ordem sequenciada, por utilizar os mesmos recursos, ocupou a capacidade à medida que a primeira foi concluída e, como pode ser observado, foram gerados tempos entre as operações, que quando realizadas, representam estoques intermediários. Após o sequenciamento da segunda ordem, a regra de minimização de WIP ajusta os inícios do processamento programado, aproximando operações com dependência ao longo da linha de tempo conforme pode

ser observado na seção direita da Figura 5. Considerando-se que o fim da operação número 40 da segunda ordem não pode ser antecipado, o início das demais operações, desde que possível, é retardado para garantir o sincronismo e reduzir o tempo de atravessamento total.

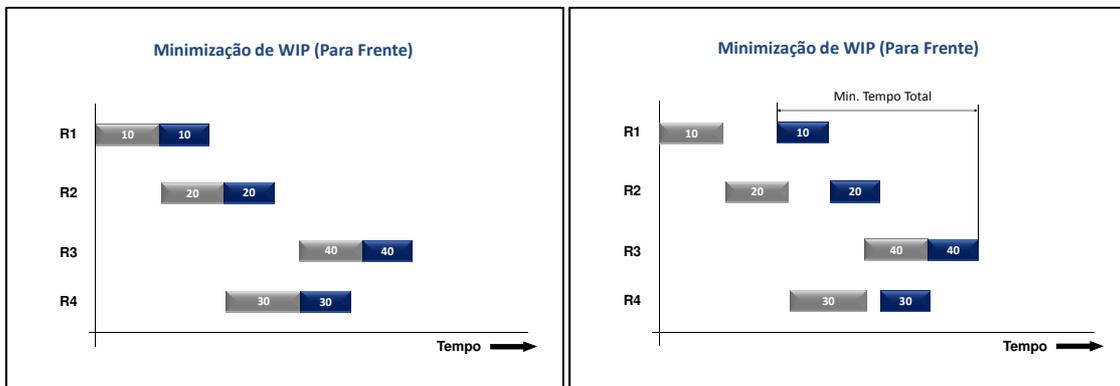


Figura 5 – Minimização de Work In Process para frente: cenário prévio e cenário otimizado

Fonte: Elaboração própria

De acordo com Pacheco e Oliveira (2007), o excesso de WIP apresenta-se constante ao longo dos elos da cadeia de suprimentos, representando a diferença entre o estoque planejado e a posição atual do estoque. O exemplo observado na Figura 5 considera como método de programação o sequenciamento para frente. Conforme anteriormente descrito, há a variante de sequenciamento para trás, apresentando-se como uma regra de programação distinta. No exemplo da Figura 6, uma primeira ordem foi sequenciada para trás, tendo como referência a sua data de entrega e oferecendo um sequenciamento sem esperas entre as operações. A segunda ordem representada ao ser sequenciada para trás a partir da operação 40, adaptou-se à disponibilidade dos recursos, influenciada pela ordem que já ocupava os mesmos.

Após realizar o sequenciamento prévio, a regra APS de minimização de WIP para trás ajusta o início das operações tendo por objetivo a redução do tempo de atravessamento. Considerando-se que a operação 10 da segunda ordem não pode ser postergada, a regra de programação antecipa, se houver capacidade disponível, o início das demais operações. Isso pode ser visto na seção direita da Figura 6. A regra APS de minimização de WIP para trás oferece uma programação que, além de reduzir o WIP ao longo do processo, oferece a vantagem de aproximar a programação ao máximo em

relação à data de entrega, reduzindo inclusive o estoque de produtos acabados. Por outro lado, a programação para trás associada à minimização de *setup* oferece como risco o não cumprimento do prazo de entrega na eventualidade de qualquer imprevisto. Ambas as regras foram projetadas para minimizar o intervalo de espera entre todas as operações da ordem e, por consequência, entre o início da primeira operação e o término da última operação (ZATTAR, 2003)

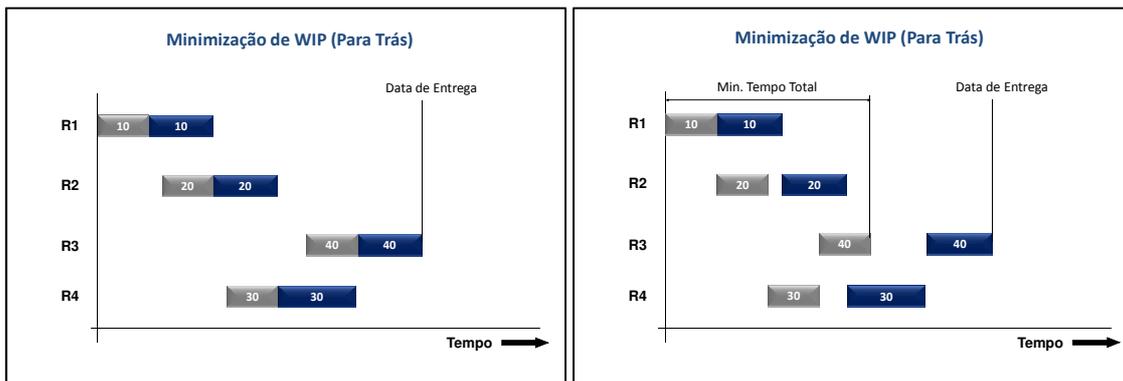


Figura 6 – Minimização de Work In Process para trás: cenário prévio e cenário otimizado.

Fonte: Elaboração própria

Para Santos *et al.* (2009), a Teoria das Restrições (TOC) apresenta-se como uma filosofia de planejamento e organização das atividades produtivas. Nesse sentido, o planejamento da produção deve ser desenvolvido com foco nas restrições físicas do processo produtivo. A TOC propõe a técnica de produção denominada tambor-pulmão-corda, a qual visa determinar o ritmo da linha de produção. O tambor refere-se ao principal recurso restritivo e dita o ritmo da produção. O pulmão, por sua vez, representa os estoques temporários colocados para alcançar o abastecimento de forma constante. E, por fim, a corda determina aos demais componentes do sistema o ritmo determinado pelo tambor (GOLDRATT, 1995).

A regra APS do Gargalo Seletivo baseia-se no conceito da Teoria das Restrições. Partindo-se de um recurso gargalo já conhecido, realiza-se uma programação voltada para garantir a máxima utilização deste recurso. Para Santos *et al.* (2009), as regras de programação devem ser sempre avaliadas, dado que nos ambientes produtivos normalmente há apenas um recurso ou grupo de recursos restritivo. De acordo com a Figura 7, observa-se que, a partir da avaliação do sistema produtivo, o

recurso quatro é considerado gargalo, sendo gerado um pulmão antes da operação alocada no mesmo.

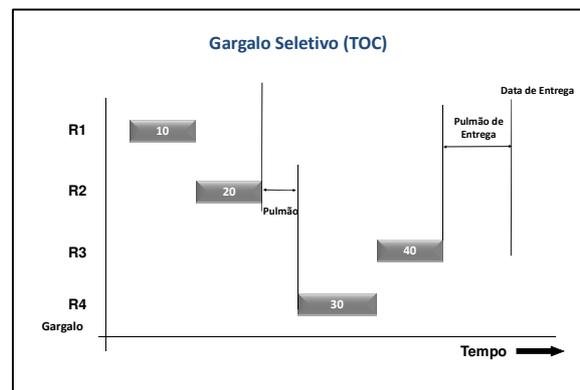


Figura 7 – Gargalo Seletivo – Teoria das Restrições

Fonte: Elaboração própria

Para Pinedo (2008), a regra de programação com base em gargalos ocorre em cinco fases: (i) identificação do gargalo; (ii) cálculo do tempo de espera do pulmão; (iii) cálculo da capacidade do gargalo; (iv) programação do recurso gargalo; (v) programação dos recursos não-gargalos. Observa-se, também, a possibilidade de estabelecer a criação de um pulmão de entrega, para garantir uma margem de segurança em relação à data compromisso, em caso de sistemas produtivos voltados para produção frente a pedidos firmes, ou ainda, atender a variações de demanda em sistemas produtivos voltados para atender estoque. Para Machado (2004), o estoque planejado antes do recurso gargalo garante que sempre exista material a ser processado. Desta forma, os pulmões garantem a segurança de que as promessas de entrega possam ser realizadas com confiabilidade.

Como uma evolução natural da regra de programação chamada Gargalo Seletivo, apresenta-se a regra de programação Gargalo Dinâmico. Segundo Pacheco (1999), trata-se de uma heurística dinâmica com inserção de esperas que busca a relação entre o benefício de se executar uma operação e o custo de utilizar o recurso; esta relação estabelece a prioridade de cada operação nas máquinas. As relações são calculadas dinamicamente, possibilitam procedimentos diversos de cálculo, com maiores ou menores aproximações.

Nesse sentido, a diferença da regra do Gargalo Dinâmico em relação ao Gargalo Seletivo refere-se ao dinamismo oferecido. Na regra de gargalo dinâmico, não é pré-estabelecido um gargalo ao sistema produtivo antes de realizar a programação, conforme ocorre com as regras baseadas na teoria do tambor-pulmão-corda. Através desta regra o sistema de programação inicialmente identifica o principal gargalo produtivo com base na maior espera de máquina, conforme pode ser observado na seção direita da Figura 8. Observando que a maior espera de máquina encontra-se no recurso quatro, estabelece-se este como o primeiro gargalo do sistema produtivo.

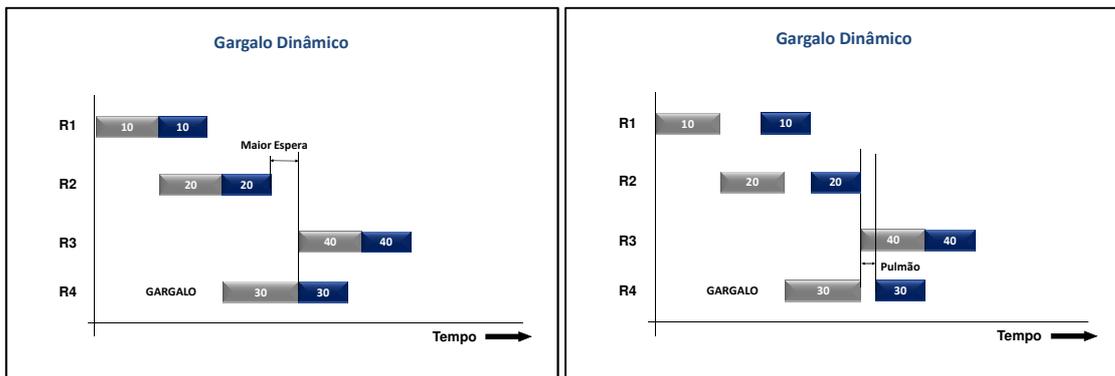


Figura 8 – Gargalo Dinâmico: cenário prévio e cenário otimizado

Fonte: Elaboração própria

Identificado o primeiro gargalo, esta operação é retardada aproximando-a de sua operação predecessora. Prosseguindo na programação, as operações que antecedem o gargalo são postergadas até o limite do pulmão calculado. Este ajuste garante ao sistema o correto dimensionamento do pulmão e, simultaneamente, aproxima as operações dentro da lógica do *just-in-time*, reduzindo o *lead time* e os estoques intermediários, conforme seção direita da Figura 8. Realizada a primeira interação, a regra do gargalo dinâmico prossegue recursivamente a cada ordem programada identificando o novo gargalo de acordo com o mix de produção e os tempos de processo demandado para cada processamento, gerando pulmões calculados.

Apresentando como mais uma regra APS, a Regra de Carregamento Paralelo destaca-se através da realização de um sequenciamento visando melhorar a utilização dos centros de trabalho, sobretudo os que se encontram no início do processo produtivo. Ao contrário da maioria das regras que realiza o sequenciamento priorizando ordens de produção e alocando todas suas respectivas operações, a regra de carregamento paralelo

realiza sequenciamento de todas as operações que devem ser alocadas a determinado centro de trabalho, buscando um bom sequenciamento local para, em seguida, realizar o sequenciamento do setor posterior dentro da lógica do processo (PINEDO, 2008).

A regra de Carregamento Paralelo é recomendada para sistemas produtivos em que as operações iniciais determinam o ritmo produtivo e o sequenciamento dos demais setores produtivos. O uso desta regra garante a utilização dos setores iniciais e um sincronismo adequado com as operações posteriores através do uso de lógicas de transferências de lote, oferecendo, assim, um bom resultado global ao sistema no que diz respeito ao tempo de atravessamento e utilização dos recursos.

A regra APS de Sequência Preferida apresenta-se como uma regra de grande flexibilidade e aplicabilidade. De acordo com Zattar (2003), esta regra oferece como parâmetros de entrada a oportunidade de escolha de critérios que devem ser priorizados dentro de um horizonte de agrupamento estabelecido. Conforme a Figura 9 observa-se na esquerda os critérios disponíveis para escolha e, à direita, os critérios selecionados para uso da regra de programação. Esta parametrização é realizada por recurso, possibilitando que os critérios de agrupamento sejam estabelecidos de acordo com as características prioritárias para cada recurso (ZATTAR, 2003). Por exemplo, em determinado recurso pretende-se organizar a fila de máquina com o objetivo de reduzir o setup para ganhar capacidade produtiva, enquanto, em outro, representando o último processo, a prioridade seja tempo de processamento, objetivando faturar o maior número de ordens pequenas no curto prazo.

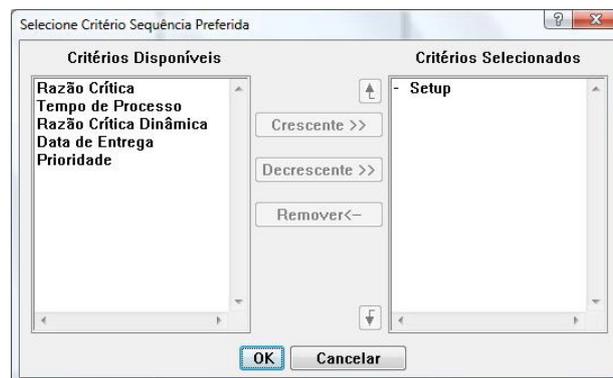


Figura 9 – Seleção de critério de Sequencia Preferida

Fonte: Software Preactor APS

Na Figura 10 tem-se um cenário prévio contendo um sequenciamento de operações realizado através da lógica FIFO, anteriormente citada nesta revisão. Neste exemplo, os números representam as datas de entrega e as cores representam o tipo de produto. Como pode ser visto neste primeiro sequenciamento, ocorreram dois atrasos, destacados através de um círculo. Já na seção direita da Figura 10, tem-se o sequenciamento de produção através da regra de Sequência Preferida com uso de apenas um critério, minimização de *setup*. Observam-se os dois cenários realizados com flexibilização de 2 dias e 3 dias respectivamente. Primeiro, foram realizados 3 agrupamentos com redução do número de *setups* de seis ocorrências para três e com significativo ganho de capacidade. Já, em se tratando do cenário com flexibilização de 3 dias, ocorrem quatro agrupamentos, redução do número de ocorrências de *setup* de seis para dois, com máximo ganho de capacidade, a partir de um significativa antecipação de três dias de uma das ordens.

Em relação às datas de entrega, observa-se no exemplo descrito, a redução de um atraso nos cenários com uso da regra de sequenciamento. Nesse sentido, a flexibilização com um horizonte maior oferece um maior ganho de capacidade e, em contrapartida, provoca um aumento do estoque intermediário devido à antecipação excessiva de determinadas ordens. Nesse contexto, cabe ao programador ou gestor a decisão de escolha da melhor programação a ser executada, com base nos cenários gerados.

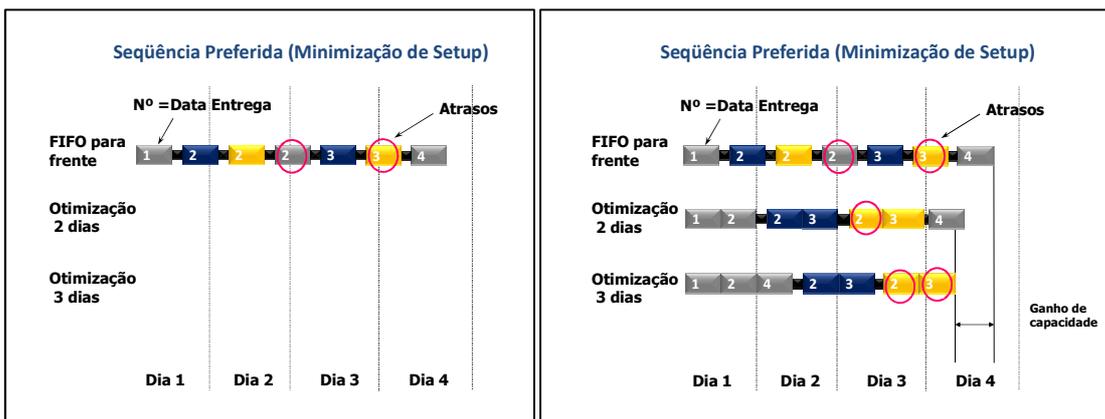


Figura 10 – Sequência Preferida com Mín. de Setup (cenário prévio) e otimização para dois e três dias

Fonte: Elaboração própria

De acordo com Zattar (2003), as regras de Carregamento Paralelo e Sequência Preferida podem ser executadas nos *softwares* APS apenas em modo global, ou seja,

todas as operações das ordens a serem produzidas são sequenciadas utilizando a mesma regra de programação. Já, no caso das demais regras, o programador pode optar pela programação global ou por produto, podendo utilizar diferentes regras para cada grupo de produtos, por exemplo.

2.3.3 Heurísticas

Apresentando-se como os métodos mais avançados de sequenciamento, as heurísticas com desenvolvimento de algoritmos específicos de sequenciamento vêm ampliando sua importância nas pesquisas, buscando soluções para diferentes problemas genéricos de programação.

Pacheco e Santoro (1999) propõem a classificação dos modelos heurísticos de *scheduling* em dois grupos distintos: modelos heurísticos de passo único e modelos heurísticos de busca. Para os autores, os modelos heurísticos propiciam uma boa solução de programação, não obrigatoriamente ótima, através de duas estratégias, sendo, a primeira, a construção da sequência e da solução de uma só vez sem considerar as múltiplas alternativas, enquanto que a segunda visa explorar um subconjunto de soluções para o problema. Essencialmente, espera-se que a primeira ofereça um desempenho melhor na solução do problema, em vista do reduzido número de iterações.

As heurísticas de passo único obtêm boas soluções de *scheduling* a partir de duas formas: a forma aprendida pelo modelo ou a forma informada. Na forma aprendida, enquadram-se os modelos de redes neurais, nos quais a heurística "aprende" a melhor forma de resolver o problema de *scheduling* por meio de um conjunto de problemas de referência. Já, no que se refere à categoria informada, a resolução do problema é incorporado na modelagem, gerando uma solução única, supostamente satisfatória, que incorpore as lógicas do problema. As heurísticas de passo único prezam pela simplicidade de se obter um resultado ao invés de realizar a avaliação de todas alternativas, dispendendo tempo e recursos (PACHECO; SANTORO, 1999).

Para Pacheco e Santoro (1999), as heurísticas de busca avaliam um subconjunto das alternativas viáveis de solução de programação, oferecendo, como resultado, a melhor dentre as opções avaliadas. Utilizam uma carga computacional intermediária entre heurísticas de passo único e métodos otimizantes. Para Faé (2004), as heurísticas de busca são métodos pelos quais se obtém uma solução inicial que, por meio de

iterações e trocas de posições das tarefas na sequência, busca obter um sequenciamento melhor com base em um parâmetro previamente estabelecido.

Pacheco e Santoro (1999) destacam que as heurísticas de busca podem ser divididas em duas categorias, essencialmente devido ao uso ou ausência de mecanismos de intensificação; nas heurísticas sem intensificação, a busca ocorre de forma aleatória. Dentre as heurísticas existentes, destacam-se como modelos de busca: (i) Busca Tabu, (ii) Algoritmos Genéticos, (iii) Redes Neurais, (iv) *Branch-and-Bound*, (v) *Beam Search* e (vi) Algoritmo de Johnson (PACHECO; SANTORO, 1999; FAÉ, 2004).

Para Faé (2004), a Busca Tabu refere-se a um algoritmo que percorre o espaço das soluções à procura do ótimo global, com base em regras pré-definidas e parâmetros de comparação, sem características aleatórias. Pacheco e Santoro (1999) por sua vez, classificam a busca tabu como um modelo heurístico de busca estendida, o qual busca a solução global através de um método de busca em vizinhança, com uso de um mecanismo de diversificação que permite que a busca seja estendida explorando alternativas vizinhas melhores do que a solução atual e fugindo dos ótimos locais.

Os algoritmos genéticos são baseados em processos naturais de recombinação, seleção e mutação. Este algoritmo parte de um princípio básico: seleciona bons indivíduos, identifica soluções do problema de otimização para reprodução e recombinação, obtendo soluções melhores que os indivíduos que os originaram. As soluções geradas pelos filhos ocupam o lugar dos indivíduos menos adaptados da população, melhorando a solução global como um todo e culminando em um processo evolutivo (PINEDO, 2008). Para Pacheco e Santoro (1999), os algoritmos genéticos classificam-se como modelo heurístico de busca estendida, buscando a solução global através de testes realizados com alternativas vizinhas à solução ótima obtida.

As redes neurais, por sua vez, são heurísticas que fazem uso de uma malha de uma ou mais camadas de neurônios para a tomada de decisões, sendo que um neurônio representa um ponto na rede de decisões. Cada neurônio, fornece uma resposta de acordo com sua função de ativação, com parâmetros de controle de sensibilidade e com o estímulo recebido, referente ao somatório das respostas dos neurônios antecedentes. E esta, por sua vez, exerce influência no comportamento dos neurônios sucessores através do seu resultado. O resultado de cada neurônio é incorporado pela malha, utilizando-se um conjunto de exemplos. Após determinado o ajuste dos parâmetros, o processo de

tomada de decisões torna-se simples do ponto de vista matemático (PACHECO; SANTORO, 1999).

O algoritmo *Branch-and-Bound* apresenta-se como um método desenvolvido para a solução de problemas utilizando-se uma estrutura de busca em árvore para a construção da solução. Neste algoritmo, é analisado o resultado de cada ramificação e comparando com o desempenho do melhor resultado obtido até então. Os ramos que não passam do melhor resultado da solução são eliminados (PACHECO; SANTORO, 1999). O autor classifica este método como um dos principais modelos matemáticos de solução dos problemas de *job shop scheduling*.

Sendo uma derivação do *branch-and-bound*, o algoritmo *Beam Search* também é definido como uma heurística de busca em árvore. A *Beam Search* considera a relevância de cada alternativa em sua análise, cada nó da árvore sofre uma avaliação simplificada. Com base nos resultados desta avaliação de alternativas, exploram-se apenas as alternativas mais promissoras em cada nó (PINEDO, 2008). Para Faé (2004), o algoritmo de *Beam Search* necessita para desenvolvimento, uma menor necessidade computacional em relação ao *Branch-and-Bound*, em vista de um menor número de avaliações realizadas. Por outro lado, não tem a garantia de atingimento do melhor resultado global evidenciado no *Branch-and-Bound*.

Por fim, os algoritmos de Johnson são regras de sequenciamento com objetivo de minimizar o tempo de atravessamento em problemas de um *flow shop* com “n” tarefas em dois a três recursos, todos aptos a atender as tarefas disponíveis para sequenciamento. O algoritmo desenvolve-se em uma sequência de cinco passos que compara os tempos de processamento das tarefas em cada máquina, e criando um *ranking* de demandas para posterior alocação. Por fim, as tarefas são alocadas nas máquinas obtendo uma sequência ótima com o menor tempo total de produção.

Faé (2004) observa que na realidade das empresas encontram-se situações com um número grande de operações para serem executadas com uma grande variedade de recursos alternativos. Neste sentido, o autor destaca que a utilização manual de algoritmos e regras de sequenciamento se torna complexa em virtude de sua inviabilidade prática, sobretudo à medida que outros tipos de restrições são agregadas ao sequenciamento, como tempos de preparação dependentes da sequência, restrições

entre operações, restrições de ferramentas, entre outros fatores típicos de ambientes produtivos.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesta seção é apresentado o detalhamento do método de pesquisa utilizado neste estudo acadêmico, o qual foi estruturado em nove etapas conforme Figura 11. Observa-se que a sistemática proposta está inserida como parte do método de pesquisa, correspondendo às sete etapas finais do método de pesquisa. Nesse sentido, a sistemática proposta inicia-se com o entendimento dos processos, seguindo com a concepção de solução, o desdobramento da solução e especificação, desenvolvimento dos sistemas e modelagem, simulação, *start up* e, por fim, realiza-se a análise dos resultados.

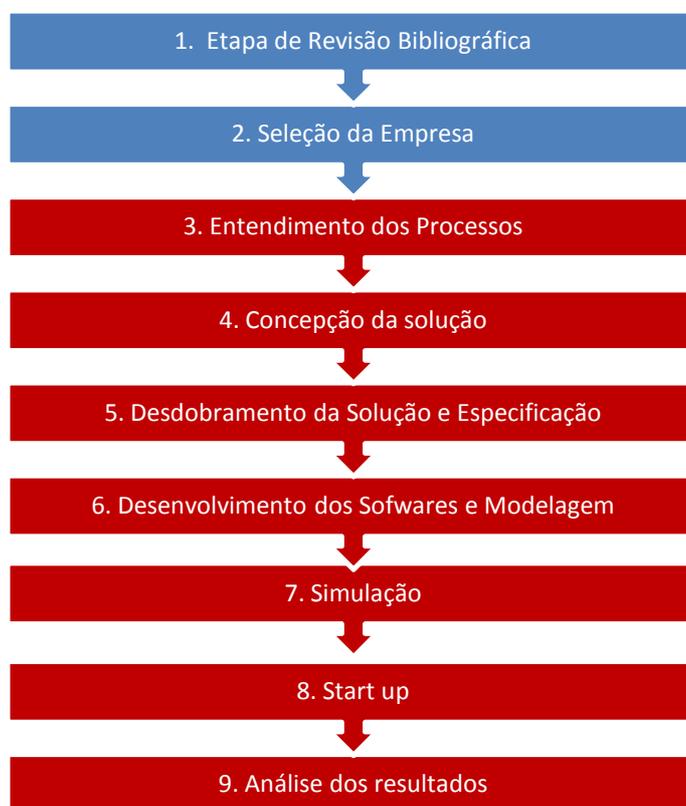


Figura 11 – Etapas do método de pesquisa

Fonte: Elaboração própria

3.1 ETAPA DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa do método consistiu em uma revisão bibliográfica tendo como temas principais a programação de produção e a estratégia. Nesse sentido, buscaram-se na literatura diferentes objetivos que devem ser atendidos por uma solução de programação visando aliar a eficiência operacional e estratégia. Como saída desta etapa se obteve uma listagem de objetivos possíveis para a programação.

Sob o ponto de vista de melhoria no resultado da programação pode-se citar: o aumento da colaboração entre os setores da empresa; melhoria no planejamento de capacidade; melhoria no planejamento de materiais; melhoria no atendimento aos prazos de entrega; aumento no horizonte firme de planejamento; confiabilidade dos prazos de entrega; melhoria no tempo de resposta a necessidades de reprogramações; redução dos *lead times* de produção; redução dos estoques em processo; redução do estoque de produto acabado (PIRES, 2004; TUBINO, 2006; LIDDELL, 2009). Outro aspecto importante observado para programação diz respeito à agilidade e tempo de resposta da programação; sobre este aspecto observam-se também como objetivos da programação: a simulação de cenários; o sequenciamento dinâmico e a programação considerando momento a momento as restrições inerentes ao processo produtivo (LIDDELL, 2009).

3.2 SELEÇÃO DA EMPRESA

Após o estudo realizado na primeira etapa ocorre a escolha de uma empresa para aplicação da sistemática proposta. Para realizar um estudo com o foco no desenvolvimento de uma regra personalizada, observaram-se como critérios: a complexidade para realizar a programação, de modo que as regras de programação já incorporadas aos softwares de APS não fossem capazes de realizar a programação da empresa com o resultado esperado; a existência de recursos com lógicas específicas de programação, recursos com processamento de múltiplas demandas simultaneamente e/ou que necessitem de lógicas de otimização; e por fim, situações em que sejam necessárias regras específicas de negócio para geração da programação e que não possam ser tratadas através de priorizações.

Para realização deste estudo selecionou-se uma empresa do setor calçadista que apresentava os três critérios citados, sendo esta suficiente em termos de porte, número de produtos e complexidade, com injetoras rotativas que necessitam de lógicas particulares de programação para processar múltiplas demandas simultaneamente sob diferentes regras de negócio.

3.3 ENTENDIMENTO DOS PROCESSOS

Com base na empresa selecionada, realizou-se o entendimento e conhecimento do funcionamento da mesma. Buscou-se a compreensão dos processos de compras, programação, produção e vendas, e demais processos que estejam diretamente relacionados com a atividade de programação. Em um primeiro momento, realizaram-se reuniões com cada área isoladamente, para, posteriormente realizar discussões envolvendo representantes de cada setor. Esta atividade teve o objetivo de compreender as necessidades da empresa, contextualizando a realidade em que está inserida.

Além do entendimento dos processos e do funcionamento da empresa, esta etapa visou identificar necessidades e oportunidades que pudessem ser incorporadas à solução de programação. Nesse sentido, foram estabelecidos os objetivos estratégicos e operacionais que devem ser atendidos pela solução, buscando um consenso entre os setores para estabelecer os objetivos da organização. Estes objetivos expressaram de forma clara a qualidade da programação gerada, para que, posteriormente, fossem transformados em indicadores para mensurar os resultados de forma quantitativa.

Através de treinamentos e reuniões foram avaliados exemplos práticos de programação e explicaram-se os conceitos observados na literatura. Essas atividades visam compreender o processo de programação, bem como as decisões tomadas para definir a alocação, priorização, sequenciamento e nivelamento dos recursos. O entendimento destas decisões serve de ponto de partida para a concepção da solução de programação e, principalmente, para o desenvolvimento da regra personalizada de programação.

3.4 CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO

Nesta etapa, realizou-se a concepção da solução com base no entendimento dos processos e definição dos objetivos da organização. Procurou-se definir de forma ampla o funcionamento da solução, estabelecendo o fluxo de informações bem como a origem das mesmas. Nesta etapa, observaram-se as necessidades referentes aos sistemas encontrados na empresa, tanto em termos de infra-estrutura, quanto no que diz respeito informações disponibilizadas.

O objetivo desta etapa foi planejar de forma ampla o macro processo da solução de programação em que a regra de programação está inserida, visando viabilizar e planejar as necessidades para que a mesma se torne efetiva. Neste momento, são avaliadas as customizações referentes ao APS para atender às necessidades da empresa.

3.5 DESDOBRAMENTO DA SOLUÇÃO E ESPECIFICAÇÃO

Nessa etapa, realizou-se o detalhamento do funcionamento de cada etapa no fluxo de informações e são planejadas ações para efetivar a regra de programação e integração entre o ERP e APS. Além disso, foram avaliadas e planejadas alterações nos processos comerciais e de planejamento da empresa. Com o objetivo de adequar os processos à solução a ser implantada, foram discutidas, através de reuniões, as alterações que necessárias para atender ao funcionamento da solução proposta.

Ao final da especificação deve ser realizada a revisão e discussão dos levantamentos dessa etapa, bem como do fluxo de integração detalhado. A partir do consenso, foi estabelecido o plano de ação para realização da integração, customizações no APS e desenvolvimento da regra de programação, além das alterações necessárias no ERP.

3.6 DESENVOLVIMENTO DOS SOFTWARES E MODELAGEM

A partir dos levantamentos da especificação, iniciou-se o trabalho de preparação do ERP e APS para importação e exportação dos dados e geração das informações necessárias para a regra de programação. Paralelamente, desenvolveu-se a modelagem

do APS para realização de testes iniciais, visando o aprimoramento do modelo e dos conceitos da regra. Nesta etapa foram desenvolvidas e testadas todas as situações de programação que contempladas pela regra de programação. Nesse sentido, se fez necessário utilizar produtos com diferentes características de programação para que a análise seja representativa frente à programação como um todo. As rodadas de teste ocorreram de forma recursiva, programando e realizando ajustes no algoritmo até atingir um resultado satisfatório. Esta conclusão deve ser obtida através da convergência e comparação com a programação anteriormente realizada pela empresa, sob o ponto de vista dos especialistas da empresa neste assunto. Observa-se que cada nova versão eram desenvolvidos aprimoramentos em relação a versão anterior, de modo que a cada versão eram testadas todas as situações de programação para garantir que não houvesse impacto nos resultados esperados.

Após as rodadas de testes e desenvolvimento, foi realizada a validação do modelo conceitual. Neste momento, o modelo conceitual já deve contemplar todas as lógicas necessárias para gerar um resultado de programação satisfatório. Nesta etapa, a regra de programação deve realizar o sequenciamento de demandas inseridas no próprio APS, sem a integração com os demais sistemas da empresa. Para efeito de avaliação do algoritmo esta situação foi satisfatória; no entanto, para as etapas seguintes foram previstos testes dinâmicos com demandas completas.

3.7 SIMULAÇÃO

Com a validação do algoritmo da regra, deve-se iniciar a etapa de simulação e realização de testes dinâmicos com a regra de programação. Nesta etapa, a regra personalizada de programação desenvolvida no APS passou a utilizar exclusivamente demandas reais geradas pelo ERP, fazendo com que o APS estivesse diretamente integrado ao mesmo. Além disso, nesta etapa foram realizados testes de uso da solução, com avaliação de desempenho e testes de situações típicas do dia-a-dia de programação, como concorrência dos pedidos por recursos, reprogramações, atualizações de apontamentos e simulações de cenário.

Em vista de realizar o aprimoramento do modelo, estão previstas, no método, duas simulações para que as observações realizadas no primeiro teste dinâmico sejam

ajustadas para o segundo. Dessa forma, possibilita-se que, por ocasião da segunda simulação, a regra de programação já apresente o resultado esperado, tanto do ponto de vista operacional, quanto estratégico, oferecendo a dinâmica necessária para que o uso da solução possa ser iniciado. Além disso, ao final desta etapa todos os desenvolvimentos e integrações devem estar encerrados, para realização de um fluxo completo de programação e integração entre os sistemas.

3.8 *START UP*

Com o algoritmo da regra desenvolvido e depois de uma rodada completa de integração entre o APS e ERP, iniciou-se o uso da solução paralelamente aos sistemas vigentes na empresa antes do projeto. Observou-se a importância de consolidação da solução antes de desativar os processos antigos, como forma de minimizar impactos nas operações da empresa e oferecendo maior segurança para adaptação dos setores da empresa à nova forma de trabalho. Cabe ressaltar que nesta etapa ainda foram ser necessários ajustes pontuais como forma de aprimoramento do sequenciamento e programação, melhorando os resultados obtidos. Estas alterações foram identificadas tanto ao iniciar o uso, quanto durante o período de acompanhamento.

3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao final do acompanhamento, foi realizado o levantamento dos resultados preliminares da solução bem como o detalhamento dos benefícios do uso da solução. Os resultados têm relação direta com os objetivos definidos na etapa de especificação, bem como com os objetivos estratégicos e operacionais almejados com a solução. A partir dessa análise, objetivou-se a realimentação da sistemática para aprimoramento e evolução da regra, além da identificação de oportunidades de melhoria e pontos de atenção relevantes para o desenvolvimento de outras soluções de programação.

4 ESTUDO DE CASO

Esta seção detalha as ações realizadas na empresa A de acordo com sistemática proposta neste estudo. Inicialmente é realizada uma apresentação da empresa e do mercado em que está inserida. Partindo-se disso, é contextualizada e apresentada a problemática encontrada na empresa, detalhando os processos da empresa e visando o entendimento da natureza da demanda, do planejamento estratégico e do planejamento operacional. Este detalhamento tem como base as observações realizadas pelo pesquisador durante o desenvolvimento da solução de programação, em um período aproximado de oito meses. Seguindo, há o detalhamento do projeto realizado, apresentando as demais etapas da sistemática proposta.

A empresa A desenvolve suas atividades no setor de calçados e tem como fatores principais de competitividade a diferenciação e a constante busca por redução de custos. A empresa foco deste estudo apresenta-se como uma empresa de grande porte, com atividades desenvolvidas em três estados brasileiros e possui um total de 13 fábricas na qual emprega cerca de 20.000 funcionários em média. Possui, em sua linha de produtos, mais de 120 famílias e atende a mais de 90 países, tendo, nas exportações, parcela considerável das suas receitas.

O processo produtivo é desenvolvido de forma integrada, sendo que cada unidade produtiva é focada no desenvolvimento e produção de uma parte do processo, podendo ser de componentes, injeção ou acabamento. Conforme pode ser observado na Figura 12, o processo de fabricação inicia-se com a fabricação de componentes de diversas unidades, que abastecem as duas fábricas de injeção. Após a injeção, é realizado o acabamento e montagens, e a embalagem dos produtos posteriormente. Já embalados, os produtos ficam disponíveis para a expedição.

Dentre os processos produtivos desenvolvidos pela empresa, a injeção, por encontrar-se em uma posição central no fluxo, acaba por ser determinante para o desempenho do sistema com um todo, além de determinar o andamento do processo. Foi feita a escolha deste setor para desenvolvimento da regra de programação, por possuir complexidades em seu processo e devido aos custos elevados associados a equipamentos e matrizes, havendo assim, um maior potencial de retorno para a empresa. Dadas essas características, foi com o objetivo de programar as duas fábricas de injeção

que desenvolveu-se a regra de programação personalizada que é foco deste estudo, visando melhorar a eficiência dos processos produtivos e oferecendo dinâmica ao planejamento de curto prazo.

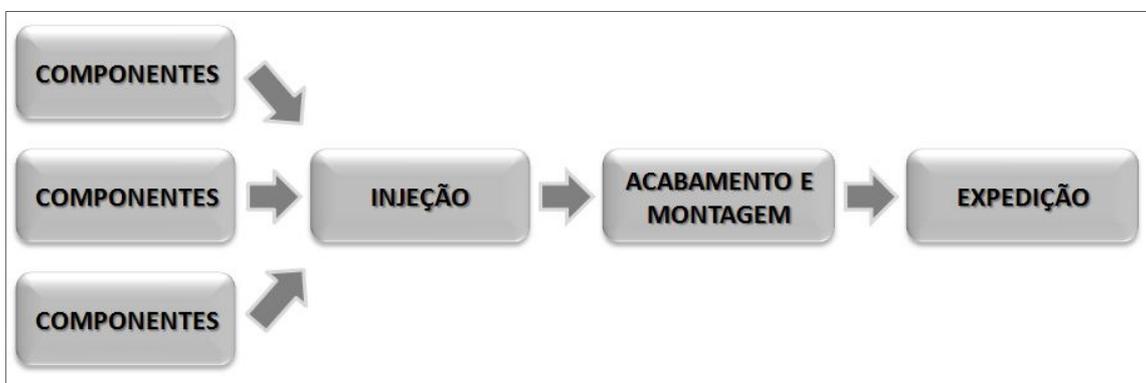


Figura 12 – Macro etapas do processo produtivo da empresa A

Fonte: Elaboração própria

4.1 Entendimento dos Processos

Inicialmente, realizou-se a discussão e o entendimento dos processos comerciais e produtivos da empresa. Os pedidos dão entrada na empresa a partir do setor comercial ou diretamente através dos representantes e distribuidores, formando a carteira de pedidos. De posse da carteira de pedidos, os mesmos são congelados e distribuídos em períodos, utilizando procedimentos presentes no ERP da empresa. A partir das demandas de cada período, são formados os lotes de produção, avaliadas e planejadas as necessidades de materiais, montadas as grades de produção de cada produto/cor e geradas as ordens de produção. As ordens de produção são liberadas para todas as fábricas, produzidas e disponibilizadas para o setor de embalagem. No setor de embalagem, os produtos são armazenados nas embalagens de acordo com o padrão de cada cliente e/ou mercado consumidor e disponibilizados para a expedição ou estocagem.

A empresa atende a demandas tanto do mercado interno quanto externo, em uma proporção aproximada de 60% e 40% respectivamente. A dificuldade principal enfrentada pela empresa para realizar o planejamento de sua produção está diretamente relacionada às variáveis a serem consideradas na programação de seus equipamentos de injeção, como por exemplo, as diferentes combinações de matrizes possíveis. Além

disso, a sazonalidade característica de empresas do setor calçadista e as variáveis associadas à comercialização e à distribuição dos produtos, tornam ainda mais complexas as decisões associadas à gestão da produção.

4.1.1 Natureza da Demanda

Para atender a mercados com peculiaridades distintas relativas à negociação e ao transporte, a empresa utiliza regras específicas de comercialização e tratamento da demanda. Observam-se, em sua carteira de clientes, tanto empresas de varejo, que adquirem produtos fracionados e em menores quantidades, até grandes redes, que realizam compras periódicas e de maior volume, tendo na flexibilidade de produção e comercialização um fator competitivo significativo para o negócio. Esta flexibilidade resulta, naturalmente, em uma tendência de diversificação da linha de produtos com uma grande disponibilidade de versões de um produto da mesma família.

As cerca de 120 famílias de produtos subdividem-se em um leque variado de produtos a partir da combinação de diferentes componentes, configurando um total de 350 modelos. Cada modelo possui, em sua coleção, opções de diferentes cores dentre as mais de 800 já existentes no cadastro das estruturas de produto da empresa. Além disso, cada modelo/cor oferece uma grade de numerações, que em alguns modelos, vai desde os tamanhos infantis até as numerações adultas. Dada essa grande variedade de possibilidades, observa-se um número aproximado de 10.000 produtos disponíveis comercializados, que concorrem por capacidade produtiva. Adicionalmente, para atender a demanda, a produção é realizada em pequenos lotes, tornando complexa a atividade de programação.

Caracterizada por uma orientação de produção *make-to-order*, a empresa atende as demandas a partir de pedidos firmados pelos clientes. No entanto, para linhas de produtos de maior volume, e que se encontrem nas fases de crescimento e maturidade do seu ciclo de vida, são geradas ordens de produção baseadas em previsão de demanda para reagir de forma mais rápida ao mercado e utilizar mais eficientemente a capacidade produtiva. Na ocasião da entrada das demandas firmes, estas podem vir a ser atendidas pelo estoque já produzido ou por um lote gerado pela previsão de demanda. Caso o produto não esteja disponível em estoque ou em vias de ser produzido, os pedidos geram demandas em todas as unidades produtivas, desde as fábricas de componentes.

Os pedidos dão entrada na empresa através do setor comercial, que cadastra no sistema corporativo as informações dos produtos, cores e das grades de numeração sugeridas pelo cliente. Cada pedido entra no fluxo de informações como um macro pedido, composto por vários itens, e recebe um código. Cada item vai gerar um mini pedido com códigos sequenciais definidos em função do código do macro pedido. Cada mini pedido representa um determinado produto/cor e seus respectivos números e quantidades. A grade de numeração representa a proporção das numerações de cada mini-pedido, sendo que normalmente há uma demanda maior dos números centrais, conforme exemplo da Tabela 1. Além dos pedidos firmes, que já estão associados a um cliente, há os pedidos de reposição, os quais visam gerar estoques e são produzidos sem uma confirmação de venda.

Tabela 1 – Exemplo de demanda de um Mini-pedido com numeração masculina

	Produto/Cor						
Numeração	37	38	39	40	41	42	43
Quantidade	20	60	80	120	80	60	20

Fonte: Elaboração própria

Os pedidos firmes e de reposição representam mensalmente a ordem de 10.000 mini-pedidos, gerando demandas com entregas planejadas para o curto e médio prazo, além de pedidos sem data de entrega prevista, que podem ser faturados assim que produzidos. Cada mini-pedido possui uma proporção de numeração que pode apresentar grande variedade, dependendo do mercado e do cliente solicitante. Com o objetivo de minimizar esta variedade e ganhar escala produtiva, os mini-pedidos de mesmo produto/cor são agrupados, somando as quantidades. Eventualmente, se um mini-pedido não puder ser agrupado com outros e possuir uma proporção de numerações que inviabilize a produção, é sugerida ao cliente uma nova proporção que esteja mais adequada ao padrão de matrizes disponível. A possibilidade de realizar este ajuste depende do cliente e do mercado que está sendo atendido.

O agrupamento de demandas é realizado com base semanal, de modo que é avaliada a demanda firme e de previsão, definindo quais produtos devem ser produzidos a cada semana, em quais quantidades e proporções. As quantidades que podem ser produzidas em cada semana são determinadas considerando as restrições de ferramental

e de recursos, o compartilhamento do ferramental entre mais de um produto e as prioridades de embarque estabelecidas pelo setor comercial. No último período/semana de cada mês, a priorização dos pedidos busca viabilizar a produção e embarque dos pedidos com data para o mês corrente.

4.1.2 Planejamento Estratégico e Tático

A empresa possui seu planejamento estratégico e tático balizado por estratégias de liderança em custo ou diferenciação dependendo da linha de produtos e do volume produzido. Tendo em sua linha predominantemente produtos injetados, com alta produtividade, e que utilizam poliuretano e cloreto de polivinila em sua composição, busca competitividade a partir de baixos preços, com a oferta de uma grande variedade de cores e versões. Além destes, ocorre o posicionamento de produtos de menor volume, que buscam a diferenciação, sendo vendidos em mercados selecionados, associados a clientes e marcas de grife. Cabe salientar que parte significativa do volume produtivo da empresa é vendida com a marca dos clientes.

Tendo em sua base produtiva recursos caros e de alta produtividade, se faz necessário como parte do negócio da empresa o agrupamento de pedidos para alcançar uma quantidade que viabilize a produção. Observando esta necessidade e buscando ampliar o mercado, a empresa possui como estratégia comercial um baixo valor mínimo para colocação de pedidos, possibilitando atingir assim clientes de pequeno porte que juntamente com as grandes redes, compõem seu *market share*. Para que os pedidos de baixo valor possam ser viabilizados, se faz necessário o agrupamento como um lote mínimo de produção, tanto para faturamento, quanto para o embarque. Pedidos que não atingirem o valor mínimo tem sua prioridade dependente da disponibilidade de outros pedidos que possam ser agrupados para entrar em produção e serem faturados.

Além da busca por clientes de menor porte, a empresa ampliou seus mercados apesar da retração evidenciada pela crise econômica. Fazendo valer a sua maior estrutura, e ganhando competitividade frente a concorrentes de menor volume devido ao seu maior volume de produção e aos canais de vendas já difundidos, buscou a ampliação das vendas a partir do aumento de produtos/famílias que eram pouco representativos em cada mercado.

Por estar vinculada a um mercado que segue tendências da moda e da estação, a empresa lança constantemente novos produtos em substituição aos atuais. Os novos produtos normalmente são uma derivação dos atuais, podendo, assim, aproveitar a infraestrutura de ferramentas e processo, com poucos ajustes e melhorias. Por outro lado, o curto ciclo de vida dos produtos requer um gerenciamento eficaz da curva de cada produto/família, evitando a geração de estoques e produção excessiva dos produtos que estão em final de ciclo. Da mesma forma, observa-se como uma dificuldade da empresa a realização de um planejamento com base em previsão, visando garantir o atendimento a mercados de exportação com longos *lead times* de distribuição e possibilitar o planejamento adequado da capacidade produtiva.

Observa-se, como expectativa da empresa, que a programação realizada através da regra personalizada, inicialmente, leve as decisões estratégicas da empresa até os níveis operacionais, e, em um segundo momento, forneça informações que possibilitem a análise dos impactos de decisões que atualmente são tomadas apenas através do conhecimento e experiência dos gestores. Da mesma forma, decisões de atendimento a novos mercados ou de investimentos em capacidade, por exemplo, podem vir a ser realizadas com base no resultado de uma demanda de previsão submetida à regra de programação.

4.1.3 Planejamento Operacional e Programação

Com foco principal em realizar um planejamento eficaz do setor de injeção e replicar este plano para as demais plantas, o planejamento operacional é realizado a partir da avaliação agregada dos produtos e demandas que estão associadas a uma mesma família e que, por consequência, compartilham das mesmas restrições de processo. Com base na demanda agregada de cada família, é feito o dimensionamento preliminar dos recursos para posteriormente avaliar cada produto/cor, conforme detalhado a seguir.

Cada família divide-se em produtos representados por um código, cada qual com uma oferta de diferentes cores no catálogo e que, por fim, dividem-se em numerações, sendo que cada numeração está associada a uma ferramenta de injeção. Nesse sentido, os produtos de uma mesma família devem, necessariamente, ser vinculados no

planejamento, sobretudo por utilizar as mesmas matrizes de injeção, que, além de caras, restringem a capacidade de produção. Cada coleção de matrizes é dimensionada e produzida durante o desenvolvimento dos produtos, determinando a quantidade de ferramentas que estará disponível para cada numeração por ocasião da produção. Este dimensionamento avalia, também, que tipo de injetora deve ser utilizado, disponibilizando cerca de 20 matrizes para as injetoras de 18 estágios e 14 matrizes para injetoras de 12 estágios. Esta margem tem por objetivo permitir diferentes combinações de matrizes dependendo do mix da grade em cada período produtivo. Quando uma família tem demanda esperada que necessite de um número maior de injetoras, a oferta de matrizes é proporcional. Por exemplo, uma família que é atendida por cinco injetoras de 18 estágios, deve ter no mínimo uma matriz para cada posição, ou seja, 90 matrizes, além das matrizes extras para combinações. O número de estágios determina a capacidade de produção de pares por ciclo de máquina, ou seja, em uma injetora de 12 estágios a cada ciclo pode produzir 12 pares do mesmo produto com diferentes numerações.

Para definir o plano de produção, inicialmente as demandas firmes, com e sem data acordada, e a previsão de demanda fornecida pelo setor comercial, são distribuídas ao longo das semanas seguintes. Esta atividade visa realizar uma primeira distribuição do plano. Com demandas agregadas por família, é observada de forma simplificada a capacidade produtiva. Esta avaliação considera as demandas de todos os produtos/cores de cada coleção por número, sem levar em conta grandes variações de grade dentro de cada produto/cor, os quais reduzirão a produtividade da injeção. Com base em um número estimado de capacidade de cada coleção para cada semana, o plano de produção é ajustado, postergando e/ou antecipando quantidades de demandas agregadas. Estes ajustes não definem quais produtos, cores e números devem ser postergados ou antecipados. O critério para o ajuste é garantir o faturamento e o embarque, e, por consequência, o resultado da empresa.

Tendo como referência um planejamento sem a avaliação detalhada da grade de numerações dos produtos, e tendo na combinação de ferramentas fator determinante da eficiência produtiva, é realizado um dimensionamento macro dos recursos, observando quantas injetoras são necessárias para atender a demanda de cada coleção em cada semana do plano de produção. Nas situações em que o número de injetoras necessárias for maior que a disponibilidade de matrizes, o dimensionamento fica restrito à

disponibilidade das matrizes. Por exemplo, caso sejam necessárias duas injetoras com 12 matrizes cada para atender a demanda da semana, e esta coleção possua apenas 14 matrizes, o dimensionamento é de apenas uma injetora e estará se admitindo um atraso na entrega dos pedidos.

Com base no dimensionamento de injetoras para cada coleção, o programador da empresa realiza inicialmente uma análise agregada da quantidade de todos os produtos e cores que utilizam uma determinada coleção de matrizes. Com base nesta análise inicial, e calculando qual a matriz de injeção se tornará restritiva em relação às demais, o programador realiza através de uma planilha a análise pontual de cada uma das cores de cada produto, localizando novamente a matriz restritiva e ajustando a troca de matrizes de forma a gerar o mínimo de perda. Caso haja uma perda muito significativa, o programador tem a opção de aumentar as quantidades para gerar estoque. Observa-se que o ajuste das quantidades para definir a programação ocorre de forma empírica, havendo diferenças entre os resultados para dois programadores buscando solução para a mesma demanda.

O problema observado para gerar uma programação que garanta um bom aproveitamento tem origem em demandas que não se apresentam proporcionalmente a disponibilidade de ferramentas. No exemplo da Tabela 2, observa-se que a quantidade necessária está desproporcional para a disponibilidade de matrizes de injeção. Observando a quantidade total de 440 unidades a serem produzidas e considerando-se uma injetora giratória de 12 posições, conclui-se que 37 giros seriam suficientes para atender toda a demanda. Entretanto, a desagregação mostra que a numeração 40, por possuir apenas três matrizes, terá que realizar pelo menos 40 voltas para produzir 120 unidades. Todas as demais numerações possuem relações diferentes de demanda/matriz sendo a mais baixa de 20 unidades para uma matriz.

Tabela 2 – Exemplo de grade contendo a disponibilidade de matrizes de injeção

Numeração	Produto/Cor						
	37	38	39	40	41	42	43
Quantidade	20	60	80	120	80	60	20
Ferramental	1	2	3	3	3	2	1
Q/F	20	30	27	40	27	30	20

Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito ao controle, que completa o ciclo de planejamento e programação, a empresa tem apontamento em todas as fábricas, gerando a informação das quantidades produzidas. Atualmente, o apontamento é integrado diretamente ao ERP, apenas gerando informações que alimentam relatórios de acompanhamento, não havendo no fluxo a geração de informações que apóiem o replanejamento com base na produção realizada.

4.2 Concepção da Solução

Inicialmente foram discutidas as expectativas da empresa e os objetivos que deveriam ser atendidos pelo resultado da regra de programação. Os objetivos observados possuem uma significativa correlação, iniciando por uma melhoria ao determinar os períodos de produção das famílias de produtos ao gerar o plano de produção, seguida de um maior horizonte de programação, que possibilite melhoria no planejamento de suprimentos. Da mesma forma, objetivou-se um balanceamento adequado dos embarques, em vista de que estes se concentravam principalmente nos últimos 10 dias do fechamento do mês. Relacionado a este, está o objetivo de redução dos estoques, o qual foi alcançado pela programação das demandas produtivas de acordo com as prioridades de embarque, visando combinar os produtos que compõem os pedidos que podem ser embarcados.

A situação observada na empresa evidencia uma necessidade de aprimorar o gerenciamento das atividades de injeção direcionando os esforços da regra de programação para o compromisso entre eficiência de produção e garantia de embarque. Dessa forma, busca-se alavancar o resultado da empresa a partir de uma melhor eficiência operacional, redução de estoques e melhoria no embarque dos pedidos. Para

tanto, foram necessárias diversas alterações tanto no ERP quanto no APS, além do desenvolvimento da heurística de programação da regra personalizada e das mudanças de procedimentos em diversos setores da empresa. Observa-se que a regra de programação utiliza-se de regras básicas de programação, como programação para frente, com critérios de priorização definidos por regras de negócio. Estas lógicas associadas a informações específicas de programação de injetoras rotativas, como a produção de diversos itens simultaneamente, serviram de base para iniciar o desenvolvimento da regra de programação. O detalhamento das lógicas e formas de programar as demandas foi definido nas etapas de desenvolvimento e simulação, esta última visando o aprimoramento do modelo.

Em se tratando do sistema corporativo da empresa, observa-se a necessidade de preparação dos cadastros contendo informações para a programação através da regra personalizada, além de rotinas de preparação, organização e exportação das informações contidas no mesmo. Inicialmente, foram gerados, a partir do ERP, basicamente informações dos pedidos, estoques, recursos, grupo de recursos, ferramentas, de produtos e suas estruturas, previsão de demandas e apontamento. Foram também preparadas no ERP customizações para efetivar a programação gerada pelo APS, gerar os lotes de expedição e gerar demandas de componentes para as demais fábricas da empresa.

As informações necessárias para a integração entre os sistemas ERP e APS foram disponibilizadas através de arquivos texto, de forma a aproveitar funcionalidades já disponíveis no ERP, reduzindo o custo e o tempo de integração por parte da empresa. Dessa forma, os arquivos texto contendo as informações foram disponibilizados em um local determinado no servidor de dados da empresa, e posteriormente importados para um banco de dados SQL (*Structured Query Language*) entre o ERP e o APS de acordo com a Figura 13. De posse das informações de estoque, pedidos, previsão de demanda e períodos produtivos referentes a um horizonte de cinco a seis semanas, rotinas especiais realizaram o processamento do plano mestre de produção que é disponibilizado ao APS.

O tratamento de dados para gerar o plano mestre de produção é detalhado na etapa seguinte. O plano mestre, associado aos recursos, grupos de recursos, ferramentas e períodos importados para o APS são as informações necessárias para gerar a

programação fina da produção utilizando a regra personalizada de programação. A regra de programação determina, para as demandas de cada família de produtos, uma solução de programação para cada período. Por fim, a programação fina gerada retorna para o ERP para associar aos pedidos as demandas futuras programadas no APS.

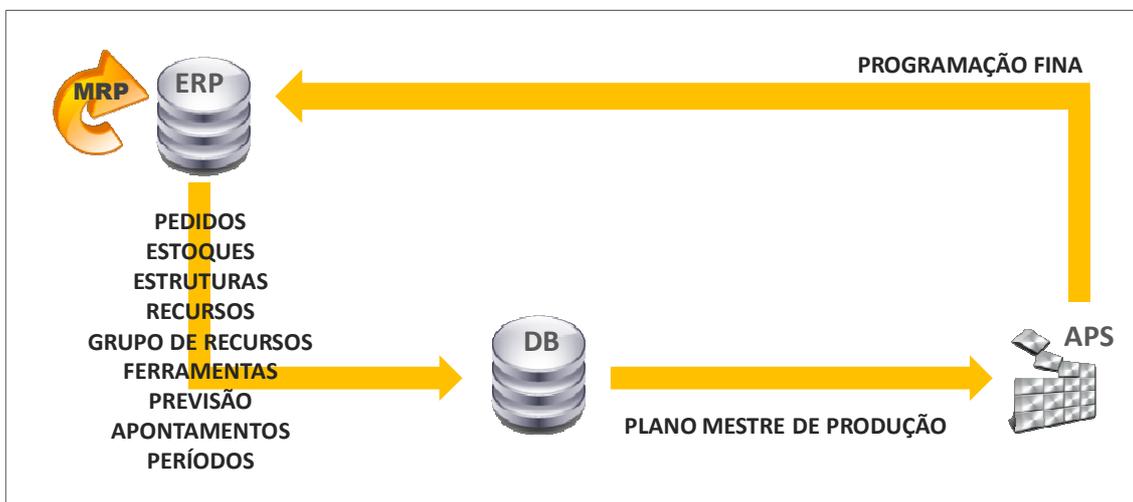


Figura 13 – Fluxo de informações

Fonte: Elaboração própria

Para o recebimento das informações por parte do APS foram desenvolvidas inicialmente rotinas de importação e tratamento de dados para manter as informações de capacidade e restrições de processo sempre atualizadas e sincronizadas com o banco de dados intermediário e, por consequência, com o ERP. Além disto, foram desenvolvidos relatórios para análise e alteração da carteira de demandas, possibilitando realizar uma crítica ao plano mestre antes de submetê-lo à regra de programação. A regra de programação, foco principal deste estudo, foi desenvolvida utilizando linguagens de programação e associada ao APS para o uso no quadro de programação de *Gantt* do mesmo. Por fim, foram preparadas as lógicas e rotinas de exportação do APS para o ERP contendo o resultado da programação.

4.3 Desdobramento da solução e especificação

Com base nos levantamentos bibliográficos apresentados no capítulo 2 e no entendimento dos processos, partiu-se para o desdobramento da solução e especificação.

Nesta etapa foram definidas as premissas para desenvolvimento da regra de programação e demais requisitos de funcionamento da solução de programação.

Para formação da carteira de pedidos foram considerados todos os pedidos que não possuíam nenhum bloqueio relativo ao valor mínimo. Nos casos de bloqueio, os pedidos foram planejados no final do sequenciamento podendo vir a serem priorizados por ocasião de uma regularização. A seleção dos mini-pedidos que compõem a carteira de cada pedido deve necessariamente sofrer uma crítica por parte do APS para evitar que sejam disponibilizadas demandas superiores à capacidade de cada período. Além disso, apresenta-se de forma visual, a demanda de cada período com base na demanda firme e na previsão de vendas, possibilitando a avaliação dos pedidos atendidos.

Os critérios de embarque seguem os mesmos critérios de sequenciamento, determinando a produção, agrupamento e priorização dos conjuntos de pedidos que possam ser faturados e embarcados simultaneamente. O APS deve estar apto a determinar as faixas de embarque de acordo com os pedidos de cada período atendido no sequenciamento. Da mesma forma, a confirmação dos pedidos atendidos pela programação é realizada no próprio APS e refletida no ERP para posterior análise crítica de materiais. Esta confirmação determina o atendimento dos produtos programados de acordo com as prioridades estabelecidas.

Observam-se como premissas para o uso da regra de programação customizada desenvolvida no APS: (i) considerar as demandas de cada família, com a programação das demandas de cada período separadamente; (ii) possibilitar a programação de cada família ou grupo de máquinas separadamente, com avaliação da disponibilidade de recursos de acordo com o grupo de máquinas associado ao conjunto de ferramentas; (iii) considerar a grade de numeração, com a quantidade de cada número, otimizando o uso das posições da injetora e a disponibilidade de moldes; (iv) considerar a perda de produtividade por ocasião da troca de numeração; (v) determinar um tempo de *setup* com produtividade zero por ocasião de troca de cor e/ou produto. Observa-se que as premissas descritas foram definidas juntamente com a empresa deste estudo e tem como objetivo estabelecer as referências básicas para o desenvolvimento da regra.

A regra de programação foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira considerou-se uma demanda fixa para geração do sequenciamento. Esta etapa teve como

objetivo validar os desenvolvimentos com foco na injetora. Na segunda etapa, a demanda foi fornecida dinamicamente pela regra de sequenciamento de pedidos (foco nos resultados). Isso se fez necessário para possibilitar o amadurecimento das lógicas operacionais, antes de considerar as lógicas de negócio. Uma vez definida a programação do produto na injetora, uma rotina transforma as operações unitárias de injeção em um programa de produção agregado.

O funcionamento da solução de planejamento e programação inicia-se com a integração dos dados disponíveis no ERP. Conforme pode ser observado na Figura 14, o fluxo inicia-se com a geração das posições atualizadas de pedidos, estoques, estruturas de produto, recursos, grupo de recursos, ferramentas, previsão de demanda, apontamentos e períodos produtivos.



Figura 14 – Funcionamento da solução

Fonte: Elaboração própria

A partir das informações do ERP, inicialmente os pedidos são classificados de acordo com suas prioridades e associados aos períodos produtivos. A seguir, são alocados os estoques, reduzidas as quantidades e determinada a demanda que deve ser produzida. Com a demanda líquida a ser produzida em cada período, é calculado o plano mestre de produção através da distribuição das demandas nos períodos produtivos, considerando as priorizações, restrições de embarque, restrição de calendário e agrupamento das demandas que possam ser faturadas simultaneamente. O plano mestre é disponibilizado no banco de dados SQL e importado para sequenciamento no software APS através da regra de programação. A integração foi

desenvolvida desta forma para permitir que as rotinas para geração do plano de produção pudessem ser executadas de forma independente do APS.

O APS determina o sequenciamento das demandas produtivas, considerando todas as restrições do processo produtivo, as diferentes eficiências e a real disponibilidade das matrizes de injeção e dos recursos produtivos. Depois de sequenciados, são gerados os programas de produção, contendo as quantidades de cada produto/cor, o início e fim de produção, o recurso e a quantidade de ferramentas utilizadas. Estas informações são exportadas para o banco SQL para posteriormente serem importadas pelo ERP, o sistema corporativo da empresa recebe os dados da demanda programada e realiza a análise da disponibilidade de matéria prima através do MRP, e determina a geração de programas produtivos para as demais unidades da empresa.

4.4 Desenvolvimento dos Softwares e Modelagem

Foram detalhadas neste item apenas as customizações que foram utilizadas para gerar as informações utilizadas na programação. Estes desenvolvimentos foram realizados essencialmente no banco de dados de integração e no APS e seguem a mesma lógica apresentada previamente na Figura 14.

O desenvolvimento do plano de produção foi realizado incorporando rotinas personalizadas ao banco de integração. Depois de concluída a importação das informações geradas pelo ERP, estas rotinas são acionadas automaticamente distribuindo a demanda firme e de previsão nos períodos determinados pelo ERP e com base nas datas de cada mini-pedido. Os pedidos devem ser priorizados de forma a garantir que os diversos mini-pedidos que compõem um pedido sejam planejados para o período de embarque ao qual estejam associados. Inicialmente utilizaram-se como critérios de distribuição do plano: o período de embarque, a data de compromisso, se é ou não um produto promocional, a prioridade do produto, a prioridade da marca, a restrição de faturamento, o maior volume de itens atrasados e, por fim, a data do pedido. Estes critérios foram definidos com o acompanhamento da equipe comercial da empresa e inicialmente não poderão sofrer interações manuais. Por ocasião da simulação de uso avaliou-se a necessidade de desenvolvimento de uma interface para ajustar o plano de produção por parte do planejamento antes de enviar para o APS.

A atualização das posições de estoque deve ser realizada diariamente pelo ERP. O consumo do estoque de produtos acabados disponível para expedição e embarque deve seguir a mesma priorização dos pedidos durante o sequenciamento. Dessa forma, com o ciclo completo de planejamento e programação, garante-se que os pedidos atendidos pelos itens produzidos são os mesmos que foram inicialmente priorizados no plano de produção e na programação.

A partir da nova sistemática de planejamento, o sequenciamento estabelece que os pedidos tanto do mercado interno quanto externo passam a disputar recursos na fábrica, sendo programados simultaneamente e agregados para melhorar a utilização dos recursos. Além disso, os pedidos que não possuem data de compromisso e que podem ser embarcados e faturados assim que estiverem concluídos, devem receber prioridade de programação no momento de escolher pedidos para preencher espaços na programação. Essa regra foi assim definida pois utiliza a capacidade produtiva para gerar produtos com potencial de retorno financeiro imediato. Por fim, a priorização deve garantir a produção de todos mini-pedidos que compõem o pedido, garantindo assim que sejam concluídos próximo ao embarque.

O desenvolvimento da regra de programação foi realizado em dois momentos distintos. Inicialmente, buscou-se desenvolver uma lógica que gerasse um resultado adequado ao padrão de alocação utilizado pelos programadores da empresa, a partir de uma demanda de produto/cor e suas respectivas quantidades por numeração, minimizando o número de ciclos da injetora. Com foco em uma injetora, esta lógica serve de base para o segundo momento, quando são desenvolvidas alocações para múltiplas injetoras e avaliações de alocação já com carga em máquina. Ambas as fases de desenvolvimento foram submetidas à análise por parte do PCP da empresa; melhorias ao longo das etapas de testes e validações foram realizadas paralelamente ao desenvolvimento e foram detalhas na próxima seção.

A geração dos programas de produção ocorre depois de realizada a programação. Este desenvolvimento visa estabelecer a divisão das demandas com tempos menores de produção, visando o planejamento dos suprimentos em lotes menores. Os programas gerados pelo APS devem respeitar uma regra de tempo máximo de 24 horas e tempo mínimo de 6 horas para os programas, a menos que a demanda não seja suficiente para 6 horas. Essa desagregação permite, por exemplo, que uma demanda

de cinco dias de produção seja fracionada em cinco partes, e solicitada para as fábricas de componentes em quantidades menores, permitindo o equilíbrio no fornecimento às fábricas de injeção.

4.4.1 Rodada de Testes 1

Na primeira rodada de testes e validações foi realizado o acompanhamento do andamento e planejamento das atividades do projeto, a apresentação da modelagem de APS com a regra personalizada, simulações com o modelo inicial da regra de programação das matrizes de injeção, detalhamentos técnicos de integração entre os sistemas e fechamento das definições da rodada.

Inicialmente discutiram-se as pendências quanto aos arquivos. Observou-se que o arquivo de pedidos apresentava-se incompleto, necessitando de ajustes para a próxima rodada. Quanto ao arquivo de previsão de demanda, não havia sido desenvolvido, ficando a primeira versão também para a segunda rodada de testes. Os demais arquivos foram gerados de forma satisfatória, porém, para iniciar os testes com o plano de produção, o arquivo de pedidos deve estar completo. De outra forma, não é possível avaliar se a distribuição do plano de produção está adequada.

Foi realizada a apresentação da modelagem do software APS com as interfaces para recebimento das informações importadas do ERP. Após detalhada a modelagem, partiu-se para apresentação do modelo de programação de injeção. Após a avaliação do modelo, a empresa solicitou a criação de um parâmetro de sequenciamento que permita ajustar os tamanhos mínimos e máximos dos programas de produção gerados. Esta alteração foi incorporada a regra de programação de modo que, depois de programados, os registros eram divididos para respeitar os tempos máximos e mínimos. Esta alteração foi implementada na segunda rodada de testes e teve como objetivo gerar um maior número de lotes, liberando quantidades parciais para embarque em no máximo um dia (tempo máximo).

Para os primeiros testes com a modelagem, foi utilizado um produto com demandas inseridas através de digitação manual no APS, ou seja, sem a integração com o ERP. Para tanto, foi escolhida pelo programador da empresa uma demanda conforme segue na Tabela 3. Esta demanda refere-se a seis numerações iniciando com o número

34 e terminando com o número 39, sendo que cada número possui uma quantidade diferente que deve ser produzida considerando a quantidade de ferramentas disponível para cada numeração.

Tabela 3 – Exemplo de demanda utilizado para o primeiro teste do modelo da regra

Produto A – 1ª Rodada de Testes						
Numeração	34	35	36	37	38	39
Quantidade	1549	2383	2899	2372	1202	525
Ferramental	2	2	4	3	2	1
Q/F	775	1192	725	791	601	525

Fonte: Elaboração própria

Observando a Figura 15, no eixo vertical estão representados os recursos e no eixo horizontal o tempo. À medida que a programação é realizada, o tempo disponível dos recursos é ocupado por retângulos que representam as operações. No exemplo da Figura 15, observam-se diferentes cores para cada operação programada, cada cor da figura representa uma numeração alocada na injetora. Além disso, considerando-se que o produto A possui uma coleção de matrizes dimensionada para uma injetora de 12 matrizes, estão representadas no eixo dos recursos as 12 posições de injeção.

Na solução encontrada pela regra de programação, observa-se que a numeração 35 é alocada nas posições três e quatro. Observa-se, também, que a mesma tornou-se restritiva, devido à proporção entre demanda e matrizes de injeção. Nesse sentido, as demais posições encerram a produção antecipadamente, gerando perda de capacidade e matéria-prima. Diferentes soluções de programação para a mesma demanda apenas poderiam ser obtidas com variações da quantidade produzida ou das quantidades de ferramentas disponíveis.

De acordo com o parecer da empresa, a solução gerada pelo primeiro modelo da regra de programação do APS apresentou-se satisfatória. Observa-se como elemento de validação nesta etapa a comparação da programação gerada APS com a gerada pelo programador em planilha, observando-se a alocação, quantidades, troca de molde, tempo total e perda de capacidade por redução de molde de injeção.

Além disso, foi discutida a partir do resultado da programação, a aplicação de um percentual de incremento na quantidade programada para garantir a quantidade desejada de produtos, compensando padrões de perdas do processo. Até a segunda rodada foram avaliados padrões para definir os níveis adequados de incremento. Além disso, fica determinado pela empresa que o tempo de *setup* para iniciar a produção de uma máquina deve ser zero, pois foi tratado como *setup* externo e pode ser realizado antes da entrada do produto em produção.

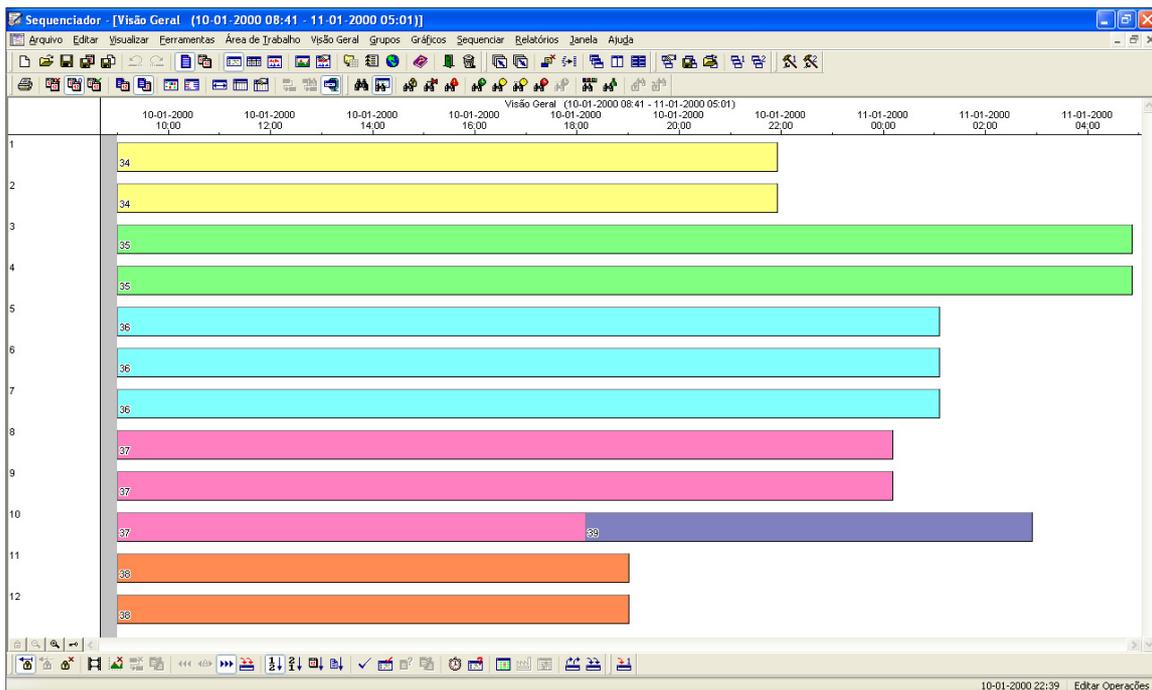


Figura 15 – Solução de programação do produto A

Fonte: Software Preactor APS

Com base nas observações realizadas na primeira rodada de testes, foram determinadas ações para desenvolvimento de ajustes visando a evolução da integração e do modelo de programação. Para a segunda rodada de testes planejou-se a integração completa dos arquivos gerados pelo ERP e apreciação das lógicas para planejamento e priorização das demandas através do plano de produção. Além da evolução do modelo de regra de programação, foi aprimorada para contemplar a programação de múltiplas injetoras.

Descrição da Atividade	Status
Acompanhamento das atividades do projeto	OK
Apresentação da modelagem inicial da empresa	OK
Apresentação do modelo de programação de injeção	OK
Simulação com o modelo inicial da regra	OK
Detalhamento técnico da integração	OK
Avaliação dos arquivos de integração	OK
Demonstração das interfaces de integração	OK
Testes com o algoritmo da regra para um produto específico	OK
Simulação com o plano de produção	Replanejada

Figura 16 – Resumo das atividades da Rodada de Testes 1

Fonte: Elaboração própria

4.4.2 Rodada de Testes 2

A segunda rodada de testes e validações iniciou realizando-se o acompanhamento do andamento e planejamento das atividades do projeto. Além disso, foram discutidas as regras de consumo de estoques e sequenciamento da demanda, alterações necessárias nos arquivos de integração e, por fim, a regra de programação de matrizes. Observa-se que, para cada rodada, ocorre a programação a evolução da regra de programação desenvolvida em *Visual Basic*, melhorando as funcionalidades testadas e incorporando novos tratamentos a diferentes tipos de situações de programação.

No que diz respeito à regra de consumo de estoques de produto acabado, definiu-se que a mesma deve seguir a regra de priorização de pedidos estabelecida no ERP e que serve de base para cálculo do plano de produção. Para consumir os estoques, as rotinas de geração do plano de produção devem avançar sobre a demanda em carteira até encontrar um pedido que possa ser atendido totalmente, excluindo o mesmo dos pedidos em planejamento.

Definiu-se em reunião com os programadores da empresa que, para determinar o sequenciamento de produtos que minimize o *setup*, deve-se considerar na programação a tonalidade da cor dos produtos ao invés da cor, devido a ser mais representativa em termos de tempo de acerto. Foi elaborada no APS uma tabela de pigmentos com o ranqueamento dos pigmentos disponíveis e a sequência ideal de produção.

Também após os testes realizados com a regra de sequenciamento, considerando uma carga já alocada nas máquinas, foi determinado pelo PCP da empresa que a mesma

deverá analisar a fila de produtos do período para analisar se algum deles já está em produção. Nos casos positivos, o APS procura deixar este recurso disponível para o momento em que o produto entrar em produção de acordo com a sua posição na fila dentro do período, de modo a garantir um menor número de troca de coleções na programação. Além disso, a regra distribui os produtos nos períodos de acordo com a demanda e os limites máximos de produção por período, ajustando as quantidades a serem produzidas no período respeitando a quantidade mínima de produção por produto, e complementando, quando necessário, com demanda de pedidos sem data ou de previsão de demanda.

Em relação aos objetivos estabelecidos na primeira rodada de testes, não foi possível a realização completa das integrações em virtude do atraso no desenvolvimento e na necessidade de alteração dos arquivos de integração. Este objetivo foi mantido para terceira rodada, com a realização de um fluxo completo de integrações e evolução da regra de programação. Como objetivo para a terceira rodada de testes, foram planejados, o desenvolvimento de relatórios para gerenciamento de produção e avaliação do resultado da programação.

Descrição da Atividade	Status
Acompanhamento atividades do projeto	OK
Avaliação da regra de consumo de estoques e sequenciamento das demandas	OK
Ranqueamento dos pigmentos e sequência ideal de produção	OK
Definidas regras para o algoritmo da regra de programação	OK
Rodada completa de testes com a integração	Replanejada
Testes com o algoritmo da regra para diferentes produtos	OK

Figura 17 – Resumo das atividades da Rodada de Testes 2

Fonte: Elaboração própria

4.4.3 Rodada de Testes 3

A terceira rodada de testes e validações envolve a última fase antes da simulação de uso. Conforme descrito nas duas rodadas anteriores, houve um atraso na geração das informações do ERP. Em vista disso, planejou-se para esta fase a realização de um fluxo completo de integração com importação dos dados, geração do plano de produção, programação e retorno para o ERP para planejamento de materiais. O ajuste fino da solução foi realizado ao longo da simulação, com foco nos resultados, melhoria do uso e aprimoramento de funcionalidades.

Foi observado, por ocasião da avaliação dos arquivos de integração, que o arquivo contendo as informações de produtos não possuía filtro para registros antigos, trazendo, assim, um grande volume de códigos de produtos já desativados, aumentando significativamente o volume de dados processados. Para os testes desta rodada o arquivo foi editado manualmente excluindo os registros antigos. Também se observou a necessidade de ajuste no cadastro de grupos de máquinas para separar dois tipos de injetoras que atendem a grupos de produtos diferentes. Foram criados dois códigos diferentes, de modo que os produtos associados a esse novo grupo de recursos tiveram seu cadastro revisto. Ainda em relação a cadastro, foram levantados os produtos ativos que ainda não tiverem seu cadastro de matrizes revisado.

Ainda em relação à integração, observou-se que os arquivos não estavam de acordo com o solicitado. A lógica de geração do arquivo de estruturas de produto não estava analisando corretamente os níveis do produto para listar os códigos de produtos injetados e a estrutura até o nível adequado. Esta inconsistência gerava demandas incorretas nas quantidades, e em desacordo com o que se observava nas planilhas do PCP, dificultando a validação e comparação da programação. Esta alteração foi encaminhada ao desenvolvimento e foi reavaliada a lógica de geração do arquivo. A busca passou a ser feita a partir do plano de MRP, que inclui pedidos firmes e previsão, evitando que algum produto ficasse fora do arquivo. Somente depois desta análise inicial foram aplicados os demais filtros e lógicas para trazer a informação necessária para o cálculo do plano de produção.

Após as discussões acerca da geração das informações, partiu-se para definição dos parâmetros de programação. São eles: (i) lote mínimo de produção para geração de um programa em um período, por produto; (ii) a opção de liquidar carteira por produto, para identificar se o sistema deve planejar toda a quantidade de um produto para o próximo período ou distribuí-la ao longo dos períodos; (iii) quantidade máxima de trocas de matrizes simultâneas, por grupo de máquinas; (iv) aproveitamento mínimo de matrizes aceitável, estabelecendo um percentual de molde reduzido por programa/documento; (v) número mínimo e máximo de horas por programa (este parâmetro é um parâmetro genérico da regra). Estes parâmetros foram ser incorporados à regra programação para a simulação de uso, permitindo avaliar diferentes resultados e cenários de programação.

O primeiro relatório gerencial desenvolvido no APS apresenta as informações conforme Tabela 4. Este relatório permite uma análise importante da programação com avaliação da quantidade programada de cada produto em cada período. Este relatório, se comparado ao plano de produção, oferece uma informação sobre a ocupação da fábrica e a quantidade real planejada de cada produto. Lembrando que o plano de produção pode estabelecer para a programação uma quantidade superior à quantidade factível de ser produzida, este relatório apresenta o resultado do plano submetido à capacidade dos recursos e ferramentas.

Tabela 4 – Exemplo de ocupação por período x produto

Ocupação por período/produto				
Produto	P1	P2	P3	P4
Produto A	9985	0	10240	0
Produto B	19430	20722	20152	19275
Produto C	5230	5079	4995	5187

Fonte: Elaboração própria

O segundo relatório apresentado estabelece, para cada período, o volume financeiro ou potencial de faturamento associado a um número de pares a produzir por período e por produto, conforme Tabela 5. Com esta informação gerencial atualizada dinamicamente com base na programação, é possível priorizar as quantidades que mais trancam o embarque, promover o ajuste fino da programação e maximizar o faturamento. Este relatório relaciona todas as demandas programadas, avaliando quais estão atrasadas em relação ao período produtivo, impedindo que os demais produtos do mesmo pedido sejam faturados. É importante ressaltar que este relatório realiza uma avaliação das demandas antes de serem produzidas, permitindo antecipar aquelas que causam restrição ao embarque, sobretudo do próximo período produtivo, ou seja, P1.

Tabela 5 – Exemplo do volume financeiro bloqueado por produto e por período

Volume financeiro bloqueado por período/produto			
Produto	Período	Qtd. Necessária	R\$ Bloqueado
Produto A	P1	70	50.000,00
Produto A	P2	30	22.300,00
Produto B	P1	350	137.000,00
Produto B	P2	655	42.432,00
Produto C	P1	120	75.576,00
Produto C	P2	243	14.978,00
Produto C	P3	354	6.813,00

Fonte: Elaboração própria

Nesta terceira rodada realizaram-se testes com o objetivo de estabilização do resultado da regra de programação, gerar registros de erros para posterior análise e tratar as situações observadas juntamente com os programadores da empresa. Além disso, para melhorar o resultado da programação, passou-se a realizar a aproximação do resultado da programação através de interações com aumento da quantidade máxima por posição de injeção, visando minimizar a perda e atender as regras de negócio com tamanhos máximos e mínimos dos programas de produção. A partir do momento que o resultado apresenta uma solução com maior perda, retorna-se para solução anterior, realiza-se a alocação no recurso e segue-se para o próximo produto/cor. De forma interativa e gerando diversos recortes, a regra personalizada localiza uma solução de programação para cada produto/cor. A partir disso, iniciou-se a simulação de uso já com o algoritmo necessitando de ajustes mínimos e com a estrutura principal já consolidada.

Descrição da Atividade	Status
Avaliação dos arquivos de integração	OK
Fluxo completo de integração	Replanejada
Avaliação das pendências de revisão de cadastro	OK
Avaliação do plano de produção	OK
Definidas regras para o algoritmo da regra de programação	OK
Testes de estabilização do resultado da regra de programação	OK
Apresentação dos relatórios gerenciais desenvolvidos	OK

Figura 18 – Resumo das atividades da Rodada de Testes 3

Fonte: Elaboração própria

4.5 Simulação

A partir do ajuste das demandas e correções observadas na última rodada de testes, foi iniciada a simulação de uso da solução. A simulação de uso compreende um momento do desenvolvimento da solução de programação em que os planejadores e programadores da empresa fazem uso das funcionalidades e interfaces desenvolvidas, validando resultados e sugerindo melhorias e correções que possam ser necessárias. Após a simulação de uso foi realizado o *start-up* e acompanhamento do uso da regra de programação.

São detalhadas a seguir as avaliações e simulações realizadas nas duas fases de simulação previstas e que determinaram o ajuste fino dos resultados e interfaces para utilização da solução completa por ocasião do *start-up*.

4.5.1 Primeira Simulação de Uso

A primeira rodada de simulação de uso iniciou com o planejamento das atividades juntamente com a equipe do projeto. Definiu-se que seriam realizadas ao longo da simulação diversas rodadas, envolvendo todos os programadores e analisando a adequação da regra de programação aos produtos. Para cada programador, inicialmente foram definidos os produtos e os cenários a serem avaliados e posteriormente realizaram-se os testes e simulações. A avaliação do resultado da regra ocorre a partir da comparação com a mesma gerada em planilha, observando-se novamente a alocação, as quantidades, troca de molde, tempo total e perda de

capacidade por redução de molde de injeção. Ao final, realizou-se uma avaliação geral com todos os programadores para discutir questões de interesse comum.

Além da simulação em si, foram avaliadas as pendências observadas ao final do desenvolvimento e foi detalhado o ambiente necessário para simulação. No que diz respeito aos arquivos de integração, foram desenvolvidos os ajustes no funcionamento da importação e exportação entre o APS e o ERP, com correção das informações dos arquivos de previsão e de estoque. Além disso, foi preparada a modelagem com a importação das informações e incorporados os relatórios de análise, que foram utilizados para avaliação da simulação de uso. No que diz respeito à infraestrutura, foi feito para a segunda simulação um dimensionamento de atributos técnicos da base de dados relativos ao processamento e volume de dados necessário para o servidor da empresa. Em virtude disso, a primeira simulação foi realizada em ambiente de desenvolvimento.

Dando início à simulação propriamente dita, preparou-se o ambiente de planejamento, avaliou-se o relatório de análise do plano de produção para validação do primeiro cenário de planejamento. Conforme pode ser observado na Figura 19, o relatório apresenta, por produto e por período, a quantidade planejada de forma agregada. Por exemplo, para o período compreendido entre vinte e cinco de junho e primeiro de julho tem-se a demanda de 10527 pares do produto dois, 21538 pares do produto três e assim sucessivamente para todos os produtos. Este relatório apresenta, nas linhas, os produtos, e nas colunas os períodos. Por exemplo, a quinta coluna tem o período compreendido entre catorze de julho e dezenove de julho com um total de 39395 pares e cinco produtos, os quais possuem as quantidades detalhadas a seguir. Este relatório permitiu aos planejadores observar o resultado do plano de produção. Definiram-se como melhorias para a segunda simulação de uso alterações que permitissem detalhar as informações por cor e, para cada cor, as numerações correspondentes. Por fim, foi solicitada uma interface que permita aos planejadores interagir com o plano de produção, antecipando e postergando as demandas de acordo com a necessidade, evitando produzir quantidades muito pequenas de uma determinada cor. Observou-se, no entanto, que as postergações no plano deveriam observar o relatório de faturamento evitando que uma quantidade pequena impedisse o embarque, e da mesma forma as antecipações deveriam considerar a capacidade produtiva e a disponibilidade de matéria prima.

Para a simulação da regra de injetoras, dividiu-se a programação em dois grupos: coleções de matrizes que atendem a uma ou duas injetoras e coleções de matrizes que atendem a múltiplas injetoras (podendo chegar até a cinco nas famílias de produtos de grande volume de produção). A programação para uma ou duas injetoras foi realizada com sucesso, seguindo os modelos já validados em testes anteriores. Observou-se, como um dos pontos chave da programação de duas injetoras, o correto balanceamento das numerações e quantidades de matrizes utilizadas em cada injetora, evitando, quando possível, a troca de matrizes de uma para outra.

Programação por Produto					
PRODUTOS	Jul/2009				
	25/06 01/07	02/07 07/07	08/07 13/07	14/07 19/07	20/07 26/07
	01	02	03	04	05
Total Pares	52.325	31.887	34.617	33.395	31.776
Total Produtos	5	3	4	5	3
Produto 1					
Produto 2	10.527	6.057	6.264	6.512	6.036
Produto 3	21.538	17.389	17.332	18.010	17.283
Produto 4	759		2.082	23	
Produto 5	9.323			267	
Produto 6	10.178	8.441	8.939	8.583	8.457

Figura 19 – Exemplo do plano de produção

Fonte: Software Preactor APS

Para a simulação com múltiplas injetoras utilizou-se um produto de grande volume produtivo, visando observar a distribuição das matrizes e numerações através das injetoras. Conforme a Figura 20, a regra de programação utilizou quatro injetoras para atender a demanda do período. A partir das quantidades de cada numeração, foi observada a seguinte distribuição: na primeira foram alocados os pares com numeração 23/24 e 25/26; na segunda o restante dos pares 25/26 e demandas das numerações 27/28 e 29/30; na terceira foram programadas as demandas das numerações 29/30 e 31/32 e por fim, na quarta programou-se o restante do 31/32. De acordo com a avaliação do PCP da empresa, a regra de programação utilizou corretamente as matrizes, com uma distribuição limitada pela matriz gargalo de cada agrupamento de numerações, e programando corretamente as trocas de matrizes, quando necessárias. Além disso, garantiu redução das perdas produtivas, mensuradas através da quantidade de matéria prima e capacidade perdida.

Na Figura 20, observa-se que cada cor no quadro de programação está associada a um diferente pigmento do produto, enquanto as barras pretas localizadas entre as barras coloridas representam os tempos de *setup* de cor e pigmento. Observa-se que mesmo entre as diferentes cores dos produtos há significativa diferença de demanda, podendo não haver demanda de um determinado número central da grade para um período; neste caso, a regra deixa de programar na injetora correspondente a numeração sem demanda. Concluindo, o modelo de programação observado distribui as demandas de forma vertical, de modo que um mesmo produto é programado em quatro injetoras simultaneamente, separando a demanda pelas diferentes numerações.

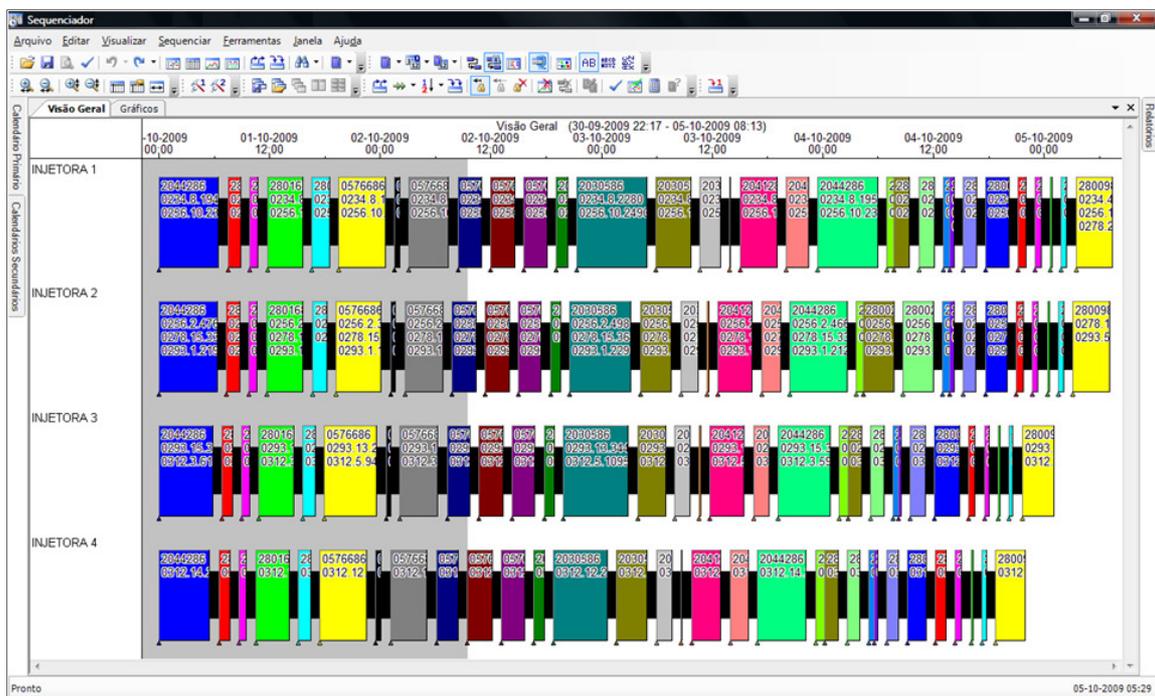


Figura 20 – Solução de programação para múltiplas injetoras

Fonte: Software Preactor APS

Visando produzir por antecipação e aproveitar a capacidade ociosa de coleções que têm uma grande demanda prevista e são conhecidas pelo alto volume de produção, foi solicitada pelos programadores uma funcionalidade que realizasse o complemento para estoque, aumentando a quantidade em cada posição de injeção até completar a quantidade com maior número de giros da injetora. Este complemento deve ser utilizado de forma pontual e com moderação, pois gera estoque de produtos que não é embarcada no período posterior.

Não foi realizada, na primeira simulação de uso, a validação dos dados referentes a quantidades a produzir e demandas de previsão em função de problemas com os arquivos de integração gerados pelo ERP. Estas inconsistências não prejudicaram a simulação, a qual possui o foco no resultado da programação para diferentes demandas.

4.5.2 Segunda Simulação de Uso

A segunda simulação de uso iniciou-se com a avaliação das pendências observadas na 1ª simulação. As quantidades geradas tanto para previsão de demanda quanto para quantidade em estoque foram validadas pelos planejadores da empresa e encontraram-se de acordo com as informações geradas no ERP. Nesta simulação determinou-se como essencial a realização do fluxo completo de integração, bem como de planejamento e programação, desde a avaliação do plano de produção até a programação de todas as injetoras. Para tanto, foi necessário testar todas as informações geradas, além do funcionamento das interfaces e lógicas do APS e da regra de programação.

Para permitir aos programadores avaliarem a demanda de forma detalhada, foram desenvolvidos relatórios complementares. O primeiro apresenta, para um determinado produto por período, a quantidade atrasada, a quantidade planejada que já possui data de entrega acordada com o cliente, a quantidade planejada sem data acordada e, por fim, a quantidade planejada que atende a previsão de demanda. Esta visão permite aos planejadores o entendimento da composição do plano de produção enviado para a regra de programação. O relatório com exemplo do plano de produção de um produto pode ser observado na Figura 21.

Programação Aberta por Produto						
PRODUTO		Jul/2009				
		25/06 01/07	02/07 07/07	08/07 13/07	14/07 19/07	20/07 26/07
		01	02	03	04	05
Produto 3		21.538	17.389	17.332	18.010	17.283
Carteira Atrasada Data		0	0	0	0	0
Carteira Com Data		72	120	60	732	0
Carteira Sem Data		4.200	0	0	0	0
Previsão		17.266	17.269	17.272	17.278	17.283

Figura 21 – Exemplo do plano com detalhe do produto

Fonte: Software Preactor APS

Além de apresentar as informações detalhadas de cada produto, também foi desenvolvido o detalhamento da demanda até o nível de numeração. O objetivo principal deste relatório é avaliar possíveis distorções de grade, que podem levar a soluções inadequadas de programação em função das restrições de moldes. Este relatório apresenta as cores de cada produto e as respectivas numerações conforme Figura 22. Para cada cor são apresentados quantos pares de cada numeração estão sendo planejados para cada período, esta informação torna-se essencial para o planejamento, sobretudo porque a solução de programação da regra personalizada considera as demandas de produto/cor individualmente.

Programação por Produto/Cor/Número								
PRODUTO			Jul/2009					Total
			25/06 01/07	02/07 07/07	08/07 13/07	14/07 19/07	20/07 26/07	
			01	02	03	04	05	
Produto 3	20825	0378	1.261	1.042	1.038	1.061	1.036	5.478
		0390	1.893	1.542	1.536	1.605	1.529	8.105
		0400	2.483	2.032	2.027	2.103	2.018	10.663
		0410	2.140	1.732	1.729	1.787	1.722	9.110
		0420	1.582	1.296	1.294	1.336	1.289	6.797
		0434	756	619	618	644	615	3.252

Figura 22 – Exemplo do plano com detalhe do produto por cor e numeração

Fonte: Software Preactor APS

Como mais uma solicitação dos planejadores, desenvolveu-se uma interface para realizar alterações no plano de produção de forma pontual, conforme Figura 23. Esta interface permite aos planejadores de cada produto realizar alterações para antecipar ou postergar demandas de um determinado produto. Inicia-se com a escolha do produto para alteração do plano de produção; a seguir, realiza-se a opção entre antecipação ou postergação e a respectiva data. A partir desta data, opta-se pelo período ou quantidade máxima que é alterada e, por fim, confirma-se. As alterações são refletidas instantaneamente no plano de produção e demais relatórios, determinando um novo cenário de planejamento que, conseqüentemente, determina um novo resultado para a programação.

Esta interface aumentou significativamente a interatividade e flexibilidade da solução de programação, aumentando a aceitação da ferramenta por parte dos planejadores e simultaneamente incorporando a avaliação baseada na experiência dos mesmos para o ajuste fino do plano de produção. Observa-se, no entanto, que as alterações no plano de produção devem ser realizadas apenas em casos especiais, devendo haver o cuidado para evitar postergar produtos que possam impactar no faturamento de pedidos firmados para o período previamente planejado.

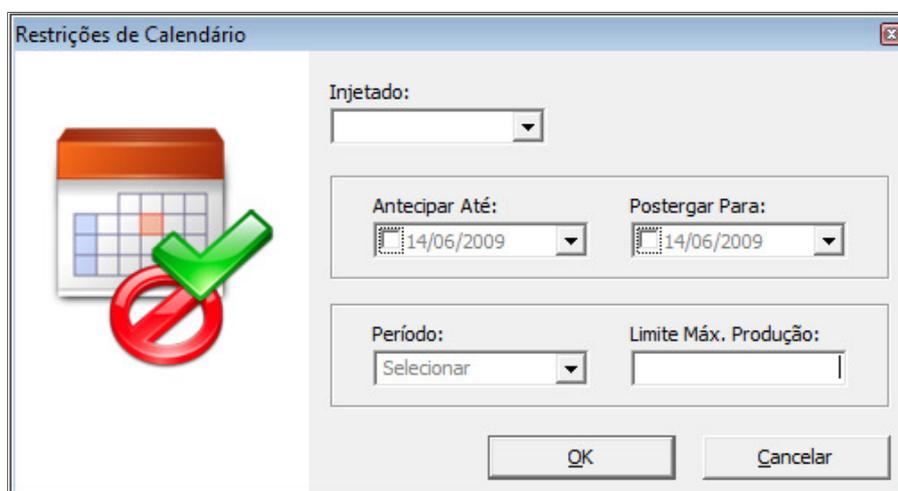


Figura 23 – Interface de ajuste do plano mestre de produção

Fonte: Software Preactor APS

Com os resultados já consolidados na primeira etapa de simulação, foram realizadas melhorias no algoritmo, para reduzir o tempo de processamento da regra. A

partir disso, realizou-se uma programação completa de todos os grupos de máquina para um período produtivo. Após, a programação foi exportada para o banco de integração e posteriormente exportada para o ERP para comparação da necessidade e disponibilidade de matéria prima, e geração de programas de teste para as demais fábricas que fornecem componentes para injeção. Os testes de desempenho da regra de programação foram satisfatórios, gerando a programação de um período produtivo em cerca de duas horas. Antes de realizadas as melhorias, não se haviam conseguido gerar uma programação completa.

Com a conclusão da avaliação da regra de programação e apresentação das interfaces, relatórios e integração, considerou-se encerrada a fase de simulação. A partir disso, iniciaram-se os procedimentos para o uso efetivo em paralelo com as ferramentas atuais utilizadas pelo PCP, seguida de um acompanhamento até a solução se tornar preponderante na empresa.

4.6 Start up

Após os desenvolvimentos e simulações, chegou-se à fase que determinou o início de uso do sistema, paralelamente aos sistemas já utilizados pela empresa. Para realização do *start up*, preparou-se a infraestrutura no PCP, com a disponibilização do APS e dos relatórios nos computadores de todos planejadores, permitindo a análise do plano de produção de forma simultânea. A partir disso, realizou-se a importação das informações do ERP para dar início aos ciclos de planejamento e programação.

O planejamento foi realizado a partir da avaliação do plano de produção de todos os itens com demanda para o período corrente. Foram avaliadas pontualmente necessidades de antecipação e postergação que, após justificadas, foram realizadas no plano. Avaliou-se também o relatório de faturamento planejado para o período, tendo atenção especial para antecipar as demandas mais críticas, garantir o embarque e o faturamento. O ciclo de planejamento, com avaliação e alteração do plano da produção tem periodicidade de acordo com os períodos parametrizados no APS. Inicialmente a solução está parametrizada para períodos de cinco dias.

Após o fechamento do plano, alinhou-se com a empresa o formato de trabalho para iniciar o uso da regra de programação de forma gradativa. Inicialmente cogitou-se

utilizar um grupo de injetoras de 12 ou 18 estágios, porém, visando envolver todos os planejadores, para avaliar o uso para diferentes tipos de problemas de programação, e possibilitar o planejamento do maior número de pedidos completos, para gerar o maior número de embarques, preferiu-se iniciar gradativamente com os produtos principais e expandir para os demais. A realização da programação completa com todos os produtos completou-se em três períodos, garantindo que produtos que compunham um mesmo pedido fossem planejados utilizando prioridades equivalentes.

O ciclo de programação passou a ser semanal com acompanhamento e reprogramação diária. Dessa forma, a cada novo ciclo de planejamento, com definição do plano de produção, gerou-se a programação para todas as coleções de matrizes através da regra de programação do APS. A partir disso, com o retorno diário dos apontamentos realizados pela fábrica, bem como do consumo de estoque, realizou-se reprogramação pontual de determinadas coleções. Assim, garantiu-se que a programação seguisse o plano de produção e, por consequência, as estratégias estabelecidas na priorização e atendimento das demandas, enquanto permitiu a reprogramação diária para garantir a produção total das demandas até o final do período produtivo de planejamento.

Definido e realizado o *start up*, prosseguiu-se com o acompanhamento do uso da solução. O acompanhamento do uso determina a estabilização e continuidade da solução, além de, quando necessário, incorporar novas regras de negócio à solução de programação da empresa bem como à regra de programação personalizada. Após o acompanhamento, foi possível estimar resultados os quais são apresentados no próximo item, e que balizam as conclusões deste estudo.

4.7 Análise dos resultados

Nesta seção são discutidos e apresentados os resultados obtidos sob primeira análise, sendo o reflexo de observações realizadas a partir da nova sistemática de planejamento e programação dos novos processos, das novas ferramentas e dos resultados preliminares do uso da solução. Os resultados são apresentados seguindo a mesma lógica da contextualização, detalhando como cada funcionalidade desenvolvida contribuiu para o objetivo deste estudo.

4.7.1 Planejamento da Demanda

São descritos os itens voltados para um melhor gerenciamento de demanda e das atividades adjacentes a esta necessidade, entre as quais se destacam o planejamento da demanda em si, o posicionamento da empresa frente aos mercados atendidos e almejados, o desenvolvimento de novos produtos e as melhorias na formação de grade de produção e no nivelamento de vendas, produção e embarque.

Tendo em vista que a empresa possui um mercado bastante fracionado entre varejo e grandes redes, a solução de programação permitiu incorporar de forma facilitada as regras de atendimento de cada mercado, observando os produtos que compunham cada pedido. As novas lógicas de planejamento determinaram uma melhoria no atendimento aos acordos comerciais, a partir do escalonamento das demandas, no caso de grandes redes com compras periódicas. Em contrapartida, permitiu-se a visibilidade necessária para o atendimento de pedidos fracionados que só poderiam ser viabilizados através de agrupamento com outros pedidos de varejo ou até mesmo de grandes redes.

Outro benefício da utilização da solução de planejamento diz respeito à melhoria no planejamento do ciclo de vida dos produtos, com a possibilidade de fazer simulações com base em previsão e avaliação do comportamento da demanda antes do lançamento de um produto. No sentido inverso da curva de vida do produto, o acompanhamento da formação de grade de um determinado produto pode determinar o encerramento prévio de seu ciclo de vida, ou de alguma cor em especial que não venha apresentando um bom resultado de vendas. Lembra-se, no entanto, que a avaliação considera também a composição dos pedidos, dado que eventualmente alguns produtos não apresentam bons resultados individuais, mas são importantes do ponto de vista global e compõem pedidos de grande valor com produtos de maior volume.

Tendo sua orientação de produção tida como *make-to-order*, observava-se, na prática, a produção antecipada de grandes volumes de produtos voltados para o mercado interno, culminando em estoques excessivos e aumento da necessidade de capital. A produção antecipada com base em previsão era utilizada com o intuito de melhor atender às variações de demanda, mas, na prática, observavam-se grandes estoques não efetivos, em função da variação de cores e produtos. Com a visibilidade proporcionada

pelo tratamento da demanda, com a distribuição do plano de produção considerando a composição dos pedidos e, por fim, a possibilidade de ajustar quantidades de produtos com maior impacto no faturamento, tornou-se possível uma produção realmente adequada à demanda de cada período, com redução de estoques e produção voltada para o atendimento de pedidos prioritários em carteira.

Com a participação ativa do setor de vendas na definição das regras de negócio para determinação do plano de produção, houve uma mudança cultural no que diz respeito à formação de grade de produção, determinando um alinhamento entre vendas e operações na busca pela venda de grades mais apropriadas à capacidade das matrizes produtivas. Além disso, no que diz respeito ao setor de suprimentos, torna-se possível realizar uma avaliação mais apropriada da real necessidade de matéria-prima. A partir do resultado da programação do APS enviada ao ERP, a equipe de suprimentos recebe um aviso de falta de matéria-prima, para os programas firmados no período, e realiza as compras com base no resultado da programação. Desta forma, são reduzidos os estoques de matérias-primas e a necessidade de compras emergenciais de segurança.

Antes do desenvolvimento da solução de programação e da regra de programação de injetoras, era observado um cenário de desnivelamento entre vendas, produção e embarque. Conforme o Figura 24, as vendas referentes a cada mês produtivo estavam concentradas nas duas primeiras semanas. A produção iniciava em baixa, porém com tendência crescente, até a quarta semana produtiva de cada mês, quando atingia o pico de produção. Por fim, o embarque concentrava-se essencialmente na quarta semana, gerando um crescente e significativo volume de estoque durante parte do mês e concentração do faturamento ao final de mês.

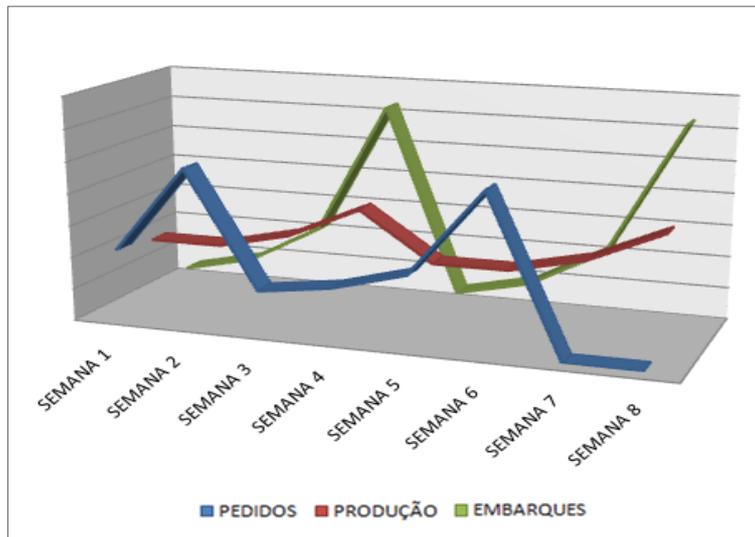


Figura 24 – Distribuição dos Pedidos, Produção e Embarque antes do estudo

Fonte: Elaboração própria

Com o nivelamento da produção, foi possível atender as mesmas demandas com uma menor capacidade e com um nível constante de mão-de-obra conforme Figura 25. Lembrando que estes benefícios estendem-se imediatamente para as outras fábricas da empresa, tanto à jusante quanto à montante, garantindo redução dos custos de produção. Quanto ao embarque, há uma quantidade levemente superior no final do mês, mas, de todo modo, muito próxima à produção realizada. Este alinhamento garante a redução dos estoques, boa utilização dos recursos produtivos, e redução da necessidade de capital investido da empresa.

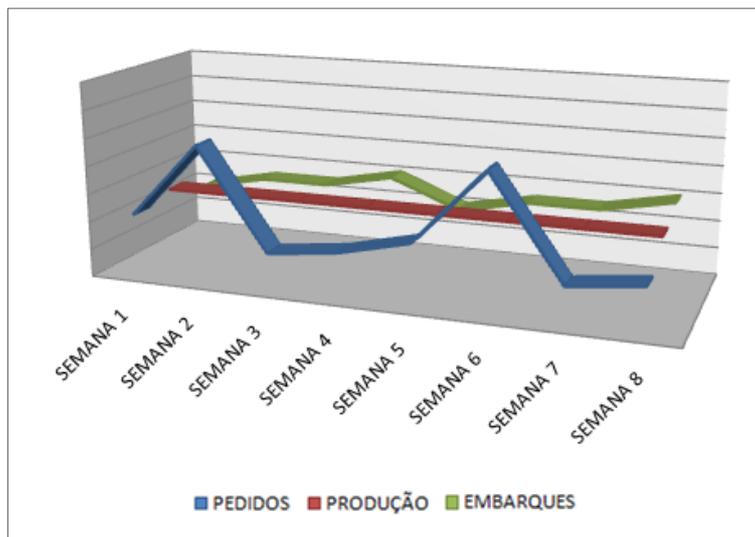


Figura 25 – Distribuição dos Pedidos, Produção e Embarque depois do estudo

Fonte: Elaboração própria

4.7.2 Planejamento estratégico

Do ponto de vista corporativo, a solução inicialmente focada apenas na programação do setor de injeção com vista à melhoria de processo permite um melhor planejamento das fábricas de componentes a partir das datas planejadas da injeção. As datas de início da injeção passaram a ser a data de entrega planejada para as fábricas de componentes. A geração das ordens de produção de componentes é realizada pelo ERP e tem como referência a programação do próximo período firme. Além disso, a programação da injeção passa a servir como ponto de partida para a programação interfábricas. Com a utilização de sistemas APS nas demais fábricas se tornaria possível realizar programações correlacionadas, sendo que a data de entrega de uma fábrica de componentes seria a data de início de produção da fábrica de injeção, permitindo inclusive reprogramações e replanejamentos realizados dinamicamente.

A solução de programação e a regra de programação de injetoras permitiram a visibilidade e dinâmica necessárias para o balizamento de decisões estratégicas para a empresa. Com o uso da solução de programação passa a ser definidos o mix de produtos, estabelecendo quais produtos oferecem viabilidade para a produção. Além disso, a solução oferece informações para planejar estratégias comerciais e corporativas,

como priorização de demandas de clientes especiais, mercados importantes e produtos com ações publicitárias. Por fim, possibilita decisões estratégicas de planejamento entre fábricas e um melhor gerenciamento dos estoques e da capacidade produtiva.

A visibilidade proporcionada pelo plano permite à empresa avaliar a formação do seu mix de produção e a composição entre produtos de grande volume e produtos diferenciados. A simulação de demandas permitiu determinar a viabilidade de desenvolvimento e produção de produtos de baixo volume, e a partir dos custos de produção, orientar a negociação de precificação junto às marcas atendidas. Além disso, auxilia na determinação de quantidades mínimas negociadas em contrato que viabilizem o desenvolvimento de produtos voltados para marcas que buscam diferenciação.

Tendo como uma necessidade para viabilização do seu negócio o agrupamento de demandas, a solução suporta a estratégia comercial de agrupamento de pedidos. Além de facilitar o gerenciamento dos pedidos com vínculo para apresentar valor mínimo, o plano de produção e a regra de programação garantem em seu planejamento produção simultânea. Além disso, a facilidade de gerenciamento possibilita a ampliação deste conceito, reduzindo o valor mínimo ou até mesmo aumentando o número de pedidos que componham o valor mínimo. Sob uma análise de médio prazo, estas alterações permitiriam à empresa atender pedidos menores e atingir clientes que não faziam parte de seu mercado. Também, como uma estratégia comercial, é possível antecipar o impacto do lançamento de novos produtos, planejando com base em previsão e determinando a garantia do atendimento às demandas que sofrem alta de acordo com as estações do ano, em cada mercado de atuação.

Atendendo as estratégias da empresa na obtenção de novos mercados, a solução desenvolvida e suportada pela regra de programação possibilitou a avaliação da capacidade produtiva dos produtos antes de realizar ações comerciais nos mercados em que se visa ampliar participação. Além disso, permitiu um melhor atendimento a mercados exigentes, com diferenciação pelo cumprimento de prazo, através do planejamento de embarques e até mesmo redução dos prazos estabelecidos em contrato, melhorando o giro de estoque e ampliando sua competitividade. Observou-se uma melhoria significativa no atendimento de canais de venda voltados para exportação, com diferenciação proporcionada pela confiabilidade nos prazos de entrega, e ampliação de faturamento através do levantamento dos pedidos de cada mercado, definição do perfil

de cada mercado e sugestão de novo produtos. A partir destas definições, se estabeleceu um posicionamento proativo da equipe de vendas, ao invés do cenário anterior em que basicamente eram contabilizados os pedidos e grades. Por fim, a solução de programação permitiu um alinhamento entre as estratégias corporativas e operacionais, através da redefinição das prioridades dos mercados consumidores ou linhas de produtos e determinação de novos cenários de programação.

No que diz respeito à capacidade, a solução de programação permitiu realizar avaliações da necessidade de ampliação através da programação de demandas de previsão e até mesmo demandas inseridas para teste. Dessa forma, a empresa encontra-se mais preparada para atender a variações de demanda evidenciadas na sazonalidade dos mercados e estações. Além disso, as informações geradas pela regra de programação podem vir a ser utilizadas para simular o comportamento de uma coleção com ampliação de sua matrizaria de uma máquina de 12 para de 18 estágios ou de uma 18 para duas de 12, por exemplo, quando o gargalo produtivo for a coleção de matrizes e haja viabilidade financeira para a ampliação.

4.7.3 Planejamento Operacional

No planejamento operacional podem ser observados os maiores benefícios da solução de programação, sobretudo no processo de programação. Foram apresentadas as melhorias relativas ao planejamento de produção, avaliação da necessidade de recursos e programação de fábrica, aumento da produtividade, redução de perdas de capacidade, redução das perdas de matéria-prima e por fim, o sequenciamento visando minimizar o tempo de *setup* por troca de cor.

No que diz respeito ao planejamento, observa-se como melhoria a lógica de distribuição das demandas, que passou a associar no mesmo período, mini-pedidos que podem ser embarcados simultaneamente, e por consequência, gerar receita para a empresa. Além disso, a visibilidade oferecida pelos relatórios detalha a demanda até o nível de numeração, que associada às ferramentas que permitem antecipar e postergar demandas tornou a solução bastante completa. Estes relatórios, juntamente com o relatório de produtos que trancam faturamento, permitem que todas as alterações no plano de produção sejam balizadas por este indicador, demonstrando o impacto de cada alteração no plano de produção.

Avaliando a sistematização da programação, pode-se ressaltar os benefícios relacionados ao dimensionamento de recursos com base na capacidade real do setor de injeção, observando a alocação da coleção de matrizes no período e a disponibilidade de recursos, considerando diferentes eficiências para cada injetora e visando a adequação da capacidade ao dimensionamento do plano de produção. Enquanto anteriormente este dimensionamento era realizado de forma macro, apenas considerando um valor absoluto de capacidade estimada em pares, com a solução apresentada, o dimensionamento considera para cada produto/cor o tempo de ciclo de máquina, incorpora os tempos estimados de *setup* em função do número de cores planejadas para o período e, por fim, calcula a necessidade estimada de injetoras para atender a demanda.

Foco principal deste estudo, a atividade de programação foi a que mais sofreu alterações em seu processo de trabalho. O algoritmo de programação desenvolvido possibilitou a sistematização da atividade de programação, estabelecendo uma lógica única de cálculo e alocação de demandas nas injetoras. Com as lógicas incorporadas no APS foi possível realizar a centralização do PCP e das tomadas de decisão voltadas para a programação, ficando aos demais programadores apenas atividades de planejamento e gerenciamento do plano de produção. Além disso, a centralização do PCP eliminou a interferência dos líderes de produção e permitiu o alinhamento de indicadores da programação, voltados para os objetivos estratégicos da empresa, tais como melhoria nos prazos de entrega, minimização de estoque em processo e dos estoques de produto acabado, balanceamento e otimizando os recursos. Por fim, observa-se, na programação realizada, a redução das perdas de matéria-prima e melhoria no planejamento dos *setups*, antecipando as necessidades e planejando a preparação externa da máquina.

Ainda em relação à programação, se evidenciou a melhoria no planejamento através da visibilidade proporcionada pela ampliação do horizonte firme de programação. Além disso, observou-se também a redução do tempo de resposta tanto a programação de novas demandas quanto a imprevistos e reprogramações.

Fechando o ciclo de programação e planejamento, observou-se um aumento do controle de produção através da importação atualizada dos apontamentos para o APS. Anteriormente, a informação era gerada no ERP, mas resumia-se a um relatório. Atualmente os apontamentos atualizam o quadro de programação do APS, possibilitando ajustes e reprogramações pontuais, ou até mesmo de todos os grupos de

máquinas, fornecendo as informações necessárias para decisões de realocação ou reprogramação, por ocasião de problemas com recursos ou matrizes, por exemplo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo geral elaborar uma sistemática de implantação de regras de programação com validação parcial através da aplicação de um caso prático, utilizando-se a tecnologia dos sistemas APS. Nesse sentido foi elaborada uma sistemática estruturada em sete etapas que contemplam: (i) entendimento dos processos, (ii) concepção de solução, (iii) desdobramento da solução e especificação, (iv) desenvolvimento dos sistemas e modelagem, (v) simulação, (vi) *start up* e, por fim, (vii) análise dos resultados. A sistemática proposta e aplicada no estudo de caso do capítulo quatro contém os pontos mais relevantes que devem ser observados no desenvolvimento de uma regra personalizada de programação.

No que diz respeito aos objetivos específicos, o primeiro refere-se à descrição do processo de especificação e desenvolvimento de uma regra customizada de programação. A descrição detalhada realizada no estudo de caso serve como referência para a realização de estudos similares a este, e, sobretudo, contribuem para este objetivo a descrição das dificuldades encontradas na integração e obtenção das informações necessárias para o algoritmo da regra.

O segundo objetivo específico foi avaliar, como uma análise qualitativa, os ganhos diretos e indiretos da utilização de uma regra de programação na solução de problemas complexos de programação. Dessa forma, a seção de resultados apresentada no estudo de caso enfatiza, com base em um comparativo com as necessidades da empresa, os ganhos alcançados com a solução de programação, no planejamento da demanda, planejamento estratégico e operacional.

Os objetivos relacionados ao planejamento da demanda foram alcançados através de: (i) novas regras de atendimento para cada mercado; (ii) melhoria no atendimento aos acordos comerciais; (iii) visibilidade dos pedidos fracionados; (iv) melhoria no planejamento do ciclo de vida dos produtos; (v) simulações com base em previsão e avaliação do comportamento da demanda antes do lançamento de um produto; (vi) produção adequada à demanda de cada período; (vii) produção voltada para o atendimento de pedidos prioritários em carteira; (viii) minimização da

necessidade de compras emergenciais de matérias-primas e; (ix) nivelamento de produção.

Em relação à estratégia da empresa, observaram-se melhorias nos processos da empresa e no apoio à decisão. Entre os ganhos observados, destacam-se: (i) melhoria no planejamento entre as fábricas; (ii) apoio para o balizamento de decisões estratégicas; (iii) apoio à definição do mix de produtos entre produtos de grande volume e produtos diferenciados; (iv) priorização de demandas de clientes especiais, mercados importantes e produtos com ações publicitárias; (v) suporte à estratégia comercial de agrupamento de pedidos; (vi) avaliação da necessidade de investimentos e; (vii) confiabilidade por parte do clientes.

Ainda em relação ao segundo objetivo específico, podem ser destacadas as melhorias voltadas para o planejamento operacional, foco principal da utilização de um ferramenta de programação: (i) aumento da produtividade; (ii) redução de perdas de capacidade; (iii) redução das perdas de matéria prima; (iv) sequenciamento visando minimizar o tempo de setup por troca de cor; (v) relatórios gerenciais de apoio à decisão; (vi) dimensionamento de recursos com base na capacidade real do setor de injeção e considerando diferentes eficiências para cada injetora; (vii) cálculo da necessidade estimada de injetoras necessária para atender a demanda; (viii) centralização do PCP e das tomadas de decisão voltadas para a programação; (ix) melhoria nos prazos de entrega; (x) minimização de estoque em processo e dos estoques de produto acabado; (xi) balanceamento dos recursos; (xii) e melhoria no planejamento dos *setups*; (xiii) simulação de cenários e aumento do horizonte firme de programação; e, por fim, (xiv) redução do tempo de resposta.

5.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A partir da sistemática proposta e aplicada, observa-se na conclusão deste trabalho a recomendação para trabalhos futuros que possam oferecer contribuições e novas perspectivas acerca do uso de regras de programação personalizadas para solução de problemas de programação de produção.

Inicialmente, tendo em vista que a sistemática proposta foi implantada em apenas uma empresa, seria positiva a aplicação da mesma a outras empresas de diferentes segmentos e, dessa forma, agregar novas contribuições ao modelo. Além deste, sugere-se como pesquisa, a avaliação e levantamento dos segmentos produtivos

com carência de soluções de programação com regra de programação, tanto devido à dificuldade em programar seus recursos complexos, como em determinar o alinhamento entre as estratégias da empresa até a operação.

Por fim, sugere-se, como estudo complementar, a avaliação de empresas quanto à maturidade para utilização de sistemas avançados de programação. Nesse estudo poderiam ser avaliados, sobretudo, aspectos relacionados à qualidade das informações e sistemas necessários para integração com um *software* APS, bem como, a estruturação de uma área voltada para o Planejamento e Controle da Produção, atuante e ciente de suas atribuições na empresa.

REFERÊNCIAS

- ANSOFF, H. I; MCDONNELL, E. J. **Implantando a administração estratégica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1993.
- CORRÊA, H. L. GIANESI, I. G. N. **Just in Time, MRPII e OPT: Um Enfoque Estratégico**, 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.
- CORRÊA, H. L; GIANESE, I. G. N; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- COX, J. F; BLACKSTONE, J. H. **Apics Dictionary - Ninth Edition**. APICS, 1998.
- CARVALHO, D. APS - Advanced Planning Systems: **Os Softwares que tornam a sua empresa mais competitiva**. TECMARAN, 2001.
- ELSAYED, E. A; BOUCHER, T. O. **Analysis and control of production systems**. 2ª ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1994.
- ERHART, A. **Sistemas Avançados de Programação da Produção: uma aplicação na indústria moveleira**. Trabalho de Diplomação – Curso de Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- FAÉ, C. S. **Planejamento Fino da Produção**. Trabalho de Diplomação – Curso de Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2004.
- FAÉ, C. S; ERHART, A. **A introdução das ferramentas APS nos sistemas de planejamento, programação e controle da produção**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2005.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOLDRATT, E. M; COX, J. **A meta: um aprimoramento contínuo**. São Paulo: Educator, 1995.
- LIDDELL, M. **The Little Blue Book on Scheduling**. Preactor Internacional, Chippenham, 2009.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Organização orientada para a estratégia: como as empresas que adotam o Balanced Scorecard prosperam no novo ambiente de negócios**. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 416 p.

KOTLER, P. **Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

MACHADO, L. L. **O Planejamento de Recursos de Manufatura na Cadeia Produtiva Têxtil**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Produção, UFSC, 2004.

MEREDITH, J. R; SHAFER, S. M. **Administração da produção para MBAs**, 1ª ed. São Paulo: Bookman, 2002.

MULLER, C. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação e desempenho e gerenciamento de processos**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

PACHECO, E. O; OLIVEIRA, G. H. C. **Análise de Desempenho Dinâmico de Ambientes Produtivos com Canais de Suprimentos automáticos e estoque em processamento**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007.

PACHECO, R. F; SANTORO, M.C. **Proposta de classificação hierarquizada dos modelos de solução para o problema de *job shop scheduling***. Gestão & Produção. V.6, n.1, São Carlos, 1999.

PAGNONCELLI; D; VASCONCELLOS; F. P. **Sucesso empresarial planejado**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992. 420 p.

PEDROSO, M. C; CORRÊA, H. L. **Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica?** RAE - Revista de Administração de Empresas, v. 36, n. 4, p.60-73, out/nov/dez. 1996.

PINEDO, L. M. **Theory, algorithms, and systems**. New York: Springer Science + Bussines Media, 2008.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. 1ª ed. São Paulo. Atlas, 2004.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSK L. J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson, 2004.

SANTOS, P.; SPERS E.; SOUZA, F.; TOFOLI, T.; HORITA, R. **Aplicação da teoria das restrições como metodologia de otimização dos processos de produção em uma indústria de móveis de ferro**. Revista INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção, Vol. 1, N. 2, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; H., A; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo. Atlas, 1997.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies**. Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 2ª ed. São Paulo, 2006.

TURBIDE, D. *What happened to APS? Midrange Enterprise*, 2000.

VOLMANN, T. E; BERRY, W. L; WHYBARK, D. C. **Manufacturing planning and control systems**. 4ª ed. Boston: McGraw-Hill, 1997.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 4ª ed. Los Angeles: SAGE, 2009.

ZATTAR, I. C. **Metodologia para implantação de um Sistema de Programação da Produção com Capacidade Finita em empresas prestadoras de serviço**. Curso de Tecnologia em Mecânica – Sociedade Educacional de Santa Catarina, 2003.

ZATTAR, I. C. **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 – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 2004.