MARCELO AUGUSTO BARBOSA FERNANDES

Simulação computacional aplicada ao planejamento e projeto da área de
armação de carrocerias na indústria automobilística.

São Paulo

2009

MARCELO AUGUSTO BARBOSA FERNANDES

Simulação computacional aplicada ao planejamento e projeto da área de armação de carrocerias na indústria automobilística.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre Profissional em
Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:

Engenharia Automotiva

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Fernandes, Marcelo Augusto Barbosa

Simulação computacional aplicada ao planejamento e projeto da área de armação de carrocerias na indústria automobilística / M.A.B. Fernandes. -- São Paulo, 2009.

84 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Indústria automobilística 2. Produção industrial (Planejamento; Projeto; Simulação computacional 3. Carroçaria (Fabricação; Simulação computacional) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai por ter vencido uma grave enfermidade e a minha mãe pela sua coragem e determinação, e a minha querida esposa pela compreensão e paciência durante este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa por sempre me apoiar em todos os momentos da minha vida.

Ao amigo Olavo C. Vidal da Volkswagen do Brasil, pelo incentivo e apoio ao meu trabalho.

À Volkswagen do Brasil, pela oportunidade de trabalhar em uma excelente empresa.

Ao Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski, pela paciência e dedicação a este trabalho.

RESUMO

A abertura de mercado no Brasil, na década de 1990, aumentou a concorrência na indústria automobilística local e a busca por novos produtos, tecnologias e principalmente por processos de manufatura mais enxutos e viáveis economicamente. Dentro deste contexto, a pressão pela redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos, fez com que fosse necessário reduzir também o tempo de desenvolvimento dos novos processos de manufatura. O desenvolvimento e planejamento de uma manufatura são processos complexos, pois envolvem diferentes áreas da empresa, demanda altos investimentos e envolve diferentes tecnologias. A Engenharia de Manufatura é a área da empresa responsável pelo planejamento, projeto e implantação de novas manufaturas para novos produtos. O objetivo central deste trabalho é a conceituação e aplicação da Simulação de Processos aplicada nas fases de planejamento e projeto para linhas de produção manuais e automatizadas através da utilização de ferramentas computacionais. O foco será na área de armação de carroceria onde se encontram o maior grau de automação e complexidade. As vantagens obtidas com sua utilização, nas fases de planejamento e projeto, são a redução de investimentos, redução no tempo de introdução de um novo processo, observação prematura de gargalos de produção, definição da quantidade necessária de estoques intermediários, os quais influenciam diretamente os tempos de processo e custos variáveis. Os conceitos apresentados são validados a partir de estudos de casos na Volkswagen do Brasil envolvendo veículos em lançamento como o novo Gol e Voyage e veículos em série como o Polo.

Palavras Chave: Simulação Computacional; Processos de Manufatura; Armação de Carroceria; Fábrica Digital.

ABSTRACT

The market opening to newcomers in Brazil during the 1990's has increased the local automotive industry competition and the search for new products, technologies and mainly for leaner and financially feasible processes. Within that context, the need to reduce new product development timing has made it necessary to minimize the development period for manufacturing processes. Planning and developing manufacturing operations are complex processes, once they involve different areas in a company and they demand high investment and peculiar technologies. The Manufacturing Engineering is the area in the company that takes over the responsibility for planning, designing and implementing new manufacturing processes for new products. The main objective of that work is define concepts and apply the process simulation on the planning and designing steps of manual and automatic production lines by using computer tools. The target will be the body shop area where the automation and complexity degrees are higher. The advantages of using such tools during the planning and designing phases are not only the reduction of investment and process introduction timing but also the early identification of production bottlenecks, as well as the definition of line buffers that directly affect the process cycles and variable costs. The presented concepts are validated through cases of Volkswagen of Brazil and involving the launching of vehicles such as the new Gol and Voyage and series models like the Polo.

Keywords: Computational Simulation; Manufacturing Processes; Body Shop; Digital Factory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Crescimento das exportações de veículos de países em desenvolvimento (ANFAVEA, 2008).	1
Figura 2.1 - Etapas do desenvolvimento de produto e processo.....	7
Figura 2.2 - Exemplo de carroceria veículo Golf.	8
Figura 2.3 - Equipamentos de solda a ponto manual.....	9
Figura 2.4 - Área de solda automatizada.	12
Figura 2.5 - Área de solda manual.	13
Figura 2.6 – Exemplo de jornada de trabalho	14
Figura 2.7 - Área de armação comum para os modelos FOX e POLO.	15
Figura 2.8 - Modelo de FMEA utilizado no planejamento do processo de armação do conjunto lateral do novo Gol.....	16
Figura 2.9 - Linha automática de armação de laterais para o novo Gol.	21
Figura 2.10 - Linha automática para armação do conjunto lateral com confiabilidade dos componentes.	22
Figura 3.1 - Softwares da Fábrica Digital na montadora estudada.....	31
Figura 3.2 - Layout, para um processo de solda manual.	33
Figura 3.3 - Exemplo de um plano de fabricação feito no software AP.	35
Figura 4.1 - Etapas da metodologia desenvolvida para aplicação da simulação computacional.	40
Figura 4.2 - Entradas e saídas de um projeto de simulação na área de armação de carroceria.....	42

Figura 4.3 - Exemplo dos elementos contidos em um processo armação de carroceria.	43
Figura 4.4 - Fluxograma de informações.....	45
Figura 4.5 - Fluxograma para verificar a validade do modelo de simulação. .	49
Figura 4.6 - Simulação de alternativas de processo, com o modelo conceito.	50
Figura 5.1 - Componentes do processo de <i>Finish1</i>	56
Figura 5.2 - Lógica existente no processo de <i>Finish1</i>	58
Figura 5.3 - Elementos do <i>Finish1</i> contidos no modelo para simulação.	60
Figura 5.4 - Modelo simplificado do <i>Finish1</i>	61
Figura 5.5 - Modelo completo do <i>Finish1</i> utilizado para simulação.	63
Figura 5.6 - Produto lateral do novo Gol.	69
Figura 5.7 - Componentes do processo do conjunto lateral interno.	71
Figura 5.8 - Lógica existente no processo.....	73
Figura 5.9 - Elementos do processo de produção dos conjuntos laterais contidos no modelo para simulação.	74
Figura 5.10 - Modelo representativo da instalação produtiva planejada para o conjunto lateral interno.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela de equivalência de pontos de solda para o novo Gol.....	11
Tabela 2.2 - Cálculo do grau de automação para o novo Gol.	12
Tabela 2.3 - Itens referentes à documentação contida no caderno de encargos.	17
Tabela 2.4 - Documentação eletrônica e padrão de softwares utilizados pela montadora estudada.	18
Tabela 2.5 - Confiabilidade de máquinas, equipamentos e processos para área de armação carroceria.....	20
Tabela 2.6 - Relação de equipamentos instalados na área de armação carroceria de Taubaté.....	23
Tabela 2.7 - Diário de bordo da área do Gol geração IV.	24
Tabela 2.8 - Disponibilidade para a linha de <i>Finish2</i> durante o período janeiro a julho 2008.	27
Tabela 2.9 - Confiabilidade para a linha de <i>Finish2</i> durante o período janeiro a julho 2008.	27
Tabela 4.1 - Relação entre alguns elementos disponíveis no banco de dados do software.	47
Tabela 4.2 - Relatório gerado pelo software após simulação do modelo.	51
Tabela 5.1 - Tabela com as variáveis de entrada utilizadas na construção do modelo da linha de produção de <i>Finish1</i>	57

Tabela 5.2 - Fluxograma de informações utilizado na construção do modelo da linha de produção de <i>Finish1</i>	59
Tabela 5.3 - Alternativas de acréscimo de operadores simuladas no modelo do <i>Finish1</i>	64
Tabela 5.4 - Relatório da simulação com 37 operadores no <i>Finish1</i>	65
Tabela 5.5 - Tabela com as variáveis utilizadas na construção do modelo da linha de produção de laterais.....	72
Tabela 5.6 – Resultados obtidos após simulação das alternativas para introdução de estoques intermediários de processo.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Sistema de Administração dos Planos de Fabricação
FMEA	Análise dos Modos e Efeitos das Falhas do Produto e Processo
HIM	Horas de Indisponibilidade da Máquina
HDM	Horas de Disponibilidade da Máquina
HLS	Sistema de Administração de <i>layouts</i> de Processo
KATE	Sistema para Importação e Conversão de Arquivos
KVS	Sistema de Administração de Dados
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
MTM	Medição dos Tempos e Métodos
MTTR	Tempo Médio para Reparo
NC	Número de Intervenções Corretivas
PEOVF	Engenharia de Produção orientada para Fabrica Virtual
PLC	Controlador Lógico de Programação
PLM	Gerenciamento do Ciclo de vida de Produto
TPM	Manutenção Produtiva Total

LISTA DE SÍMBOLOS

$Disp$	disponibilidade total da instalação (%)
$F_s(t)$	taxa de falhas acumulada do sistema
$F_i(t)$	taxa de falhas acumulada dos elementos
$G_{automação}$	grau de automação (%).
J_{mt}	jornada média de trabalho (minutos)
K	constante de equivalência, que varia de acordo com o processo.
$P_{equivalente}$	quantidade de pontos de solda equivalentes.
$P_{processo}$	quantidade de pontos de solda, rebites, parafusos e porcas ou Extensão em (mm) dos cordões de solda arco MIG e MAG, adesivos e grafagem.
$Q_{robôs}$	quantidade de robôs.
$Q_{operadores}$	quantidade de operadores.
$R_s(t)$	confiabilidade do sistema
$R_i(t)$	confiabilidade dos elementos
T_c	tempo de ciclo (minutos/veículo)
T_r	tempo de parada para refeição (minutos)
V_{pd}	quantidade de veículos produzidos diariamente
λ	taxa de falha

ÍNDICE

1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos e justificativas do trabalho.	2
1.2 Organização do trabalho.....	3
2.DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PROCESSOS PARA MANUFATURA DE CARROCERIA.....	5
2.1 Fases de desenvolvimento.	6
2.2 Descrição do produto carroceria.....	7
2.3 Processos de união de chapas metálicas.	8
2.4 Premissas do projeto.	9
2.4.1 Grau de automação.....	10
2.4.2 Tempo de ciclo	13
2.4.3 Localização e layout	14
2.4.4 Análise dos modos e efeitos das falhas do processo.....	15
2.5 Elaboração do caderno de encargos.....	16
2.6 Disponibilidade e confiabilidade de uma área de armação de carroceria.	18
2.6.1 Confiabilidade para planejamento e projeto de sistemas de manufatura.....	18
2.6.2 Confiabilidade e disponibilidade para linhas de produção existentes.....	23
2.6.3 Confiabilidade e rendimento humano.	28
3.TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA A INDÚSTRIA DE MANUFATURA.....	29
3.1 Softwares para desenvolvimento de produto, armazenamento e transferência de dados.....	31
3.2 Softwares para desenvolvimento e gerenciamento de layouts de processo.....	33
3.3 Software para determinação e gerenciamento dos tempos de fabricação.....	34
3.4 Softwares de simulação de processo.....	35
4.METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL..	39
4.1 Descrição do projeto para simulação.	41

4.2	Planejamento do projeto para simulação.	42
4.3	Levantamento das informações necessárias para construção dos modelos.	44
4.4	Construção dos modelos para simulação.....	46
4.5	Validação dos modelos para simulação.	48
4.6	Simulação dos modelos e obtenção dos resultados	50
4.7	Análise dos resultados obtidos	51
4.8	Documentação final do projeto.	52
5.	EXEMPLOS DE APLICAÇÕES: VOLKSWAGEN DO BRASIL.....	53
5.1	Novo Gol Fábrica de São Bernardo do Campo.	53
5.1.1	Descrição do projeto e definição dos objetivos.....	54
5.1.2	Planejamento do projeto para simulação.....	55
5.1.3	Levantamento das informações necessárias para construção dos modelos.....	59
5.1.4	Construção dos modelos para simulação.	59
5.1.5	Validação dos modelos para simulação.....	62
5.1.6	Simulação dos modelos e obtenção dos resultados.....	63
5.1.7	Análise dos resultados obtidos.....	66
5.1.8	Documentação final do projeto.....	67
5.2	Novo Gol Fábrica de Taubaté.....	68
5.2.1	Descrição do projeto e definição dos objetivos.....	68
5.2.2	Planejamento do projeto para simulação.....	70
5.2.3	Levantamento das informações necessárias para construção dos modelos.....	73
5.2.4	Construção dos modelos para simulação.	74
5.2.5	Validação dos modelos para simulação.....	75
5.2.6	Simulação dos modelos e obtenção dos resultados.....	75
5.2.7	Análise dos resultados obtidos.....	78
5.2.8	Documentação final do projeto.....	79
6.	CONCLUSÕES.....	80
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1.INTRODUÇÃO

Na década de 90 houve um aumento das exportações de veículos fabricados nos países em desenvolvimento como Brasil, México e República Tcheca (Figura 1.1). No caso do Brasil isto significou a possibilidade de se produzir veículos tecnologicamente capazes de atender mercados exigentes como o Europeu e Americano. Bolwijn e Kumpe (1990) apontam que a sobrevivência das empresas em um mercado competitivo, está diretamente ligada a sua capacidade de inovação tecnológica.

Figura 1.1 - Crescimento das exportações de veículos de países em desenvolvimento (ANFAVEA, 2008).

A introdução de novas tecnologias foi fundamental para possibilitar a produção de veículos tecnologicamente avançados e com custos competitivos. Segundo Gusikhin, Rychtycky e Filev (2007), a indústria automobilística é capaz de desenvolver e implantar de maneira rápida e eficaz sistemas inteligentes para as áreas de manufatura, design e desenvolvimento de produto.

A necessidade da redução de investimentos para o lançamento de novos veículos resulta na utilização de linhas de produção flexíveis capazes de produzir mais de um modelo.

Hauser e Weck (2007) apontam as flutuações de demanda e as constantes modificações nas especificações de produto, como sendo dois fatores que estimulam o desenvolvimento de sistemas e processos de manufatura flexíveis. Diante deste cenário, Klampfl, Gusikhin e Rossi (2006) apontam como risco potencial em processos de manufatura flexíveis, o surgimento de operações, como esperas e deslocamentos entre as diversas células de trabalho, que não agregam valor ao produto.

No planejamento tradicional de um processo de manufatura, tem-se diversas etapas seqüenciais, que no decorrer de seu desenvolvimento, podem sofrer alterações devido a mudanças de design e especificações de produto, penalizando os custos e tempo de projeto.

Wenbin et al. (2006) apresentam a utilização do conceito de manufatura virtual e simulação computacional, como alternativa para integração entre o desenvolvimento do produto e processo, de modo a se reduzir o impacto de tempo e custo devido a mudanças de produto.

1.1 Objetivos e justificativas do trabalho.

O objetivo principal deste trabalho é propor uma metodologia para utilização da simulação computacional aplicada ao desenvolvimento e planejamento de processos de manufatura, na área de armação de carroceria dentro de uma montadora de veículos, evidenciando os resultados obtidos na redução de investimentos para introdução de novos processos para fabricação de novos veículos e melhoria na produtividade de processos existentes. Será objeto deste estudo a sua utilização no desenvolvimento de novos processos para fabricação de novos veículos e em processos de produção existentes.

A simulação computacional faz parte do projeto Fábrica Digital introduzido na montadora estudada no ano de 2002 e se apresenta como um recurso fundamental para a criação de competências que habilitam o Brasil a se manter competitivo na fabricação de veículos.

1.2 Organização do trabalho.

No capítulo 1, é apresentada a conceituação básica para o desenvolvimento de um processo de manufatura de carroceria. São apresentados também os objetivos do trabalho.

A engenharia de manufatura é responsável pelo planejamento, projeto e introdução de novos processos de manufatura na área de carroceria para a fabricação de novos veículos. Serão abordadas no capítulo 2 as premissas que antecedem o planejamento e projeto do processo e os conceitos de disponibilidade e confiabilidade utilizados para áreas de produção manuais e automáticas.

No capítulo 3 serão mostradas as tendências tecnológicas da simulação computacional aplicada à indústria de manufatura. Será apresentada a estrutura de softwares utilizados pela montadora estudada, os quais integram a Fábrica Digital, com ênfase para o projeto, planejamento e simulação de processos de manufatura na área de armação de carroceria. Dentro deste contexto serão mostrados exemplos de outras indústrias automotivas e aeroespacial, as quais utilizam ferramentas computacionais no desenvolvimento e projeto de suas linhas de manufatura.

No capítulo 4 será apresentada a metodologia desenvolvida para aplicação da simulação computacional nas fases de desenvolvimento de processos de manufatura na área de armação de carroceria. Serão descritas as etapas necessárias para sua implantação e utilização, mostrando a organização do fluxo de informações para a utilização das bases de dados disponíveis em diferentes áreas da empresa, de modo a compor os modelos para simulação. Este capítulo tem como objetivo propor uma metodologia, a qual poderá ser

utilizada na implantação de sistemas para simulação computacional na indústria automotiva.

No capítulo 5, a partir da apresentação e discussão de dois projetos desenvolvidos para implantação do novo Gol, nas fábricas de Taubaté e São Bernardo do Campo e do Voyage na fábrica de Taubaté, será apresentada a utilização da simulação computacional nas fases de planejamento e projeto. Para a fábrica de Taubaté os processos de produção do novo Gol e Voyage foram planejados em uma área livre, independente dos modelos existentes Gol geração IV e Parati. Na fábrica de São Bernardo do Campo processos de produção do novo Gol foi dividido em duas partes. As áreas de armação laterais e partes móveis (tampas, portas e paralamas) foram feitas em uma área livre, independente dos modelos existentes Polo, Gol geração IV e Saveiro, porém as áreas de montagem de partes móveis e funilaria foram integradas nas instalações existentes para o modelo Polo. Em ambos os casos será exemplificado como através da criação de modelos e posterior simulação computacional, pode-se obter resultados significativos na redução de investimentos e principalmente evitando a duplicação de linhas de produção existentes.

Concluindo, tem-se dentro da realidade brasileira a utilização de recursos como a simulação no desenvolvimento e planejamento de projetos como a formação de uma competência fundamental para criação de um diferencial competitivo para a montadora estudada como também para outras indústrias automotivas no Brasil e no mundo.

2.DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PROCESSOS PARA MANUFATURA DE CARROCERIA.

Desenvolver, planejar e projetar um novo processo de manufatura para uma montadora de veículos abrange diversas áreas dentro e fora da empresa e está inserida no projeto de desenvolvimento de um novo veículo.

A necessidade de se reduzir o tempo de lançamento de novos produtos no mercado, implica também em se reduzir o tempo de introdução de novos processos.

Waurzyniak (2007) ressalta a pressão que os fabricantes da indústria automotiva e aeroespacial sofrem para reduzir o ciclo de desenvolvimento de produto e processo trabalhando com margens de lucro cada vez menores. A utilização de *softwares* 3D para o planejamento de processo auxilia na redução de custos e possibilita o lançamento de novos produtos em períodos de tempo cada vez mais curtos, aproximando o desenvolvimento virtual do real.

O desenvolvimento do processo é feito em conjunto com áreas clientes e fornecedoras. Entende-se por clientes todas as áreas e departamentos da empresa que estarão ligados a produção do novo veículo, são elas a manufatura, qualidade, finanças, medicina ocupacional, segurança do trabalho e compras. Por fornecedor, tem-se a área de engenharia do produto a qual fornece todas as especificações e desenhos do produto a ser produzido.

São formados grupos multifuncionais e multidepartamentais, os quais se reúnem durante as diversas etapas do desenvolvimento do processo como análise de viabilidade, revisão de projetos, Análise dos Modos e Efeitos das Falhas do produto e processo – FMEAs (*Failure mode and effects analysis*), e escolha de fornecedores. Cada uma destas etapas será descrita na seqüência.

2.1 Fases de desenvolvimento.

O desenvolvimento do processo de manufatura tem início com a criação do produto. Após aprovação do modelo do novo veículo é construído um modelo em argila feito em escala 1:1, (modelo em *clay*).

Através da medição em máquina tridimensional do modelo em escala do veículo feito em argila *clay*, os projetistas obtém uma nuvem de pontos a partir da qual, se inicia o modelamento da superfície externa do veículo.

Nesta fase são reunidos grupos de pessoas das áreas de manufatura, de estamparia, carroceria, pintura, força motriz e montagem final. Este grupo tem a tarefa de realizar um estudo preliminar de viabilidade técnica para a produção em série do veículo proposto. Esta etapa denomina-se de análise de viabilidade.

Para a área de carroceria, que é foco deste trabalho, durante a fase de análise de viabilidade, verifica-se a possibilidade de acesso com os equipamentos, máquinas e tecnologias de solda existentes para as áreas de chapa metálica as quais devem ser unidas pelo processo de soldagem. Após a constatação de acesso para os equipamentos de solda existentes a todas as regiões críticas do veículo, é finalmente concedida viabilidade técnica para manufatura no que se refere à área de armação de carroceria.

Após esta fase, os projetistas do produto iniciam o modelamento das superfícies como também o projeto de reforços internos e demais peças do veículo.

A partir deste momento inicia-se a fase de engenharia simultânea, na qual são realizados estudos preliminares de processo, onde se procuram encontrar possíveis falhas de projeto que venham ocasionar problemas futuros para o processo de produção. Nesta fase inicia-se a análise do modo de falhas do produto (FMEA) reunindo-se para discussão além das áreas de

manufatura, também as áreas de qualidade, medicina ocupacional, segurança do trabalho, compras e engenharia do produto.

Finalizada esta etapa, tem-se a liberação dos desenhos de produto como também todas as especificações técnicas para a sua produção. Com base nestas informações inicia-se a definição do processo. A figura 2.1 ilustra as etapas de desenvolvimento de produto e processo.

Figura 2.1 - Etapas do desenvolvimento de produto e processo.

2.2 Descrição do produto carroceria.

A carroceria é formada pela união de chapas e reforços metálicos, e define os espaços internos e as principais dimensões do veículo, a qual também é conhecido como *package* do veículo. Posteriormente são fixados na carroceria, na área de montagem final, todos os suportes e revestimentos para acabamento do veículo. A sua formação é feita através de diversos processos de união por soldagem, cravagem, grafagem, colagem, rebtagem e fixação com parafusos, os quais serão descritos mais detalhadamente no capítulo 2.3.

A figura 2.2 mostra um exemplo de uma carroceria do veículo Golf.

Figura 2.2 - Exemplo de carroceria veículo Golf.

2.3 Processos de união de chapas metálicas.

Os processos utilizados para união de chapas metálicas são soldagem por resistência, soldagem por arco elétrico com gás de proteção, aplicação de adesivos estruturais e de vedação, grafagem, rebitagem e aparafusamento.

Os dois principais processos utilizados na indústria automobilística são a soldagem por resistência e a soldagem por arco elétrico com gás de proteção.

O processo de solda por resistência, também denominado de solda a ponto ocorre quando as peças são pressionadas uma contra outra, aplicando-se uma corrente elétrica elevada, resultando em uma quantidade de calor, a qual segundo a Lei de Joule é proporcional a intensidade da corrente elétrica e ao tempo de aplicação.

Na figura 2.3, tem-se dois exemplos de equipamentos de solda a ponto utilizados na indústria automotiva.

Figura 2.3 - Equipamentos de solda a ponto manual.

No processo por arco elétrico com gás de proteção, a solda ocorre quando se estabelece um arco elétrico entre a peça e o arame de solda consumível. O arame é fundido continuamente enquanto é alimentado formando uma poça de fusão. O fluxo de gás, uma mistura de gases inertes (MIG - *Metal Inert Gas*) ou ativos (MAG - *Metal Active Gas*), protege o metal da atmosfera externa.

2.4 Premissas do projeto.

As principais premissas a serem consideradas no planejamento de um novo processo de armação de carroceria são:

- grau de automação;
- tempo de ciclo;
- localização e *lay-out*;
- análise dos modos e efeitos das falhas do processo.

2.4.1 Grau de automação.

Oriundos dos processos para união de chapas metálicas citados no capítulo 2.3, tem-se uma quantidade definida de operações a serem realizadas para formação da carroceria. Como resultado destas operações tem-se uma quantidade de pontos de solda, cordões de solda arco MIG e MAG, adesivos, grafagem, rebites e parafusos. Estes processos de união de chapas metálicas podem ser feitos de maneira manual por operários, ou de maneira automatizada por robôs.

Para possibilitar a comparação entre os diferentes processos de união de chapas metálicas, é utilizado na montadora estudada, um fator de equivalência que converte todos os processos em pontos de solda equivalentes, conforme equação 1.

$$Pequivalente = \frac{P_{processo}}{K} \quad (1)$$

Onde:

<i>Pequivalente</i>	= Quantidade de pontos de solda equivalentes.
<i>Pprocesso</i>	= Quantidade de pontos de solda, rebites, parafusos e porcas ou Extensão em (mm) dos cordões de solda arco MIG e MAG, adesivos e grafagem.
<i>K</i>	= Constante de equivalência, que varia de acordo com o processo.

A tabela 2.1 apresenta um exemplo de cálculo de equivalência para os conjuntos feitos internamente na fábrica de Taubaté para o novo Gol.

Tabela 2.1 - Tabela de equivalência de pontos de solda para o novo Gol.

Tabela de pontos equivalentes Conjuntos produzidos internamente Volkswagen											
Grupo construtivo	Solda					Cola		União a frio			Soma Pontos equivalentes
	Pontos de solda (Qtde)	Solda MIG (mm)	Solda MAG (mm)	Pinos Projeção (Qtde)	Porca Projeção (qtde)	Adesivo estrutural (mm)	Adesivo vedação (mm)	Grafagem (mm)	Rebite (Qtde)	Parafusos (qtde)	
Fator de conversão (K)	1	7	14,7	1,5	1,5	71	71	71	3	3	
Plataforma 1	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-
Plataforma 2	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-
Laterais	339	192	680	1	1	0	200	0	0	0	416
Carroceria Bruta	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Porta Dianteira	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Porta Traseira	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Tampa Dianteira	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Tampa Traseira	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Paralama	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Carroceria acabamento	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	82	-	-	-	-	-	-

A quantidade de pontos de solda equivalentes é utilizada, para se comparar diferentes veículos dentro da montadora estudada como também outras montadoras de veículos.

Para o cálculo grau de automação tem-se a equação 2.

$$G_{automação} = \frac{Q_{robôs}}{(Q_{robôs} + Q_{operadores})} \quad (2)$$

Onde:

$G_{automação}$ = Grau de automação (%).
 $Q_{robôs}$ = Quantidade de robôs.
 $Q_{operadores}$ = Quantidade de operadores.

A tabela 2.2 mostra um exemplo de cálculo de grau de automação para o novo Gol.

Tabela 2.2 - Cálculo do grau de automação para o novo Gol.

Denominação do conjunto	Quantidade de operadores	Quantidade de robôs	Grau de automação (%)
Plataforma 1	74	61	45%
Plataforma 2			
Laterais	41	52	56%
Carroceria			
Partes Móveis			
Carroceria com partes móveis			

O grau de automação é de fundamental importância para o planejamento de uma nova instalação. É através dele que se determina o volume de investimento necessário, como também o custo variável da mão de obra para a fabricação do novo veículo. A figura 2.4 apresenta um exemplo de uma área automatizada, onde as operações são feitas por robôs.

Figura 2.4 - Área de solda automatizada.

A figura 2.5 apresenta um exemplo de operação de solda realizada de forma manual.

Figura 2.5 - Área de solda manual.

2.4.2 Tempo de ciclo

O tempo de ciclo pode ser definido como sendo o tempo disponível em minutos para produção de um único veículo, conforme equação 3.

$$T_c = \frac{(Jmt - Tr - TPM)}{Vpd} \times Disp \quad (3)$$

Onde:

- T_c = Tempo de ciclo (minutos/veículo);
- Jmt = Jornada média de trabalho (minutos);
- Tr = Tempo de parada para refeição (minutos);
- $Disp$ = Disponibilidade total da instalação (%);
- Vpd = Quantidade de veículos produzidos diariamente.

O tempo de ciclo, semelhante ao grau de automação descrito no item 2.4.1, também interfere diretamente no investimento e custo variável. A figura 2.6 mostra um exemplo de jornada de trabalho.

Jornada de Trabalho

6 x 1 - Jornada Atual

Figura 2.6 – Exemplo de jornada de trabalho

2.4.3 Localização e layout

A localização da nova instalação é de fundamental importância, pois afeta diretamente os investimentos e custos variáveis de mão de obra. Existem duas possibilidades de localização para uma nova armação de carroceria: em uma área totalmente livre exclusiva para o novo veículo, ou em uma área já existente onde já se produz outro veículo.

Em uma área totalmente livre, não existem interferências com instalações existentes o que permite uma melhor disposição de máquinas, equipamentos e operadores. O fluxo logístico também é favorecido.

A utilização de uma área de produção já existente para um determinado veículo permite em alguns casos a redução de investimentos, devido ao fato de algumas máquinas e equipamentos estarem disponíveis para serem utilizados na fabricação do novo veículo. O custo variável de mão de obra, também poderá ser reduzido, pois o mesmo operador que trabalha na fabricação de um modelo já existente, poderá utilizar o seu tempo ocioso em

atividades produtivas referentes ao novo modelo. A figura 2.7 mostra um exemplo de layout da linha de manufatura das laterais do modelo FOX EUROPA, o qual foi instalado dentro de uma linha de produção já existente do modelo POLO, ambos produzidos na unidade da Volkswagen de São Bernardo do Campo.

Linha de produção laterais POLO e FOX EUROPA Planta Anchieta

Figura 2.7 - Área de armação comum para os modelos FOX e POLO.

2.4.4 Análise dos modos e efeitos das falhas do processo.

Para o planejamento de um novo processo de manufatura, é possível identificar falhas prematuramente através da utilização do FMEA de processo. Kaminski (2000) sugere que através de sua aplicação é possível reduzir o risco de ocorrência de falhas, como também, documentar históricos de falhas, as quais poderão ser úteis no desenvolvimento de projetos futuros.

A figura 2.8, mostra um exemplo de formulário FMEA preenchido, conforme configuração utilizada na montadora estudada.

FMEA de PROCESSO																	
ANÁLISE do MODO e dos EFEITOS de FALHAS em POTENCIAL

Nome do FMEA																	
Armação do Cj Lateral completo, calha e alojamento da lanterna. VW 23X.																	
Nome e Número da Peça/ Conjunto/ Processo								Programa									
Cj Lateral Completo 5U5/6.809.029/030								VW 230; BEA 800-10 - VW 231; BEA 800-00									
Setor Emissor				Eng. Responsável				Plantas/ fornecedores atingidos				Cliente					
Engª de Manufatura Armação e Estamparia - EMEA				Marcelo Fernandes				Anchieta / Taubaté				Manufatura/Q.A					
Time FMEA emitente Rev 00		Nome		Departamento/ Ramal		Data Emissão - Rev 00		Data Retroalimentação - Rev		Comentários							
		Marcelo Fernandes		EMA / 4069		20/junho/2006 - Revisão 00		17/julho/2007 - Revisão 01									
Time FMEA emitente Rev		Nome		Departamento/ Ramal		Data Retroalimentação - Rev				Histórico							
		Marcelo Fernandes		EMA / 4069		17/julho/2007 - Revisão 01											
Nome e Número da Peça/ Conjunto/ Processo Cj Painel Lateral Interno Dianteiro / 5U4.809.427/8.																	
Função do processo/ produto	Modo / Tipo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Classificação	Causa potencial / mecanismos de falha	Controles atuais no processo	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR	Ação recomendada / nome do responsável / data prevista	Previsto		Ações tomadas/ data efetiva	Real			
											Ocorrência	Detecção		Ocorrência	Detecção		
Geometria Conjunto lateral	Painel lateral externo amassado na região da Coluna A	Retrabalho, Refugo do Cj lateral	*	Armação da Chapa de fechamento (5U0.809.167/8) e Pç Travamento Inferior (5U0.809.221/2) no pnl lat externo	visual	4	6	5	120	Mudança na estrutura do produto , sendo que as pçs Chapa de fechamento (5U0.809.167/8) e Pç Travamento Inferior (5U0.809.221/2) deverão entrar no Cj Pnl Lat Interno Traseiro. Maurici Adario (Engª do Produto) 21.nov.2006	1	5	20	produto modificado, peças entrando no cj coluna a / kw 20	1	5	20
	Painel lateral externo amassado na região da Lanterna Traseira	Retrabalho, Refugo do Cj lateral	*	Solda do Alojamento da lanterna em estação manual	visual	7	6	5	210	1- Prever no projeto do dispositivo manual guia pontos e proteção contra amassados. 2- Verificar a possibilidade de realizar esta operação em estação automática Marcelo Fernandes / 13.Março.07 (EMEA)	1	5	35	processo linha automática , ok / kw 22	1	5	35

Figura 2.8 - Modelo de FMEA utilizado no planejamento do processo de armação do conjunto lateral do novo Gol.

2.5 Elaboração do caderno de encargos.

A definição das premissas descritas no capítulo 2.4, possibilita o início da elaboração do caderno de encargos, o qual servirá de base para o novo processo para manufatura de armação de carroceria. O caderno de encargos reúne além das premissas de projeto, todas as demais informações necessárias para elaboração do planejamento e projeto do novo processo, como também o detalhamento dos *softwares* a serem utilizados conforme padrão da montadora estudada.

A execução do planejamento e projeto poderá ser realizada com recursos próprios dependendo da disponibilidade da Engenharia de Manufatura, como também em parceria com empresas externas contratadas. Portanto o

caderno de encargos servirá de base para fornecer as regras para contratação destas empresas, como também definir quais informações deverão ser fornecidas pela montadora estudada para possibilitar o planejamento.

As tabelas 2.3. e 2.4, mostram os principais itens que constam do caderno de encargos.

Tabela 2.3 - Itens referentes à documentação contida no caderno de encargos.

Elementos a serem fornecidos no Projeto	
1	Lay-out.
2	Análise M.T.M.(Sistema U.A.S.).
3	Plano de Ajuste (Shimms Book)
4	Planos de Fixação
5	Plano de Cravar ou Rebitar.
6	Plano Elétrico.
7	Plano de Resfriamento.
8	Planejamento das Linhas de Produção.
9	Desenhos de Construção dos Meios Produtivos.
10	Plano de Seqüência de Montagem (Ilustrações)
11	Planos de Solda a Pontos.
12	Plano de Solda p/ Pinos Tucker.
13	Plano de Fundações.
14	Plano Pneumático.
15	Pinças de Solda.
16	Plano e Diagrama de Impulso....
17	Plano de Válvulas / Cilindros / Grampos
18	Plano de Solda a Arco.
19	Plano de Cola.
20	Plano Hidráulico.
21	Plano de Lubrificação.

Tabela 2.4 - Documentação eletrônica e padrão de softwares utilizados pela montadora estudada.

Simulação, Programação Off-Line, Construção CAD.		
1	Dados CAD de Produtos e Troca de Dados.	
	1.1	Dados CAD de Produtos
	1.2	Normas e Diretrizes Válidas.
2	Construção CAD de Meios de Produção com CATIA®.V5 – R16	
	2.1	Sistema CAD a ser Empregado.
	2.2	Instruções para a Construção CAD de Meios de Produção.
	2.3	Diretrizes Válidas para a Construção CAD de Meios de Produção.
3	Simulação de Robôs e Programação Off-line com “eM-Workplace®”.	
	3.1	Sistema de Simulação de Robôs e de Programação Off-line.
	3.2	Simulação dos Robôs.
	3.3	Programação Off-line.
	3.4	Calibragem.
	3.5	Apresentação dos Resultados Intermediários nas Fases do Projeto.
	3.6	Diretrizes Válidas para Simulação dos Robôs e Programação Off-line.
4	Simulação da Disponibilidade das Instalações com “eM-Plant®”.	
	Diretrizes Válidas para Análises de Ergonomia com “eM-Workplace®”.	
	Transmissão de Dados.	

2.6 Disponibilidade e confiabilidade de uma área de armação de carroceria.

A disponibilidade total de uma instalação produtiva pode ser definida, como sendo o período líquido de tempo no qual a instalação fica disponível para a produção. Para análise de sistemas ou equipamentos, utiliza-se o cálculo da disponibilidade em um intervalo de tempo pré definido.

A seguir será mostrada a sistemática para determinação da confiabilidade e disponibilidade utilizada no planejamento de sistemas de manufatura como também em linhas de produção já existentes

2.6.1 Confiabilidade para planejamento e projeto de sistemas de manufatura.

Segundo Souza (2008) a probabilidade que um componente tem de exercer a função para o qual foi projetado durante um determinado intervalo de tempo, corresponde a sua confiabilidade.

A confiabilidade de sistemas de manufatura deve ser analisada de maneira diferente da confiabilidade dos componentes que a integram. Para a área de

armação de carroceria, utilizam-se diversas máquinas, equipamentos, robôs e recursos humanos ao longo do processo, os quais podem ou não estar interligados de diferentes maneiras. A confiabilidade do sistema, portanto, é uma função da confiabilidade de cada um de seus componentes, como também da ligação entre os mesmos.

Portanto, para análise de sistemas de manufatura consideram-se dois tipos de interligação entre os componentes: em série ou em paralelo.

A confiabilidade do sistema em série será o produto da confiabilidade de cada um de seus componentes. A confiabilidade de sistemas interligados em série decresce com o aumento do número de componentes que compõe o sistema.

A equação 4 define a confiabilidade para sistemas em série.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (4)$$

Onde:

$R_s(t)$ = Confiabilidade do sistema

$R_i(t)$ = Confiabilidade dos elementos

Para análise de sistemas em paralelo, deve-se considerar a função acumulada de falhas para um determinado componente ou sistema. A equação 5 define a função acumulada de falhas

$$F_s(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (5)$$

Onde:

$F_s(t)$ = Taxa de falhas acumulada do sistema

$F_i(t)$ = Taxa de falhas acumulada dos elementos

A confiabilidade de um sistema em paralelo é dada pela equação 6.

$$R_s = 1 - F_i(t)$$

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (6)$$

Portanto, para que o sistema falhe como um todo é necessário que todos os componentes falhem. Ao contrário dos sistemas em série, a confiabilidade de sistemas em paralelo aumenta com o acréscimo de componentes.

Para possibilitar o cálculo da confiabilidade destes sistemas para posterior planejamento e projeto de linhas de produção para novos modelos de veículos, utiliza-se valores pré estabelecidos para confiabilidade de máquinas, equipamentos e processos contidos em uma área de armação de carroceria. A tabela 2.5, mostra valores de confiabilidade utilizados no projeto de novas linhas de produção utilizadas na montadora estudada.

Tabela 2.5 - Confiabilidade de máquinas, equipamentos e processos para área de armação carroceria.

Relação de confiabilidade para equipamentos e processos	
Dados Padrão VW	
Equipamento	Confiabilidade
7º Eixo	99,900%
Abastecimento logístico Partes móveis (normal)	99,500%
Abastecimento logístico Partes móveis (difícil)	98,505%
Dispositivo de respot, solda a ponto , manual	99,930%
Abastecimento em linha automática	99,800%
Solda a projeção automática	99,200%
Dispositivo para soldagem de pino à projeção	99,800%
Solda porca a projeção	99,350%
Mesa giratória / Mesa elevatória	99,800%
Dispositivo giratório	99,800%

Na área de armação de carrocerias, a maioria dos sistemas de manufatura é disposta em série.

A figura 2.10, mostra a confiabilidade de cada operação que compõe o sistema, a qual foi calculada com os valores padrões utilizada na montadora estudada.

Figura 2.10 - Linha automática para armação do conjunto lateral com confiabilidade dos componentes.

A confiabilidade total do sistema será definida pelo produto da confiabilidade de seus componentes. A equação 7 mostra o cálculo da confiabilidade da linha automática de armação do conjunto lateral do novo Gol mostrada na figura 2.10.

$$R_s = (0,9584 \times 0,9283 \times 0,9931 \times 0,9790 \times 0,9635 \times 0,9980) = 0,8320 \quad (7)$$

2.6.2 Confiabilidade e disponibilidade para linhas de produção existentes

Para se avaliar linhas de produção em operação deve-se levar em consideração alguns parâmetros como taxa de falha (λ), tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio para reparo (MTTR).

A tabela 2.6 mostra a quantidade de equipamentos instalados em algumas áreas da armação do novo Gol produzido na planta de Taubaté.

Tabela 2.6 - Relação de equipamentos instalados na área de armação carroceria de Taubaté.

Meios de Produção	Plataforma 1	Plataforma 2	Laterais	Fechamento carroceria	Partes Móveis	Montagem Partes Móveis e funilaria
Máquina de Solda MIG para area automática			4			
Equipamento de Cola	1	2	2	5	13	1
Equipamento de solda			1			
Garra de manipulação			18			
Grafagem			-			
Indução			-			
Máquina de Solda MIG / MAG para area manual			4			
Robo de manipulação			30			
Robo de solda			90			
Máquina de solda a projeção			1			
Dispositivo de montagem			74			

Pode-se observar a diversidade de equipamentos instalados em uma área de armação de carroceria, sendo que cada um apresenta uma taxa de falha diferente de acordo com as condições de uso e manutenção. Para se garantir o funcionamento dentro dos critérios pré-estabelecidos deve-se, portanto, monitorar alguns parâmetros dos equipamentos e processos de modo a se determinar a disponibilidade da linha.

O primeiro parâmetro a ser monitorado deve ser o tempo que o equipamento permaneceu em estado de falha, comprometendo o seu desempenho. Para isto, dentro dos times de produção, foi criado uma sistemática de registro das paradas, denominada de diário de bordo.

A tabela 2.7, mostra um exemplo de diário de bordo utilizado na área de carroceria do Gol geração IV. Pode-se observar que são registradas as paradas da linha informando a área em que ocorreram, a duração e o motivo.

Tabela 2.7 - Diário de bordo da área do Gol geração IV.

ÍTEM	HORÁRIO		TEMPO		UGN	NOME DA CELULA	OP / AFO	NOME / Nº DO EQUIPAMENTO	COD.	Descrição da Parada	NOME
	DAS	AS	PERDIDO	ACUMULADO							
01	06:00	06:20	00:20	00:20	-	-	-	-	AQ	TPM	Lucatelli
02	06:20	06:30	00:10	00:30	-	-	-	-	SP	START	Lucatelli
03	09:00	09:20	00:20	00:50	02A	TUNEL	10	JUMBIN. 3199	S	PONTO SOLTO	Lucatelli
04	10:30	10:40	00:10	00:60	01A	LINHA 2	50	-	FP	FALTA CAIXA DE RODA LADO DIREITO	Lucatelli
05	13:40	13:45	00:05	01:05	01A	LINHA 2	50	ROBO 2.8	SP	TROCA DE ELETRODO	Lucatelli
06	14:45	14:55	00:10	01:15	-	-	-	-	PA	ASSEMBLEIA	Lucatelli
07	16:00	16:15	00:15	01:30	01B	LINHA 2	-	-	FF	SISTEMA CHEIO	Basilio
08	17:30	17:35	00:05	01:35	02B	LOG. L/E	20	B029	H	VAZAMENTO DE ÁGUA	Basilio
09	17:50	18:00	00:10	01:45	01B	CX. AGUA	30	DISPOSITIVO	U	VAZAMENTO DE AR	Basilio
10	19:10	19:20	00:10	01:55	02B	CX. R. L/E	30	JUMBIN. 3107	M	CILINDRO QUEBRADO	Basilio
11	21:30	21:35	00:05	02:00	02B	ASSOALHO	10	JUMBIN. 3235	E	SENSOR DA JANELA QUEBRADO	Basilio
12	22:00	22:10	00:10	02:10	01B	LINHA 2	50	ROBO 2.10	R	ROBO NAO EXECUTA OPERAÇÃO	Basilio
13	22:15	22:20	00:05	02:15	01B	LINHA 2	50	-	P	PEÇA FORA DA POSIÇÃO	Basilio
14	22:30	22:40	00:10	02:25	01B	LINHA 2	-	-	T	EOM FALHA	Basilio
15	23:30	23:36	00:06	02:31	01B	LINHA 2	10	-	O	INTERRUPÇÃO CORTINA DE LUZ	Basilio
16	22:36	06:00	-	-	-	-	-	-	NP	NÃO HOUVE NENHUMA PARADA	Nunes

No diário de bordo, portanto, são registradas todas as paradas ocorridas na linha de produção indicando a sua origem, ou seja, se foram ocasionadas devido a falhas administrativas, logísticas, qualidade ou equipamentos. Para cálculo da disponibilidade na área de armação de carroceria, considera-se o conceito de disponibilidade utilizada para equipamentos. Portanto, para sistemas reparáveis tem-se a disponibilidade definida pela equação 8.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (8)$$

Onde:

A	= Disponibilidade do sistema ou equipamento
$MTBF$	= Tempo médio entre falhas sucessivas
$MTTR$	= Tempo médio para reparo

A equação 9 mostra o cálculo para o MTBF, o qual pode ser obtido pela divisão da soma das horas efetivas de utilização do equipamento para a operação (HDM), pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período (NC).

$$MTBF = \frac{HDM}{NC} \quad (9)$$

Já o MTTR conforme equação 10 é obtido através da divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação, devido à manutenção (HIM) pelo número de intervenções corretivas no período (NC).

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (10)$$

No cálculo da disponibilidade em equipamentos consideram-se as hipóteses de taxa de falha e reparo constantes.

Para análise de áreas produtivas operantes a confiabilidade pode ser definida como uma função da taxa de falha e do tempo em operação dos equipamentos que a compõe.

A equação 11 mostra a confiabilidade para componentes de um sistema

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i \cdot t} \quad (11)$$

Para sistemas, portanto, a confiabilidade é obtida através da somatória da confiabilidade de seus componentes. A equação 12 mostra esta relação.

$$R_s(t) = e^{\left[\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \cdot t \right]} \quad (12)$$

Foi desenvolvido um sistema de identificação de perdas denominado SINPE (Sistema Indicador de Perdas), no qual é possível registrar as perdas de produção e calcular a disponibilidade e confiabilidade de equipamentos e sistemas. O sistema é utilizado em todas as áreas produtivas da montadora estudada, porém apenas a área de armação de carroceria será objeto deste estudo.

A confiabilidade de máquinas e equipamentos está relacionada diretamente à área de manutenção. Nakajima (1989) cita a importância de se manter registros das paradas de produção para o planejamento da manutenção preventiva.

Através da apuração dos tempos de parada dos equipamentos feita pelos operadores se obtém o tempo médio entre falhas MTBF e o tempo médio para reparo MTTR. Com estes dados é possível calcular a confiabilidade e disponibilidade das instalações produtivas.

A tabela 2.8, mostra o cálculo da disponibilidade para linha de acabamento e funilaria denominada de *Finish2*, para o modelo Polo fabricado na Volkswagen em São Bernardo do Campo.

Tabela 2.8 - Disponibilidade para a linha de *Finish2* durante o período janeiro a julho 2008.

Mês	Tempo Disponível para utilização do Equipamento (Horas)	HIM (horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção)	HD (horas efetivas de utilização do equipamento para a operação)	NC (N° Falhas)	MTBF = HD / NC	MTTR = HIM / NC	Disponibilidade = MTBF / (MTBF + MTTR)
jan/08	315	0,82	313,85	3	104,62	0,27	99,74%
fev/08	315	1,25	313,42	3	104,47	0,42	99,60%
mar/08	315	0,58	314,08	3	104,69	0,19	99,81%
abr/08	315	0,33	314,33	1	314,33	0,33	99,89%
mai/08	315	0,33	314,33	1	314,33	0,33	99,89%
jun/08	315	3,08	311,58	6	51,93	0,51	99,02%
jul/08	315	4,48	310,18	12	25,85	0,37	98,58%

A confiabilidade da instalação é um parâmetro que é monitorado, e serve de base para ações preventivas de manutenção. Para se obter a confiabilidade de equipamentos deve-se calcular a taxa de falha dos mesmos.

A tabela 2.9, mostra o cálculo da confiabilidade da linha de *Finish2* para o período de janeiro à julho 2008.

Tabela 2.9 - Confiabilidade para a linha de *Finish2* durante o período janeiro a julho 2008.

Mês	Confiabilidade da Linha Finish 2 $R_i(t) = \exp - \lambda_i . t$	Taxa de falha = Jornada de Trabalho / MTBF λ_i	Jornada de Trabalho (Horas)	MTBF = HD / NC
jan/08	92,6%	0,076	8	104,6
fev/08	92,6%	0,077	8	104,5
mar/08	92,6%	0,076	8	104,7
abr/08	97,5%	0,025	8	314,3
mai/08	97,5%	0,025	8	314,3
jun/08	85,7%	0,154	8	51,9
jul/08	73,4%	0,309	8	25,8

2.6.3 Confiabilidade e rendimento humano.

Na área de armação de carroceria são produzidos diversos subconjuntos soldados, os quais são compostos de peças pequenas como, reforços, parafusos e suportes para posterior fixação de revestimentos e acabamentos.

A utilização da automação nestes casos ainda não é viável técnica e economicamente, principalmente em países onde o custo da mão de obra ainda é menor do que em países desenvolvidos. Por este motivo ao se planejar e projetar processos produtivos para indústria automotiva de países emergentes deve-se levar em consideração estudos para avaliação da confiabilidade e rendimento humano.

A influência humana é um fator determinante da confiabilidade e disponibilidade de um processo de manufatura. Os erros que ocorrem durante o processo produtivo influenciam diretamente a sua confiabilidade e disponibilidade.

3.TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA A INDÚSTRIA DE MANUFATURA.

A tecnologia de simulação computacional vem sendo aplicada no desenvolvimento de veículos com frequência pela indústria automobilística, porém a sua utilização no desenvolvimento dos processos de manufatura é recente. Curran et al. (2007) descreve uma metodologia que utiliza recursos de simulação computacional 3D, para a criação de um mock-up digital do produto, o qual é utilizado posteriormente na simulação do processo de manufatura, reduzindo o tempo de desenvolvimento do mesmo em comparação ao processo de desenvolvimento convencional.

Curran et al. (2007), sugere também que a busca das empresas pela melhoria da qualidade e acréscimo de vantagens competitivas para os seus produtos não deve resultar na utilização isolada de ferramentas computacionais para a solução de problemas específicos, porém na integração das mesmas para o gerenciamento do ciclo de vida dos produtos conhecido como PLM (Gerenciamento do Ciclo de vida de Produto). O autor cita a utilização dos *softwares* desenvolvidos pela empresa Dassault Systèmes, dentre eles o DELMIA o qual foi escolhido pela equipe de desenvolvimento do Airbus A380, para planejamento e projeto da nova fábrica em Hamburgo na Alemanha. Outras empresas como Volkswagen, Bombardier, Hitachi Zosen também utilizam a plataforma da Dassault Systèmes, para implantação do PLM.

Em um processo tradicional para o planejamento de uma linha de manufatura ocorrem isoladamente diferentes etapas de desenvolvimento, porém a interação entre as mesmas não ocorre de maneira eficiente. Wenbin et al. (2006), em seu artigo sobre a engenharia de produção voltada para a fábrica digital mostram que existem lacunas entre as diferentes etapas para o desenvolvimento de um novo processo, as quais ocasionam mudanças sucessivas no *design* do processo resultando em desperdício dos recursos

disponíveis e conseqüentes atrasos na sua conclusão. O autor coloca a utilização de um sistema de manufatura digital o PEOVF (Engenharia de Produção orientada para Fábrica Virtual) como sendo uma alternativa para preenchimento, destas lacunas existentes nas diferentes etapas de desenvolvimento do processo.

Bergbauer (2002), em seu trabalho sobre o desenvolvimento de sistemas para simulação de processos de manufatura em um ambiente virtual, afirma que o aprendizado e experiência adquiridos através do método convencional de tentativa e erro quando aplicado a sistemas complexos, resulta em um processo demorado e dispendioso para as empresas.

Waurzyniak (2003) cita em seu trabalho sobre manufatura digital, que empresas como a General Motors, Chrysler e Toyota empregam o conceito de PLM e softwares para visualização 3D no desenvolvimento de seus produtos e processos de fabricação.

O ambiente virtual, criado para o desenvolvimento de um novo processo de manufatura, resulta na integração entre diferentes *softwares*. Na montadora estudada, com a introdução da Fábrica Digital, vários *softwares* que eram utilizados de maneira isolada em diferentes etapas do desenvolvimento, passaram a integrar um único sistema virtual para o projeto de sistemas de manufatura.

Slack et al. (2002) aponta que se os métodos de trabalho e processos existentes na produção forem ruins a utilização da tecnologia somente irá agravar os problemas e não solucioná-los. Esta afirmação vale também para a tecnologia aplicada ao planejamento de processos produtivos.

A figura 3.1, mostra os *softwares* utilizados no planejamento de processos de manufatura dentro do conceito de fábrica digital, da montadora estudada.

Figura 3.1 - Softwares da Fábrica Digital na montadora estudada.

O Process Designer mostrado no centro da figura 3.1, centraliza as informações disponibilizadas pelos outros *softwares*, tendo como objetivo gerar as informações necessárias para a construção do processo de manufatura.

3.1 Softwares para desenvolvimento de produto, armazenamento e transferência de dados.

São utilizados os softwares CATIA e DMU (Digital Mock-up) da empresa Dassault Systèmes, para projeto e visualização de componentes de carroceria e acabamento dos veículos da montadora estudada.

O CATIA fornece as informações de produto necessárias para o desenvolvimento dos processos de manufatura. Nos desenhos gerados por este software estão contidas as coordenadas dos pontos de solda, localização dos cordões de solda e adesivos estruturais e de vedação.

Após a finalização dos desenhos de produto, os mesmos são armazenados em um banco de dados denominado KVS (*Sistema de Administração de Dados*). Este banco de dados centraliza todas as informações de produto

geradas dentro da montadora estudada nas suas diferentes unidades ao redor do mundo. Dentro do KVS pode-se obter informações sobre um determinado desenho de produto, como versão, data, projetista responsável e validade do mesmo. O programa permite também obter vários formatos para um mesmo arquivo de desenho, como por exemplo, formato 3D gerado pelo CATIA V4, 2D para visualização, ou mesmo formato para impressão.

O KVS tem níveis de acesso, para os quais são fornecidos diferentes permissões, assegurando a confidencialidade das informações contidas neste banco de dados. O mesmo encontra-se disponível na intranet da matriz da montadora estudada na Alemanha, tendo a sua versão também na intranet da empresa no Brasil.

A obtenção dos arquivos armazenados no KVS não é feita de maneira automática, ou seja, para se obter uma relação de desenhos que compõe um determinado veículo, deve-se para cada desenho repetir o procedimento de *download*.

Para automatizar a operação de *download* de arquivos e possibilitar a troca de dados entre o KVS e o Process Designer, foi criado pela matriz da montadora estudada na Alemanha um *software* denominado KATE.

O KATE possibilita obter diversos desenhos armazenados no KVS de maneira automática, através da importação dos seus respectivos números contidos em um arquivo texto, gerado no Microsoft Word ou Excel. O *software* permite também a conversão dos desenhos para o formato reconhecido pelo Process Designer. Com isto é possível se obter a estrutura completa do veículo, a qual será posteriormente utilizada pelo Process Designer para planejamento do processo.

Bracht e Masurat (2004) citam que a engenharia simultânea será uma necessidade para a introdução da fábrica digital nas empresas. A informação deverá fluir simultaneamente entre os diversos departamentos da empresa, durante a fase de implantação do projeto da fábrica digital.

O projeto de um processo de manufatura na área de armação de carroceria deve conter todos os elementos necessários para sua implantação. O layout de processo é uma representação esquemática em duas dimensões, destes elementos.

A figura 3.2, mostra alguns elementos de processo representados em um layout em uma área de solda manual.

A montadora estudada utiliza o software Microstation versão 8.0 da empresa Bentley Systems, na criação ou modificação de layouts.

Um único layout reúne informações de diferentes áreas: os desenhos são divididos em diferentes níveis dentro do software, o que permite a sua visualização apenas quando necessário. Por exemplo, as instalações prediais como colunas, paredes e vigas podem ser desligadas quando se deseja visualizar apenas as instalações de processo como dispositivos e equipamentos de solda. Este recurso que o software oferece, permite que o mesmo layout possa ser utilizado por diferentes fornecedores. Outro aspecto importante é que todos os envolvidos no projeto podem trabalhar com o mesmo nível de informação.

A montadora estudada, dispõe de um software denominado HLS (Sistema de Administração de layouts de Processo), para armazenamento e gerenciamento dos Layouts de processo de todas as suas unidades produtoras de veículos ao redor do mundo. A sua utilização permite acesso a informações atualizadas por qualquer usuário cadastrado no sistema.

3.3 Software para determinação e gerenciamento dos tempos de fabricação.

O custo variável para fabricação de um veículo é composto pelo custo de suas peças, componentes agregados e pela mão de obra utilizada na sua fabricação. A montadora estudada utiliza um software denominado AP (*Sistema de administração dos planos de fabricação*) para descrever e armazenar todas as operações manuais envolvidas na fabricação de um determinado veículo. O software dispõe de uma tabela de tempos padrão MTM (Medição dos Tempos e Métodos) a qual define para cada movimento executado pelo operador a sua respectiva parcela de tempo em minutos. A figura 3.3 mostra um exemplo de plano de fabricação gerado no AP.

Figura 3.3 - Exemplo de um plano de fabricação feito no software AP.

O AP é utilizado para descrever as operações manuais que compõem o plano de fabricação de um determinado veículo como também efetua o armazenamento e gerenciamento destas informações. O software gerencia os planos de fabricação de todos os veículos produzidos na montadora estudada, possibilitando acesso às suas informações por qualquer usuário cadastrado no sistema.

3.4 Softwares de simulação de processo.

Para simulação computacional de processo a montadora estudada utiliza os softwares da empresa Siemens PLM Software. Na área de carroceria existem processos totalmente automáticos, onde as operações são realizadas por robôs. Neste caso o planejamento do processo exige que seja feita simulação computacional. Os softwares utilizados para estes casos são o eM-Workplace e Process Simulate.

O eM-Workplace, é utilizado pela montadora estudada e seus fornecedores para planejamento de processos robotizados. Este software tem uma

biblioteca de robôs de diferentes fabricantes, como também de outros dispositivos automáticos. O eM-Workplace trabalha com arquivos de desenhos gerados em outros softwares como o CATIA por exemplo. Podem ser importados desenhos de produto, equipamentos de solda e dispositivos. Com isto o projetista desenha a célula de produção automática em um ambiente de 3D.

O software permite verificar o alcance do robô em operações de solda ou manipulação de um determinado produto, os caminhos que o mesmo deve percorrer para executar uma determinada tarefa, prever possíveis colisões, calcular o tempo de ciclo para uma operação ou um conjunto de operações que compõe uma célula automática. Pode ser gerado um programa *off-line*, que irá ser carregado no hardware do robô o qual será instalado na célula real.

Richardsson e Fabian (2006) descrevem um exemplo de programação off-line executado na indústria automobilística, para o desenvolvimento de células de manufatura na fábrica da Volvo em Torslanda. O engenheiro projeta a célula de manufatura com as suas funções de controle, sendo que as mesmas são implementadas manualmente em uma ferramenta para simulação dos trajetos e movimentos dos robôs. Em seguida as funções de controle são validadas em uma simulação 3D, para posteriormente serem introduzidas no PLC (Controlador Lógico de Programação) do robô.

Para simulação de robôs e dispositivos automáticos tem-se também o Process Simulate, o qual está em desenvolvimento pela Volkswagen e Siemens PLM Software, e tem como propósito substituir o eM-Workplace a partir de 2010.

Waurzyniak (2007) cita o Process Simulate 8.0 em seu artigo sobre manufatura digital, como sendo um software que possibilita às companhias integrar o ambiente de automação e robótica em uma única plataforma de trabalho, objetivando a validação virtual de todo o processo de manufatura.

A Siemens PLM Software desenvolveu uma versão do Process Simulate denominada Process Simulate Commissioning, que permite além de criar programas *off-line* para os robôs e dispositivos automáticos, possibilita também desenvolver a lógica de programação do PLC que irá gerenciar a linha de produção automática. É uma grande vantagem, pois a simulação da lógica de programação em um ambiente virtual permite reduções no tempo de implantação e previne possíveis erros de programação.

Para a simulação de eventos discretos, é utilizado o software Plant Simulation. É possível avaliar o comportamento da instalação produtiva no eixo do tempo, através do cálculo dos tempos de processamento de uma peça ou material dentro das estações de trabalho, obtendo-se após um período de tempo simulado um determinado volume de produção. São consideradas no cálculo a confiabilidade de máquinas e equipamentos, a distribuição estatística das quebras e perdas de produção e a interação entre as diferentes estações de trabalho. Bergbauer (2002) cita a importância de se representar corretamente os objetos existentes no processo real dentro do ambiente de virtual na simulação de eventos discretos.

Rohrer e Strong (1997) apontam que a simulação de eventos discretos aplicada à indústria automotiva na área de armação carroceria, permite avaliar os impactos causados no processo produtivo devido a mudanças de produto.

Geckler (2002) aponta que um modelo de simulação é uma representação esquemática de um processo produtivo, sendo necessária a representação do fluxo produtivo através das ligações entre os elementos do modelo.

Bethke (2004) cita que a utilização da simulação computacional pode ser uma maneira segura, rápida e eficiente de introduzir mudanças em processos de fabricação existentes.

Vidal (2006) menciona a utilização das ferramentas disponíveis na Fábrica Digital na redução de investimentos no desenvolvimento de processos de

manufatura. Masurat (2006) aponta que a utilização do conceito de fábrica digital, aperfeiçoa o planejamento de uma nova instalação produtiva.

O Process Designer executa o planejamento do processo de manufatura em um ambiente de três dimensões. Ele possibilita uma conexão direta entre produto e processo, realizando uma conexão com outros softwares, os quais fornecem informações sobre tempos de processo, custos variáveis, layout, simulação de robôs e simulação de processo. A sua utilização resulta em redução na duração do planejamento e posterior implantação de novos processos, como também representa uma redução do percentual de erros de planejamento.

Curran et al. (2007) cita em seu trabalho sobre integração entre design digital e manufatura para redução de custos, a utilização do software Delmia da empresa Dassault Systèmes no planejamento digital do processo de fabricação da fuselagem de um avião da empresa Bombardier. A sua utilização possibilitou integrar um modelo 3D otimizado da fuselagem do avião no processo de manufatura.

4.METODOLOGIA PARA UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.

O objetivo da metodologia que será mostrada neste capítulo, será possibilitar através do uso da simulação computacional aplicada ao desenvolvimento de processos de manufatura na área de armação de carroceria, reduzir investimentos na introdução de novos processos para fabricação de novos veículos e melhoria na produtividade de processos existentes.

A possibilidade de executar diversas experiências em processos de produção existentes é remota, pois implica em altos custos de execução. A construção de modelos simplificados da realidade, para posterior simulação em um ambiente virtual é uma alternativa a este processo.

Para se conhecer o processo de manufatura existente ou futuro, e possibilitar a construção de modelos simplificados da realidade, foi necessário o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho que permitiu organizar o fluxo de informações dentro da empresa e possibilitar o emprego da simulação computacional.

A figura 4.1, mostra as etapas da metodologia desenvolvida para aplicação da simulação computacional.

Figura 4.1 - Etapas da metodologia desenvolvida para aplicação da simulação computacional.

Cada uma destas etapas será descrita a seguir.

4.1 Descrição do projeto para simulação.

Nesta fase, devem ser definidos os objetivos a serem atingidos com a simulação: ou seja, devem ser formuladas de maneira objetiva as questões para as quais se deseja obter respostas. A simulação pode ser utilizada no planejamento de novos processos, ou como ferramenta de análise em processos existentes.

Para o planejamento de novos processos as principais questões a serem abordadas são: a detecção precoce de gargalos de produção, o dimensionamento de estoques de processo, a determinação da quantidade de máquinas e equipamentos e o dimensionamento da mão de obra direta.

Em sistemas produtivos existentes pode-se aperfeiçoar o seu rendimento, implementando métodos que foram testados previamente em um ambiente de simulação antes da sua efetivação, aperfeiçoar estratégias de controle e planejar a seqüência de produção de modo a se reduzir a troca de ferramentas.

De maneira geral os principais objetivos a serem alcançados com a simulação computacional são o aumento da produtividade em instalações produtivas existentes, redução de investimentos no planejamento de novas instalações, redução de inventário ao longo do processo produtivo, dimensionamento das instalações produtivas e respectivos estoques de processo e melhoria contínua do processo produtivo.

4.2 Planejamento do projeto para simulação.

Após a definição dos objetivos para o projeto de simulação, tem início a etapa de planejamento. Nesta etapa é feita uma análise dos elementos que compõe o processo real, tendo início a construção de um modelo conceitual do mesmo.

O modelo deverá conter todas as entradas, saídas e elementos existentes no processo real. Para novos processos devem-se buscar referências em processos semelhantes existentes. A figura 4.2 ilustra as entradas, saídas e elementos contidos em um modelo de processo na área de armação de carroceria.

Figura 4.2 - Entradas e saídas de um projeto de simulação na área de armação de carroceria.

Nesta fase é feita uma análise crítica de quais variáveis de entrada, saída e elementos do processo real são representativos e devem estar contidos no modelo conceito.

Figura 4.3 - Exemplo dos elementos contidos em um processo armação de carroceria.

A figura 4.3, mostra os elementos existentes em um processo de armação de carroceria, classificados em componentes e lógica. O conhecimento do processo real e dos elementos contidos no mesmo é de fundamental importância nesta fase do projeto.

4.3 Levantamento das informações necessárias para construção dos modelos.

Para que um modelo de simulação seja consistente e confiável, as informações provenientes do processo real, utilizadas na sua construção, também devem ser. O levantamento destas informações é uma tarefa importante em um projeto de simulação consumindo a maior quantidade de recursos e tempo na sua execução.

As informações necessárias para a construção do modelo de simulação encontram-se disponíveis em diferentes setores da empresa. Em uma empresa de grande porte, as informações encontram-se em diferentes bases de dados as quais estão sob responsabilidade de vários departamentos. Por este motivo, é necessário a construção de um mapa, onde se relaciona a informação que se deseja obter, ao software ou sistema em que a mesma esta disponível e o departamento responsável pelo gerenciamento da mesma.

É importante nesta etapa do processo, o mapeamento correto das informações disponíveis, para que não ocorra desperdício de tempo e recursos.

A figura 4.4 mostra o mapeamento das informações existentes na montadora estudada.

Figura 4.4 - Fluxograma de informações.

A figura 4.4 mostra que o conhecimento prévio da localização da informação dentro da empresa é fundamental para a construção da base de dados. Ou seja, antes de se iniciar o processo de levantamento de informações deve-se fazer um mapeamento dos caminhos que a informação percorre dentro da empresa.

Para um projeto de simulação, a comunicação entre as diversas áreas da empresa também é importante. Para que isto ocorra é necessário garantir o acesso às informações, sendo que as áreas envolvidas deverão estar comprometidas com o trabalho e disponibilizar os recursos suficientes para a sua execução.

4.4 Construção dos modelos para simulação.

Nesta etapa inicia-se a construção do primeiro modelo com o auxílio de software específico para simulação de eventos discretos. Na montadora estudada utiliza-se o Plant Simulation da empresa Siemens PLM Software.

Deve-se iniciar uma correlação entre os elementos do processo existente ou novo processo a ser estudado com os elementos disponíveis no banco de dados do software.

A representação do processo para a construção do primeiro modelo deve ser feita de maneira simplificada. Cada objeto escolhido deve ser testado individualmente antes de ser colocado em funcionamento com os demais.

O software dispõe de diversos objetos que podem ser utilizados isolados ou combinados. É necessário entender a função específica de cada objeto para que o mesmo possa representar corretamente o processo de fabricação em estudo. A tabela 4.1 mostra a relação entre alguns elementos disponíveis no banco de dados do software.

Tabela 4.1 - Relação entre alguns elementos disponíveis no banco de dados do software.

Fluxo de material		
Objetos do Plant Simulation	Descrição	Representação no processo real.
Conector	Realiza a conexão entre as estações de trabalho dentro do modelo.	Representa o fluxo de material (peças unitárias e conjuntos soldados) entre as operações de trabalho.
Controlador de eventos	Determina a duração da simulação, definindo o intervalo de tempo.	Representa o período de tempo que se deseja simular o processo real.
Área	Define uma área de trabalho onde são alocados os objetos e elementos do processo	Representa a área onde se localiza o processo com suas respectivas máquinas, operadores e peças em processo.
Origem	Cria diferentes entidades em sequência na ordem desejada.	Cria entidades que representam peças ou materiais em processo, conforme Mix desejado.
Saída	Retira as entidades do sistema	Retira as peças ou materiais processados no sistema, como se fossem encaminhados para venda ou armazenamento.
Operação individual	Estação de processamento de material	Representa uma operação que processa peça ou material, modificando as suas características.
Operação de montagem	Estação de montagem de dois ou mais componentes	Representa uma operação de montagem de dois ou mais componentes dando origem a um terceiro componente como resultado da operação.

A tabela 4.1 mostra as funções principais dos objetos disponíveis no Plant Simulation, e como podem ser interpretados para representar um processo de armação de carroceria. O entendimento correto dos objetos disponíveis pelo software é de fundamental importância para a construção correta do modelo para simulação.

Outro fator importante nesta etapa do projeto é o registro das informações utilizadas na construção do modelo. Deve ser feita uma descrição resumida do significado de cada objeto escolhido dentro do *software* como também da lógica empregada na sua construção.

Para finalizar esta etapa, deve-se fazer as ligações entre os objetos escolhidos de modo que os mesmos possam representar de maneira simplificada o processo existente ou o novo processo em planejamento.

4.5 Validação dos modelos para simulação.

Após o término da construção do modelo para simulação, é necessário verificar a sua consistência. Deve-se verificar para todos os objetos criados, se os mesmos executam as funções para os quais foram programados.

Quando se cria um objeto dentro do software como, por exemplo, uma operação individual de trabalho, devem ser fixadas algumas variáveis como tempo de processamento, confiabilidade da estação de trabalho, controles e estratégias de saída. O objeto criado deve ser testado, individualmente e em combinação com outros objetos, sendo que o resultado do teste irá mostrar se os valores atribuídos as variáveis são consistentes ou não.

Os resultados obtidos com a simulação devem ser analisados e comparados com os resultados obtidos em um processo real, avaliando-se a credibilidade do modelo. A figura 4.5 mostra um fluxograma para validação do modelo de simulação construído.

Figura 4.5 - Fluxograma para verificar a validade do modelo de simulação.

Através da aplicação do fluxograma mostrado na figura 4.5, na validação do modelo, certifica-se que o mesmo representa a realidade do processo que se deseja estudar.

Após a validação do primeiro modelo para simulação, os resultados obtidos devem ser discutidos em grupos de trabalho multifuncionais envolvidos no projeto, possibilitando o aperfeiçoamento do modelo.

4.6 Simulação dos modelos e obtenção dos resultados .

O modelo conceito do processo testado e validado nas etapas anteriores permite o início da simulação das alternativas de processo que se deseja avaliar. Nesta etapa, o objetivo é simular o modelo com as diversas alternativas de processo e obter os resultados. A figura 4.6 ilustra esta condição.

Figura 4.6 - Simulação de alternativas de processo, com o modelo conceito.

Os resultados obtidos após a simulação do modelo podem ser consultados em relatórios gerados pelo próprio software. O usuário poderá escolher quais informações deseja receber.

A tabela 4.2 mostra um exemplo de relatório gerado pelo software após simulação do modelo.

Tabela 4.2 - Relatório gerado pelo software após simulação do modelo.

Operação	Tempo de Trabalho (%)	Tempo da estação bloqueada (%)	Tempo da estação quebrada (%)	Tempo da estação parada (%)	Tempo da estação vazia (%)
Operação de montagem nº 10	55,40%	29,60%	3,50%	5,50%	3,10%
Operação de montagem nº 20	49,98%	40,02%	2,00%	4,00%	0,00%
Operação de montagem nº 30	80,56%	9,44%	8,50%	1,50%	0,00%
Operação de montagem nº 40	25,34%	44,66%	15,00%	11,10%	2,48%
Operação de montagem nº 50	47,57%	12,43%	28,00%	1,89%	2,20%
Operação de montagem nº 60	60,82%	34,18%	2,27%	0,00%	0,00%

A duração da simulação é um fator importante a ser considerado. Dependendo da distribuição estatística escolhida para as perdas alocadas em cada objeto, uma duração maior pode fornecer resultados mais confiáveis.

O fluxograma para validação do modelo também deve ser empregado nesta fase do projeto. É importante que os resultados obtidos após a simulação das diferentes alternativas sejam confiáveis e consistentes.

4.7 Análise dos resultados obtidos .

Os resultados obtidos deverão ser reunidos de maneira objetiva, possibilitando a sua análise e interpretação. O objetivo desta etapa é fornecer informações suficientes ao grupo de trabalho sobre o processo de manufatura em estudo, possibilitando uma decisão de qual alternativa de processo será escolhida.

Deverão ser reunidos para análise os resultados e elementos mais relevantes para se atingir os objetivos definidos para o projeto conforme descrito no capítulo 4.1. Por exemplo, se o objetivo é dimensionar a quantidade de estoques de um determinado processo, os dados resultantes da simulação

como tempo de ocupação dos estoques e volume de produção atingido deverão ser levados em consideração.

A simulação do processo representa um dos aspectos levados em consideração para decisão sobre um processo de manufatura existente ou em fase de planejamento. Outros fatores como, políticas da empresa, planejamento estratégico, investimentos, custos variáveis, relação com o sindicato e trabalhadores, também são considerados no momento de decisão.

4.8 Documentação final do projeto.

Após a conclusão do projeto de simulação, todas as notas de trabalho feitas durante o processo de criação deverão ser atualizadas e registradas. É importante este registro, pois o mesmo facilita atualizações ou modificações futuras do projeto.

Um projeto de simulação é um processo cíclico e evolutivo, podendo ser modificado ou melhorado, todas as vezes que surgirem novas informações ou um novo cenário for criado. Portanto a importância de se manter as informações registradas e atualizadas.

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES: VOLKSWAGEN DO BRASIL

A simulação computacional é utilizada na indústria automotiva em duas situações distintas. A primeira situação ocorre na análise de processos existentes, onde os objetivos de maneira geral são o aumento da produtividade, redução de inventário e otimização dos recursos disponíveis. A segunda situação ocorre no desenvolvimento de novos processos para fabricação de novos veículos, onde os objetivos são auxiliar no dimensionamento de mão de obra, quantidade de equipamentos e redução de investimentos.

Neste capítulo serão abordados dois estudos de caso desenvolvidos para a Volkswagen do Brasil. No capítulo 5.1 será mostrado o estudo de caso implantado na fábrica de São Bernardo do Campo, onde o objetivo foi viabilizar a fabricação de um novo veículo em uma linha de produção existente. No capítulo 5.2, será abordado o estudo de caso realizado na fábrica de Taubaté, o qual teve como objetivo o desenvolvimento de um novo processo para a fabricação de um novo veículo.

5.1 Novo Gol Fábrica de São Bernardo do Campo.

A planta Anchieta localizada em São Bernardo do Campo foi submetida ao longo dos últimos 10 anos a vários processos de modernização e reestruturação, os quais a capacitaram a receber novos produtos como, por exemplo, o veículo Polo no ano 2000 e o Fox Europa no ano de 2005.

O projeto do novo Gol nasceu com a premissa de redução de investimento em comparação com projetos semelhantes. Para se atingir este objetivo foram necessárias várias ações de produto e processo para que o projeto fosse viável economicamente. A estratégia de planejamento do processo de manufatura na área de armação de carroceria foi o reaproveitamento parcial das instalações existentes do modelo Polo.

Conforme visto anteriormente no capítulo 2, o processo de manufatura na área de armação de carroceria é dividido em seis etapas: plataforma1, plataforma 2, laterais, partes móveis, carroceria e carroceria com partes móveis. Na produção do novo Gol com exceção das laterais e partes móveis, as demais áreas serão reaproveitadas do modelo Polo.

5.1.1 Descrição do projeto e definição dos objetivos.

O processo que será estudado no projeto de simulação é a montagem da carroceria com partes móveis. Nesta área é feita a montagem das partes móveis (tampas, portas e paralamas) na carroceria bruta e retrabalhos de solda e funilaria. Este processo é denominado de *Finish1*, o qual será objeto deste estudo.

O *Finish1* produz dois modelos Polo Hatch e Sedan com uma capacidade de produção atual de 31 carrocerias por hora. O objetivo do estudo será avaliar se a linha de *Finish1* existente tem capacidade de produzir o novo Gol com acréscimo no volume de produção para 35 carrocerias por hora ou se será necessário a construção de um novo *Finish1* exclusivo para a produção do novo Gol.

Será construído um modelo para simulação da linha de produção existente, onde serão aproveitadas as estações de trabalho atualmente vazias, para introdução das operações específicas do novo Gol.

5.1.2 Planejamento do projeto para simulação.

Nesta fase do planejamento foram observados os elementos que compõe o processo de *Finish1*. A seleção dos componentes contidos no modelo de simulação foi feita levando-se em consideração a sua relevância para se atingir o objetivo do estudo descrito no capítulo 5.1.1.

No *Finish1* cada carroceria processada é posicionada sobre uma estrutura metálica soldada denominada de Skid. As carrocerias posicionadas sobre os Skids são transportadas automaticamente através de mesas motorizadas com roletes, sendo que cada mesa corresponde a uma estação de trabalho. Ao lado das estações de trabalho existe uma plataforma onde os operadores se posicionam para executar as suas operações.

A segurança do processo é feita através de um PLC de segurança que processa os sinais enviados por sensores de movimento localizados na frente e ao lado das mesas transportadoras e também pelas botoeiras localizadas ao lado de cada estação de trabalho. Após o término de uma operação cada operador se posiciona atrás de uma faixa demarcada no piso da plataforma, onde se encontra uma botoeira que deverá ser acionada, se por algum motivo o operador avançar a faixa demarcada durante o movimento das carrocerias o processo é automaticamente interrompido.

O modelo sendo uma representação simplificada da realidade deverá conter alguns dos elementos existentes no processo real. Sendo assim apenas os componentes relevantes para se atingir os objetivos anteriormente definidos, serão representados no modelo.

A figura 5.1 ilustra alguns dos componentes do processo real que serão representados no modelo.

Figura 5.1 - Componentes do processo de *Finish1*.

As variáveis de entrada consideradas foram respectivamente os tempos de fabricação divididos por modelo, quantidades de operadores, MTTR, MTBF, perdas administrativas e disponibilidade real da instalação. A tabela 5.1, mostra as variáveis de entrada consideradas na elaboração do modelo para simulação.

Tabela 5.1 - Tabela com as variáveis de entrada utilizadas na construção do modelo da linha de produção de *Finish1*.

Variáveis de Entrada											
Operação Nº	Descrição das operações	Tempo de processo			Qtde de Operadores	Perdas Manutenção			Perdas Administrativas	Disponibilidade de Total do Finish1	Mix de produção
		Polo Hatch	Polo Sedan	novo Gol		MTTR	MTBF	Disponibilidade Finish1 (A)			
		[minutos]	[minutos]	[minutos]		[minutos]	[minutos]	%		%	
10	Elevador	1,0000	1,0000	1,0000	0	23,0	262978,0	99,99%	99,01%	99,00%	<div> Novo Gol = 05 </div> <div> Polo Sedan = 02 </div> <div> Polo Hatch = 01 </div>
20	Rebatimento e lixamento de flanges	1,0760	1,7784	1,3350	1	20,5	23907,1	99,91%	99,01%	98,93%	
30	Rebatimento e lixamento de flanges	1,3570	1,3570	1,3350	1	15,0	52595,6	99,97%	99,01%	98,98%	
40	Rebatimento e lixamento de flanges	1,1880	1,1880	1,3350	2	14,2	43829,7	99,97%	99,01%	98,98%	
50	Vazia	0,1500	0,1500	0,1500	0	16,3	65744,5	99,98%	99,01%	98,99%	
60	Montagem das Portas Traseiras Polo Hatch e Sedan	1,2000	1,2000	0,1500	4	18,2	18784,1	99,90%	99,01%	98,91%	
70	Montagem das Portas Dianteiras Polo Hatch e Sedan ou Portas Traseiras novo Gol	1,2000	1,2000	1,2450	4	10,0	52595,6	99,98%	99,01%	98,99%	
80	Montagem das Portas Dianteiras novo Gol	0,1500	0,1500	1,2450	2	15,0	131489,0	99,99%	99,01%	99,00%	
90	Ajuste das portas Polo Hatch, Sedan e novo Gol	1,8533	1,8533	1,0620	2	10,0	192480,0	99,99%	99,01%	99,00%	
100	Ajuste das portas Polo Hatch, Sedan e novo Gol	1,8533	1,8533	1,0620	2	21,4	32872,3	99,93%	99,01%	98,95%	
110	Aplicação Massa vedação e aplicação de torque	1,2440	1,2440	1,2440	4	10,7	87659,3	99,99%	99,01%	99,00%	
120	Montagem Paralamas Polo Hatch, Sedan e novo Gol	1,3140	1,3140	1,3140	3	12,5	131489,0	99,99%	99,01%	99,00%	
130	Fixação e Ajuste Paralamas	1,0310	1,0310	1,1030	3	21,3	65744,5	99,97%	99,01%	98,98%	
140	Montagem Tampa Traseira Polo Hatch, Sedan e novo Gol	1,3690	1,3690	1,1030	1	28,2	29219,8	99,90%	99,01%	98,91%	
150	Montagem Tampa Dianteira Polo Hatch, Sedan e novo Gol	1,3690	1,3690	1,3690	2	35,0	262978,0	99,99%	99,01%	99,00%	
160	vazia	0,1500	0,1500	0,1500	0	35,0	131489,0	99,97%	99,01%	98,98%	
170	Ajuste Tampas Dianteiras e Traseira Polo Hatch, Sedan e novo Gol	3,1600	4,1000	2,6667	2	6,0	131489,0	100,00%	99,01%	99,01%	
180	Ajuste Tampas Dianteiras e Traseira Polo Hatch, Sedan e novo Gol	3,1600	4,1000	2,6667	2	5,0	262978,0	100,00%	99,01%	99,01%	
190	Ajuste Tampas Dianteiras e Traseira Polo Hatch, Sedan e novo Gol	3,1600	4,1000	2,6667	2	10,0	131489,0	99,99%	99,01%	99,00%	
200	Vazia	0,1500	0,1500	0,1500	0	15,7	37568,3	99,96%	99,01%	98,97%	
210	Elevador	1,0000	1,0000	1,0000	0	17,5	131489,0	99,99%	99,01%	99,00%	

Assim como as variáveis de entrada a lógica contida no processo também foi representada no modelo de simulação. O layout e o fluxo de peças e conjuntos representaram a lógica existente no processo de *Finish1*. A figura 5.2, ilustra a lógica do processo.

Figura 5.2 - Lógica existente no processo de *Finish1*.

Após o término da fase de planejamento, onde os elementos contidos no processo real foram analisados e selecionados de acordo com a sua relevância, foi necessário definir quais seriam as variáveis de saída do modelo. Para este estudo as variáveis de saída escolhidas foram o tempo de trabalho no qual cada estação esteve ocupada no processamento das carrocerias, tempo da estação bloqueada devido a estação seguinte não ter finalizado sua operação, tempo da estação quebrada representando falha no equipamento, tempo da estação parada devido a paradas programadas como refeição e TPM, tempo da estação vazia por falta de carrocerias e volume de produção.

5.1.3 Levantamento das informações necessárias para construção dos modelos.

No levantamento das informações necessárias para o projeto de simulação, foi utilizado o fluxograma mostrado no capítulo 4. Por se tratar de um processo existente foram consultados diferentes departamentos dentro da empresa. A tabela 5.2 mostra as principais informações obtidas e as respectivas áreas envolvidas.

Tabela 5.2 - Fluxograma de informações utilizado na construção do modelo da linha de produção de *Finish1*.

Informação	Software ou Sistema	Departamento responsável
Tempos de processo	Arbeitsplan	Engenharia Industrial
Disponibilidade dos equipamentos	SINPE (Sistema indetificador de perdas)	Engenharia de Manutenção
Layout de processo 2D	Microstation 2D	Engenharia de Série
Volume de produção	Intranet	Engenharia de Manufatura Avançada
Mix de produção		

5.1.4 Construção dos modelos para simulação.

Nesta etapa todas as informações necessárias para a construção do modelo devem estar disponíveis. Conforme definido nas etapas anteriores, os elementos do processo e seus respectivos valores obtidos nas diferentes áreas da empresa devem estar relacionados de maneira resumida e objetiva.

O software de simulação dispõe de diversos objetos que podem representar os elementos do processo real. Para a construção do modelo foi necessário fazer uma correlação entre os objetos disponíveis no banco de dados do software e os elementos existentes no processo real. A figura 5.3 mostra a correlação feita entre alguns elementos existentes no *Finish1* e os objetos

correspondentes encontrados no software Plant Simulation, como também as entradas e saídas do processo.

Figura 5.3 - Elementos do *Finish1* contidos no modelo para simulação.

Interpretar o significado dos objetos disponíveis no software de simulação e relacioná-los corretamente com os elementos reais contidos no processo, é de fundamental importância para que o modelo represente corretamente o processo real.

Conforme visto no capítulo 4, os primeiros modelos construídos devem conter apenas algumas operações existentes no processo real, desta maneira é possível testá-los individualmente e assim verificar erros de programação mais rapidamente do que se a análise fosse feita no modelo completo do processo. As nomenclaturas utilizadas para os objetos devem corresponder ao processo real. A programação feita para representar a lógica do processo deve ser comentada, para que nas etapas seguintes possa ser interpretada corretamente.

O modelo simplificado do *Finish1* construído para testes contém os principais elementos como estações de trabalho, ligações entre os objetos representando o fluxo produtivo, controlador de evento o qual informa a duração da simulação, calendário com horários dos turnos de trabalho e respectivas pausas.

A figura 5.4 ilustra o modelo simplificado do *Finish1*.

Figura 5.4 - Modelo simplificado do *Finish1*.

Após conclusão e teste dos modelos simplificados, foi construído um modelo completo para validação através de comparativo feito com o processo real.

5.1.5 Validação dos modelos para simulação.

O processo de validação para o modelo completo do *Finish1* foi feito em duas etapas. A primeira teve como objetivo simular o modelo e verificar a existência de inconsistências na programação, variáveis e lógica que impeçam o mesmo de produzir os resultados esperados. Depois de concluída esta etapa, foi feita a validação dos resultados obtidos através de comparativos com o processo real.

Para possibilitar a reprodução da lógica existente no processo real, o modelo completo para simulação foi construído com auxílio de objetos disponíveis pelo software chamados de métodos. Os métodos são programas vazios onde se podem introduzir rotinas de programação, as quais são acionadas dependendo da fase de simulação.

Para este estudo, foram criados métodos para o cálculo dos volumes de produção horária e diária e introdução das variáveis de processo como tempos e disponibilidade de cada estação de trabalho em função do modelo de carroceria processada. Os erros ocorridos na primeira etapa de validação, foram na sintaxe de programação contida nos métodos criados para o modelo.

A sintaxe de programação foi corrigida e a simulação pode ser concluída, gerando as variáveis de saída definidas no capítulo 5.1.2. O modelo simulado foi baseado no processo existente, porém com acréscimo de operadores, aproveitamento de estações de trabalho anteriormente vazias e redistribuição de tarefas. Sendo assim a primeira etapa de validação do modelo foi concluída com sucesso.

A segunda etapa propõe a validação dos resultados obtidos no processo real, ou seja, foram reproduzidas as condições do modelo no processo real e apurados os resultados.

A estratégia adotada foi modificar o modelo já validado na primeira etapa, para que o mesmo reproduzisse o processo atual. O modelo foi simulado com a nova configuração, e o volume de produção obtido foi de 18 carrocerias por hora, após o período correspondente a um turno de produção, resultado foi semelhante ao obtido pelo processo real.

Este resultado possibilitou a validação do modelo pelo grupo de trabalho e permissão para prosseguir nas etapas seguintes.

5.1.6 Simulação dos modelos e obtenção dos resultados.

Com o modelo construído e validado nas etapas anteriores, pode se iniciar a simulação com as diferentes alternativas. O objetivo desta etapa foi verificar se após a redistribuição de operações e acréscimo de operadores seria possível atingir o volume horário de produção planejado de 35 carrocerias. A figura 5.5 mostra o modelo do *Finish1* utilizado no estudo.

Figura 5.5 - Modelo completo do *Finish1* utilizado para simulação.

O *Finish1* é composto de 21 estações, sendo 19 disponíveis para processo e 2 para transporte de carrocerias. Para a produção de 18 carrocerias por hora o *Finish1* dispõe de 24 operadores distribuídos em 14 estações de

trabalho. Com a introdução do novo Gol, houve a necessidade de acréscimo de volume e aumento na complexidade de produção.

Foram feitas algumas alternativas, propondo a redistribuição de operações e acréscimo de operadores aproveitando estações anteriormente vazias. A tabela 5.3, mostra as alternativas simuladas no modelo do *Finish1* e os resultados obtidos.

Tabela 5.3 - Alternativas de acréscimo de operadores simuladas no modelo do *Finish1*.

		Operação Nº	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	Total
Alt. 1	Variáveis de entrada	Qtde Operadores	Elevador	1	1	1	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	1	1	1	0	Elevador	24
	Variáveis de saída	Tempo de Trabalho (%)	44,6	52,9	51,5	76,3	0,0	46,4	74,2	41,1	39,0	40,0	74,8	64,2	56,9	48,6	79,8	0,0	76,2	62,6	65,4	0,0	47,6	
		Tempo da estação bloqueada (%)	49,1	40,1	41,4	16,5	83,9	42,9	17,1	44,6	48,1	49,7	17,1	26,0	33,0	41,6	11,1	60,6	7,2	7,4	2,9	33,4	0,3	
		Tempo da estação quebrada (%)	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	0,6	0,8	0,9	0,5	1,0	0,8	1,3	1,1	0,3	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	
		Tempo da estação parada (%)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	
		Tempo da estação vazia (%)	0,0	0,5	0,9	1,0	9,8	4,1	2,0	8,2	6,6	3,8	2,0	3,2	3,7	2,9	2,5	33,6	10,6	23,7	25,7	60,5	46,0	
	Volume horário de Produção		18																					
Alt. 2	Variáveis de entrada	Qtde Operadores	Elevador	1	1	2	0	2	3	2	1	1	3	2	2	1	2	0	2	2	2	0	Elevador	29
	Variáveis de saída	Tempo de Trabalho (%)	52,9	65,2	63,1	61,2	0,0	55,5	71,9	47,7	69,0	62,6	72,4	81,9	71,1	58,9	63,9	0,0	49,1	58,8	62,2	0,0	57,3	
		Tempo de estação bloqueada (%)	40,8	27,8	29,5	31,0	91,0	35,8	18,0	39,6	18,0	14,5	9,6	7,1	4,1	5,7	5,5	31,4	4,1	4,5	2,1	30,0	0,3	
		Tempo de estação quebrada (%)	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	0,6	0,8	0,9	0,5	1,0	0,8	1,3	1,1	0,3	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	
		Tempo de estação parada (%)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	
		Tempo de estação vazia (%)	0,0	0,6	1,2	1,5	2,7	2,0	3,4	6,6	6,6	16,4	11,9	4,4	18,4	28,6	24,0	62,7	40,8	30,4	29,6	63,9	36,2	
	Volume horário de Produção		27																					
Alt. 3	Variáveis de entrada	Qtde Operadores	Elevador	1	1	2	0	2	3	2	2	2	4	2	2	1	2	0	2	2	2	0	Elevador	32
	Variáveis de saída	Tempo de Trabalho (%)	53,7	66,4	64,2	62,3	0,0	56,4	73,2	48,3	45,1	46,7	60,9	83,6	72,4	59,8	65,0	0,0	51,0	59,4	62,4	0,0	58,3	
		Tempo de estação bloqueada (%)	40,0	26,6	28,4	29,9	90,9	34,8	16,5	37,2	41,1	42,4	29,9	7,3	4,3	6,0	5,8	31,9	4,2	4,4	2,2	30,0	0,4	
		Tempo de estação quebrada (%)	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	0,6	0,8	0,9	0,5	1,0	0,8	1,3	1,1	0,3	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	
		Tempo de estação parada (%)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	
		Tempo de estação vazia (%)	0,0	0,6	1,2	1,5	2,8	2,2	3,5	8,4	7,5	4,4	3,1	2,5	16,9	27,3	22,6	62,3	38,8	29,9	29,4	63,9	35,2	
	Volume horário de Produção		28																					
Alt. 4	Variáveis de entrada	Qtde Operadores	Elevador	1	1	2	0	2	4	2	2	2	4	3	3	1	2	0	2	2	2	0	Elevador	35
	Variáveis de saída	Tempo de Trabalho (%)	59,7	75,3	72,6	70,3	0,0	63,0	68,1	53,1	48,2	52,1	68,6	71,1	62,3	67,3	73,6	0,0	71,6	59,1	62,9	0,0	65,4	
		Tempo de estação bloqueada (%)	33,9	17,7	19,8	21,7	89,4	27,7	13,2	22,5	25,4	28,5	18,4	16,0	23,3	19,7	13,8	59,0	9,5	8,7	5,2	41,1	0,4	
		Tempo de estação quebrada (%)	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	0,6	0,8	0,9	0,5	1,0	0,8	1,3	1,1	0,3	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	
		Tempo de estação parada (%)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	
		Tempo de estação vazia (%)	0,1	0,7	1,4	1,8	4,3	2,6	11,9	18,3	20,1	13,0	6,9	6,4	8,1	6,2	6,0	35,2	12,9	26,0	25,9	52,8	28,2	
	Volume horário de Produção		34																					
Alt. 5	Variáveis de entrada	Qtde Operadores	Elevador	1	1	2	0	4	4	2	2	2	4	3	3	1	2	0	2	2	2	0	Elevador	37
	Variáveis de saída	Tempo de Trabalho (%)	60,2	76,0	73,3	70,9	0,0	63,0	68,7	53,5	50,6	50,3	69,1	71,7	62,8	67,8	74,3	0,0	72,3	59,9	63,0	0,0	65,9	
		Tempo de estação bloqueada (%)	33,4	16,9	18,0	19,8	82,1	23,5	21,0	33,3	35,6	36,9	20,6	17,8	25,6	20,9	14,3	60,1	9,9	8,5	5,3	41,4	0,3	
		Tempo de estação quebrada (%)	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	0,6	0,8	0,9	0,5	1,0	0,8	1,3	1,1	0,3	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	
		Tempo de estação parada (%)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	
		Tempo de estação vazia (%)	0,1	0,7	2,4	3,0	11,6	6,9	3,6	7,2	7,4	6,3	4,1	3,9	5,3	4,4	4,8	34,1	11,9	25,3	25,8	52,5	27,7	
	Volume horário de Produção		35																					

O modelo foi simulado por um período de 30 dias, considerando uma jornada semanal de trabalho de 5 dias com 3 turnos, contendo 22,4 horas disponíveis por dia.

Para a obtenção detalhada dos resultados da simulação, foi criada uma rotina de programação dentro do modelo, a qual resultou em um relatório mostrando os volumes horários de produção durante um período de 30 dias. A tabela 5.4 mostra o relatório resultante da simulação com 37 operadores.

Tabela 5.4 - Relatório da simulação com 37 operadores no *Finish1*.

File Edit Format Navigate View Tools Help														
22.00														
	string 0	real 1	real 2	real 3	real 4	real 5	real 6	real 7	real 8	real 9	real 10	real 11	real 12	real 13
string		1seg	2ter	3qua	4qui	5sex	6sáb	7dom	8seg	9ter	10qua	11qui	12sex	13sáb
2	01:00 - 02:00	0.00	36.00	32.00	40.00	38.00	40.00	0.00	0.00	30.00	21.00	40.00	27.00	16.00
3	02:00 - 03:00	0.00	35.00	38.00	36.00	39.00	33.00	0.00	0.00	38.00	39.00	34.00	10.00	33.00
4	03:00 - 04:00	0.00	37.00	35.00	40.00	34.00	39.00	0.00	0.00	36.00	14.00	38.00	35.00	33.00
5	04:00 - 05:00	0.00	36.00	40.00	35.00	40.00	38.00	0.00	0.00	40.00	34.00	36.00	32.00	37.00
6	05:00 - 06:00	0.00	37.00	39.00	23.00	31.00	31.00	0.00	0.00	37.00	32.00	35.00	30.00	37.00
7	06:00 - 07:00	23.00	31.00	37.00	32.00	35.00	0.00	0.00	37.00	32.00	29.00	37.00	32.00	0.00
8	07:00 - 08:00	33.00	32.00	36.00	36.00	38.00	0.00	0.00	37.00	35.00	40.00	24.00	35.00	0.00
9	08:00 - 09:00	34.00	37.00	38.00	28.00	36.00	0.00	0.00	35.00	39.00	37.00	35.00	39.00	0.00
10	09:00 - 10:00	35.00	38.00	35.00	37.00	38.00	0.00	0.00	26.00	40.00	37.00	39.00	40.00	0.00
11	10:00 - 11:00	37.00	37.00	18.00	38.00	38.00	0.00	0.00	21.00	36.00	34.00	38.00	31.00	0.00
12	11:00 - 12:00	5.00	5.00	2.00	3.00	2.00	0.00	0.00	3.00	5.00	4.00	1.00	3.00	0.00
13	12:00 - 13:00	30.00	36.00	35.00	30.00	38.00	0.00	0.00	18.00	35.00	37.00	40.00	39.00	0.00
14	13:00 - 14:00	12.00	22.00	35.00	9.00	36.00	0.00	0.00	41.00	38.00	26.00	36.00	37.00	0.00
15	14:00 - 15:00	37.00	31.00	37.00	33.00	24.00	0.00	0.00	34.00	36.00	25.00	38.00	32.00	0.00
16	15:00 - 16:00	27.00	9.00	39.00	36.00	38.00	0.00	0.00	41.00	35.00	19.00	36.00	39.00	0.00
17	16:00 - 17:00	28.00	36.00	32.00	34.00	30.00	0.00	0.00	23.00	41.00	39.00	33.00	37.00	0.00
18	17:00 - 18:00	41.00	39.00	35.00	10.00	26.00	0.00	0.00	29.00	31.00	23.00	10.00	38.00	0.00
19	18:00 - 19:00	38.00	38.00	39.00	26.00	38.00	0.00	0.00	37.00	32.00	39.00	30.00	9.00	0.00
20	19:00 - 20:00	4.00	4.00	2.00	4.00	3.00	0.00	0.00	4.00	3.00	5.00	2.00	2.00	0.00
21	20:00 - 21:00	26.00	35.00	39.00	34.00	38.00	0.00	0.00	37.00	34.00	35.00	38.00	40.00	0.00
22	21:00 - 22:00	38.00	39.00	33.00	40.00	38.00	0.00	0.00	39.00	24.00	33.00	18.00	39.00	0.00
23	22:00 - 23:00	38.00	29.00	38.00	0.00	39.00	0.00	0.00	30.00	33.00	34.00	40.00	30.00	0.00
24	23:00 - 00:00	32.00	25.00	36.00	35.00	27.00	0.00	0.00	39.00	39.00	39.00	37.00	35.00	0.00
25	JPD	518.00	743.00	785.00	676.00	784.00	220.00	0.00	531.00	783.00	699.00	749.00	724.00	193.00
26	JPH Média	33.97	34.32	36.26	31.22	36.21	36.67	0.00	34.82	36.17	32.29	34.60	33.44	32.17
27	JPH Média mensal	35.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	JPD Média mensal	752.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5.1.7 Análise dos resultados obtidos.

A simulação anteriormente realizada sem auxílio da simulação computacional mostrou uma capacidade máxima de produção no *Finish1* de 31 carrocerias por hora, o planejamento inicial do processo produtivo do novo Gol previa, portanto a construção de uma nova linha de *Finish1* na planta Anchieta.

O menor orçamento para construção da nova linha de *Finish1*, foi de R\$ 6,7 milhões de reais. Com o objetivo de evitar este investimento, a Engenharia de Manufatura Armação, propôs a utilização da linha de *Finish1* existente com o aproveitamento de estações de trabalho vazias, através da redistribuição de operações e acréscimo de operadores.

Para se atingir o objetivo proposto, foi necessário simular diversos modelos contendo diferentes configurações de mão de obra e distribuição de operações. A simulação destas alternativas no processo real é inviável economicamente, pois implica em custos elevados para alocação de mão de obra com riscos de perdas produtivas para o processo.

Somente após a utilização do recurso da simulação computacional, foi possível simular os diversos modelos em um ambiente virtual, selecionando uma única alternativa para teste no processo real. Esta sistemática de trabalho resultou em uma alternativa com baixo grau de incerteza.

A redistribuição de operações e utilização de estações anteriormente vazias aumentou a produtividade da instalação. Analisando a tabela 5.3, a alternativa 5 resultou no volume de produção planejado de 35 carrocerias por hora, com 37 operadores distribuídos em 16 estações de trabalho no *Finish1*. Depois de analisado o resultado da simulação, o grupo de trabalho formado pelas áreas de Engenharia de Manufatura, Engenharia Industrial e Produção decidiu testar a alternativa no processo real.

Houve uma preparação pelo grupo de trabalho, que possibilitou o teste no processo real. Os operadores foram treinados nas suas novas tarefas e equipamentos e ferramentas foram instalados nas estações de trabalho anteriormente vazias. O teste foi realizado durante o 2º turno de produção e resultou em uma produção horária de 37 carrocerias, superior à alcançada pelo modelo virtual.

A utilização da linha de *Finish1* existente para fabricação do novo Gol significou, redução no investimento inicialmente planejado para a nova linha de produção, e respectiva redução na mão de obra necessária para operar a nova linha de produção, com conseqüente redução do custo variável.

Após os resultados de volume de produção obtidos, o aproveitamento do *Finish1* na produção do novo Gol, se tornou uma alternativa tecnicamente viável. Após esta constatação a diretoria da Volkswagen Brasil, decidiu cancelar o investimento inicialmente planejado para a construção de uma nova linha de *Finish1*, o que resultou uma economia de R\$ 6,7 milhões de reais para a empresa.

5.1.8 Documentação final do projeto.

Durante o projeto de simulação computacional do *Finish1*, foram envolvidos diversos departamentos da empresa os quais forneceram diferentes tipos de informação. O projeto foi executado por um grupo de trabalho, multifuncional composto por pessoas de diferentes departamentos. O registro das informações contidas nas diferentes etapas de desenvolvimento foi de fundamental importância para o sucesso do projeto.

A sistemática de registro e armazenamento das informações, foi utilizada em todas as etapas do projeto, desde a concepção, coleta de dados, construção dos modelos e simulação no processo real. Dentro dos modelos, por exemplo, cada bloco de programação foi comentado, indicando claramente o seu propósito.

A simulação computacional está incluída no projeto da Fábrica Digital, onde os projetos são armazenados em um computador central denominado servidor, podendo ser acessados através da intranet da Volkswagen do Brasil.

5.2 Novo Gol Fábrica de Taubaté.

A planta da Volkswagen em Taubaté é responsável pela produção do modelo Gol geração IV, duas e quatro portas, como também da Parati. O início de produção do novo Gol e Voyage ocorreu na planta de Taubaté, sendo que para a área de armação de carroceria foi construída uma instalação totalmente nova.

O projeto, planejamento e implantação da linha de produção foram feitos pela Engenharia de Manufatura da Volkswagen do Brasil a qual pela primeira vez utilizou a simulação computacional em todo o planejamento dos processos de manufatura na área de armação de carroceria.

Para viabilizar economicamente a produção do novo veículo, foi necessário reduzir investimentos no planejamento e construção dos processos de manufatura. O recurso de simulação computacional foi utilizado para analisar diferentes alternativas de processo, com o objetivo de selecionar a alternativa com menor investimento.

5.2.1 Descrição do projeto e definição dos objetivos.

O objeto de estudo deste projeto de simulação, será o planejamento das novas instalações para a produção dos conjuntos laterais do novo Gol e Voyage na planta da Volkswagen localizada na cidade de Taubaté. A linha de laterais deverá ter capacidade de produção diária de 700 conjuntos entre novo Gol e Voyage em dois turnos.

A figura 5.6 mostra o produto conjunto lateral e seus respectivos subconjuntos.

Figura 5.6 - Produto lateral do novo Gol.

O objetivo deste projeto será dimensionar a quantidade mínima necessária de estoques de processo, reduzindo a quantidade inicialmente planejada com respectiva redução de investimento, garantindo o volume de produção.

5.2.2 Planejamento do projeto para simulação.

No capítulo 5.1 o objeto de estudo foi um processo de produção existente, no qual os elementos estavam disponíveis para observação e reprodução nos modelos virtuais. Neste estudo será abordado um processo de produção em fase de planejamento.

A escolha dos elementos na fase de planejamento deve estar alinhada com os objetivos definidos no projeto de simulação. O objetivo deste estudo conforme descrito no item 5.2.1 será dimensionar a quantidade mínima de estoques de conjuntos em processo sem prejudicar a capacidade de produção da instalação.

A linha automática de produção do conjunto lateral interno completo será composta de estações manuais para abastecimento dos conjuntos laterais internos dianteiros e traseiros, estações automáticas de solda, estoques intermediários de processo, e transportadores de conjuntos para a linha de fechamento de carroceria. A figura 5.7 ilustra os principais componentes do processo considerados no projeto de simulação.

Figura 5.7 - Componentes do processo do conjunto lateral interno.

As variáveis de entrada consideradas neste estudo foram respectivamente os tempos de fabricação, quantidades de estoques de processo, quantidade de peças em estoque, confiabilidade de equipamentos e estações de trabalho e o mix de produção. A tabela 5.5, mostra as variáveis consideradas para elaboração do modelo para simulação.

Tabela 5.5 - Tabela com as variáveis utilizadas na construção do modelo da linha de produção de laterais.

Variáveis de Entrada								
Op. Nº	Descrição das operações	Tempo de processo		Descrição dos equipamentos contidos na estação de trabalho	Qtde de equipamentos	Confiabilidade dos equipamentos	Confiabilidade Total por operação	Mix de produção
		novo Gol	Voyage					
		[minutos]	[minutos]					
4.10	Abastecimento de sub-conjuntos e geometria do Cj lateral interno dianteira	1,1667		Mesa giratória Robô de manipulação com garra Robô de solda com pinça Operadores Dispositivo de geometria (complexo)	1 1 1 1 2	0,9980 0,9951 0,9988 0,9800 0,9930	95,844%	<div> <div>novo Gol = 5</div> <div> </div> <div> </div> <div> <div>Voyage = 3</div> <div> </div> </div> </div>
4.20	Armazenamento de Cjs laterais dianteiros em processo	1,0000		Estoque intermediário	1	0,9980	99,800%	
5.20	Abastecimento de sub-conjuntos e geometria do Cj lateral interno traseiro	1,1667	1,1667	Mesa giratória Robô de manipulação com garra Robô de solda com pinça Operadores Dispositivo de geometria (complexo)	1 1 1 2 4	0,9980 0,9973 0,9988 0,9800 0,9930	92,825%	
5.30	Complemento de pontos (respot) de solda Cj lateral interno traseiro	1,1667	1,1667	Dispositivo de respot Robô com garra Robô com pinça de solda	1 1 1	0,9970 0,9973 0,9988	99,308%	
5.40	Armazenamento de Cjs laterais traseiros em processo	1,0000		Estoque intermediário	1	0,9980	99,800%	
5.41	Armazenamento de Cjs laterais traseiros em processo		1,0000	Estoque intermediário	1	0,9980	99,800%	
6.10	Geometria Cj lateral completo	1,1667	1,1667	Mesa giratória Robô de solda com pinça Dispositivo de geometria (complexo) Robô de manipulação com garra	1 2 2 1	0,9980 0,9988 0,9930 0,9973	97,900%	
6.20	Complemento de pontos (respot) de solda Cj lateral interno completo	1,1667	1,1667	Dispositivo de respot Robô com garra Robô com pinça de solda Robô com equipamento solda MIG	1 1 1 2	0,9970 0,9973 0,9988 0,9850	96,351%	
6.30	Armazenamento de Cjs laterais completos em processo		1,0000	Esteira de acúmulo	1	0,9980	99,800%	

Assim como descrito para o *Finish1*, a lógica existente no processo de produção dos conjuntos laterais será representada pelo layout e fluxo de peças e conjuntos. A figura 5.8, ilustra tais elementos.

Figura 5.8 - Lógica existente no processo.

As variáveis de saída escolhidas para este estudo foram o tempo de ocupação dos estoques intermediários de processo e o volume de produção.

5.2.3 Levantamento das informações necessárias para construção dos modelos.

Análogo ao estudo do *Finish1* foi utilizado o fluxograma de informações mostrado no capítulo 4. Por se tratar de um processo em fase de desenvolvimento, as informações disponíveis foram reunidas na Engenharia de Manufatura Armação e Avançada, responsáveis pelo planejamento de novos processos.

5.2.4 Construção dos modelos para simulação.

Para a construção do modelo da linha de laterais, foi feita uma pesquisa de quais objetos disponíveis no banco de dados do software, poderiam ser utilizados para representar os elementos presentes no processo em estudo.

A figura 5.9 mostra alguns elementos existentes no processo de produção dos conjuntos laterais e os respectivos objetos do software Plant Simulation, como também as entradas e saídas do processo.

Figura 5.9 - Elementos do processo de produção dos conjuntos laterais contidos no modelo para simulação.

Foram construídos inicialmente modelos simplificados do processo, contendo algumas estações de solda e estoques intermediários. O objetivo principal foi testar os objetos individualmente e as ligações entre os mesmos.

5.2.5 Validação dos modelos para simulação.

O projeto de simulação descrito neste estudo foi feito para um processo em fase de desenvolvimento, planejado para produzir um novo produto, para o qual não havia processo de fabricação semelhante instalado.

Por não existir processo semelhante a validação foi feita apenas com o modelo para simulação considerando os dados de entrada resultantes do planejamento do processo. O modelo construído para simulação foi testado, sendo que durante os testes foram corrigidas inconsistências na programação dos métodos para representação do fluxo de conjuntos em processo e também nas ligações feitas entre os objetos. Após simulação efetuada durante um período de 30 dias, não ocorrem erros e foi possível obter as variáveis de saída definidas no capítulo 5.2.2. Com estes resultados o modelo foi validado pelo grupo de trabalho e foi possível prosseguir nas etapas posteriores.

5.2.6 Simulação dos modelos e obtenção dos resultados.

Nesta etapa, o modelo completo do novo processo foi simulado, com diferentes alternativas. O objetivo para este estudo foi dimensionar a quantidade mínima de estoques intermediários de processo e a quantidade de conjuntos dentro destes estoques, de modo a garantir o volume diário de produção planejado de 700 conjuntos laterais. A figura 5.10 mostra o modelo representativo da instalação produtiva planejada para o conjunto lateral interno.

Figura 5.10 - Modelo representativo da instalação produtiva planejada para o conjunto lateral interno.

Conforme visto no capítulo 2 o processo em estudo, é um sistema em série para o qual a confiabilidade do sistema é definida pelo produto da confiabilidade de seus componentes. A equação 13 mostra o cálculo da confiabilidade da linha automática de armação do conjunto lateral do novo Gol e Voyage sem o acréscimo de estoques intermediários de processo, exceto os estoques de conjuntos entre a instalação dos laterais e a linha de fechamento de carroceria do novo Gol e Voyage.

$$R_s = (0,9584 \times 0,9283 \times 0,9931 \times 0,9790 \times 0,9635 \times 0,9980) = 0,8320 \quad (13)$$

Para aumentar a disponibilidade do sistema, foram introduzidos estoques intermediários de processo, os quais possibilitaram ao sistema continuar em funcionamento mesmo em caso de falha nas estações de abastecimento e solda dos conjuntos laterais dianteiro e traseiro. A tabela 5.6 mostra os tempos de ocupação para cada estoque de processo e os respectivos volumes de produção obtidos após a simulação das alternativas introduzindo

estoques intermediários de processo e variando a quantidade de conjuntos em cada estoque.

Tabela 5.6 – Resultados obtidos após simulação das alternativas para introdução de estoques intermediários de processo.

Alternativas para simulação							
			Estoque Lateral interno dianteiro novo Gol e Voyage	Estoque Lateral interno traseiro novo Gol	Estoque Lateral interno traseiro Voyage	Estoque Lateral interno completo novo Gol	Estoque Lateral interno completo Voyage

Alternativa 1	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	-	-	-	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	-	-	-	1	1
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação (%)	-	-	-	43%	17%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	662				
Alternativa 2	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	1	1	1	1	1
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	47%	30%	31%	22%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	671				
Alternativa 3	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	1	2	1	1	1
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	29%	33%	39%	17%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	674				
Alternativa 4	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	1	2	2	2	2
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	37%	22%	26%	16%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	698				
Alternativa 5	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	1	3	2	5	5
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	31%	40%	9%	5%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	702				
Alternativa 6	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	2	3	2	5	5
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	29%	26%	9%	5%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	702				
Alternativa 7	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	2	3	3	5	5
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	33%	19%	8%	6%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	703				
Alternativa 8	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	2	4	3	10	10
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	31%	22%	6%	2%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	706				
Alternativa 9	Variáveis de entrada	Qtde de estoques de processo	1	1	1	1	1
		Qtde de conjuntos armazenados	2	4	3	20	20
	Variáveis de saída	Tempo de Ocupação(%)	99%	31%	22%	3%	1%
		Volume diário de produção novo Gol e Voyage	706				

O modelo foi simulado por um período de 30 dias, considerando uma jornada semanal de trabalho de 5 dias com 2 turnos e 15,4 horas disponíveis por dia.

5.2.7 Análise dos resultados obtidos.

Os fatores críticos neste estudo foram o investimento e espaço disponível dentro do processo automático para instalação dos estoques de processo.

Outro fator importante considerado foi a quantidade de conjuntos armazenados em cada estoque. Para o conjunto lateral interno traseiro a capacidade de armazenamento foi limitada em 5 unidades devido ao perfil das peças.

O primeiro modelo construído para simulação foi feito sem estoques para os conjuntos lateral interno dianteiro e traseiro, apenas para o conjunto lateral completo. O volume de produção resultante foi de 662 conjuntos laterais, inferior ao planejado.

Para os modelos seguintes correspondentes as alternativas 2 a 9, foram considerados estoques intermediários para os conjuntos lateral interno dianteiro e traseiro, variando-se a quantidade de conjuntos armazenados em cada estoque.

Analizando os resultados da tabela 5.6, nota-se que na alternativa 4 o acréscimo de 1 posição nos estoques de lateral interno traseiro do Voyage e lateral completo do novo Gol e Voyage, resultou no aumento do volume diário de produção de 24 conjuntos lateral completo. Este resultado evidenciou que os conjuntos armazenados permitem que a instalação continue produzindo, mesmo após falha nas estações anteriores.

Observa-se também que para o conjunto lateral completo, o acréscimo de posições para armazenamento de conjuntos nos estoques intermediários de processo reduziu o tempo de ocupação e aumentou a ociosidade dos mesmos. Foi estabelecida uma quantidade mínima de conjuntos armazenados em cada estoque, de modo a garantir a disponibilidade da instalação e volume diário de produção evitando o acréscimo desnecessário de conjuntos armazenados.

Em projetos anteriores foi estabelecido que a quantidade mínima de estoque entre os processos de lateral e fechamento de carroceria deveria ser de 20 posições. Entre as alternativas 8 e 9 foi alterada a capacidade de armazenamento de conjuntos lateral completo de 10 para 20. O resultado da simulação mostrou que esta alteração não resultou em acréscimo de volume.

A partir da alternativa 5, foi possível obter um volume de produção superior a 700 conjuntos laterais por dia, porém o planejamento do processo foi feito, levando-se em consideração os resultados obtidos na alternativa 8. O volume diário de produção de 706 laterais obtido foi determinante para sua escolha, pois garantiu uma margem de segurança em relação ao volume de produção planejado.

Os resultados para empresa após a conclusão deste projeto de simulação foram a redução de investimento na ordem de R\$ 100.000,00 devido a redução da capacidade inicialmente planejada para o estoque de conjuntos lateral completo de 20 para 10 posições e a definição da quantidade mínima necessária de estoques intermediários de processo garantindo a capacidade produtiva da instalação.

5.2.8 Documentação final do projeto.

Análogo ao procedimento utilizado no estudo do *Finish1* descrito no capítulo 5.1.1, todas as informações obtidas ao longo do projeto foram registradas e armazenadas de maneira sistemática, estando disponíveis para consulta no servidor da Fábrica Digital da Volkswagen do Brasil.

6. CONCLUSÕES

A sobrevivência das empresas automotivas depende da sua capacidade de inovação e adaptação às exigências de um mercado em constante mudança. Variações na demanda, necessidade de lançamento de novos produtos, são fatores, que exigem processos de manufatura flexíveis. Dentre os processos de manufatura existentes na indústria automotiva, a área de armação de carroceria reúne o maior grau de automação e conseqüente complexidade.

A metodologia mostrada no trabalho possibilitou a utilização de maneira sistemática da simulação computacional, aplicada ao planejamento e implantação de novos processos de manufatura na área de armação de carroceria, como também na análise e melhoria na produtividade de processos existentes.

Os resultados proporcionados para a empresa foram a redução do investimento na implantação do processo de fabricação do novo Gol, ao se evitar a construção de uma nova linha de *Finish1* na fábrica de São Bernardo do Campo, o que resultou em uma economia de R\$ 6,7 milhões de reais, como também a redução da capacidade inicialmente planejada para o estoque de conjuntos lateral completo de 20 para 10 posições na fábrica de Taubaté, o que resultou em uma economia de R\$ 100.000,00, outros resultados obtidos com o trabalho foram a redução no tempo de planejamento, melhor aproveitamento dos recursos existentes, redução de mão de obra e conseqüente custo variável e flexibilidade nos processos de manufatura implementados.

Um resultado não mensurável em curto prazo, porém importante para a empresa, foi o desenvolvimento de uma nova tecnologia para o desenvolvimento de processos de manufatura.

Um desafio para o futuro será a introdução de processos inteligentes de manufatura, que sejam capazes de fornecer informações em tempo real, as

quais serão utilizadas por um modelo da linha existente preparado para simulação, onde será possível testar diferentes alternativas que após simulação e validação, serão implantadas no processo real com ganhos de produtividade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira edição 2007. Disponível em:<<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 09 . mar.2008.

BERGBAUER, J. **Entwicklung eines Systems zur interaktiven Simulation von Produktionssystemen in einer Virtuellen Umgebung**. 169 p. Tese (Doutorado) – Universidade Clausthal, Clausthal, 2002.

BETHKE, M. **Einsatz der Simulation zur kontinuierlichen Verbesserung eines unterstützenden Prozesses im Rahmen der Aggregatefertigung eines Automobiliherstellers**. 136 p. Tese (Doutorado) – Universidade Clausthal, Clausthal, 2004.

BOLWIJN, P.T.; KUMPE, T. Manufacturing in the 1990's: productivity flexibility and innovation. **Long Range Planning**, v.23, n.4, p. 44-57. 1990.

BRACHT, U.; MASURAT, T. **The digital factory between vision and reality: computers in industry**. v. 56: Special Issue Digital Factory. 2004.

CURRAN, R.; GOMIS, G.; CASTAGNE, S.; BUTTERFIELD, J.; EDGARD, T.; HIGGINS, C.; MCKEEVER, C. Integrated digital design for manufacture for reduced life cycle cost. **International Journal of Production Economics**, v.109, p.27-40, 2007.

GECKLER, D. **Änderungsschleifen in Fahrzeugprojekten: Simulation-Projektmanagement-Prozessgestaltung**. 120 p. Tese (Doutorado) – Universidade Clausthal, Clausthal, 2002.

GUSIKHIN, O.; RYCHTYCKY J, N.; FILEV, D. Intelligent systems in the automotive industry: applications and trends. **Knowledge and Information Systems**, v.12, p. 147-168, 2007.

HAUSER, D.; WECK, L. O. Flexibility in component manufacturing systems: evaluation framework and case study. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.18, p. 421-432, 2007.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2000.

KLAMPFL, E.; GUSIKHIN, O.; ROSSI, G. Optimization of workcell layouts in a mixed-model assembly line environment. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v.17, p. 277-299, 2006.

MASURAT, T. **Neue Organisationsstrukturen für ein integriertes Produkt- und Prozessengineer im Rahmen der Digitalen Fabrik**. 151 p. Tese (Doutorado) – Universidade Clausthal, Clausthal, 2006.

NAKAJIMA, S. **TPM development program**. Productivity Press, 1989.

RICHARDSSON, J.; FABIAN, M. G. Modeling the control of a flexible manufacturing cell for automatic verification and control program generation. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v.18, p. 191-208, 2006.

ROHRER, M.; STRONG, B. Automotive applications of discrete event simulation. **Automotive Manufacturing & Production**; Jul 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHSTON, R. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas. 2002.

SOUZA, G. F. M. **Confiabilidade de Sistemas**. São Paulo: USP, 2008. 26 p. Apostila para disciplina de pós graduação do Departamento de Engenharia Mecânica, PME-5613 - Confiabilidade de Produtos e Sistemas.

VIDAL, O.C. **Aplicação do conceito de fábrica digital no planejamento de instalações para armação de carroçarias na indústria automobilística.** 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, universidade de São Paulo, São Paulo.

WAURZYNIAK, P. **Digital manufacturing taking hold.** Manufacturing Engineering; ABI/INFORM Global, p.47, Jan. 2003.

WAURZYNIAK, P. Enter the virtual world. **Manufacturing Engineering; ABI/INFORM Global**, p.67, Oct. 2007.

WENBIN, Z.; JUANGI, Y.; DEZGZHE, M.; XIUMIN, F. Production engineering-oriented virtual factory: a planning cell-based approach to manufacturing systems design. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.28, p. 957–965, 2006.