

**RENATO FERNANDES DE ARAUJO**

**DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS PARA A  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE PRODUTOS NO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de Engenheiro de  
Produção

São Paulo  
2010

**RENATO FERNANDES DE ARAUJO**

**DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS PARA A  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE PRODUTOS NO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de Engenheiro de  
Produção

Orientador:  
Prof. Eduardo de Senzi Zancul

São Paulo  
2010

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Araujo, Renato Fernandes de**  
**Determinação de requisitos para a implantação de**  
**um laboratório de produtos no Departamento de Engenharia de**  
**Produção / R.F. de Araujo. -- São Paulo, 2010.**  
**p. 130**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade**  
**de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1. Desenvolvimento de produtos 2. Laboratórios I. Universi-**  
**dade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Enge-**  
**nharía de Produção II. t.**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo apoio ao longo dos anos e por dar condições para a realização do curso e do presente trabalho.

Ao Professor Eduardo Zancul pelo cuidadoso acompanhamento, pelas dicas e pelo empenho na orientação.

Aos Professores Klaus Schützer (UNIMEP), Daniel Amaral (EESC-USP) e Marcelo Alves (POLI-USP) pela receptividade e abertura em apresentar os laboratórios e discutir os desafios de implantação.

Aos Professores André, Clóvis, Dario, Fausto, Laerte, Marly e Uiara pelo tempo disponibilizado nas entrevistas e a todos os professores que marcaram a trajetória destes últimos anos.

A todos os colegas com os quais tive a oportunidade de aprender e crescer e que tornaram tudo mais recompensador, em especial os colegas “produteiros” Caio, Damini, Leonardo e Hugo.

À Mariana, pelo apoio incondicional e pela motivação nos momentos difíceis.

## RESUMO

O Desenvolvimento de Produtos se tornou uma maneira efetiva de competir pelos mercados de consumo, uma vez que este se tornou mais exigente e mais segmentado e o ritmo das inovações tecnológicas se acelerou, demandando a criação de novos produtos em espaços de tempo mais curtos. O Engenheiro de Produção tem formação para atuar em diversas etapas do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Dessa forma, o ensino da Engenharia de Produção deve prover condições para que os alunos tenham contato com as ferramentas, os recursos e os métodos empregados no PDP, o que é auxiliado pela utilização de laboratórios para a realização de atividades didáticas de cunho prático.

Este trabalho tem como objetivo levantar os requisitos didáticos para a implantação de um Laboratório de Produtos no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A partir da revisão da literatura especializada em Desenvolvimento de Produtos, da visita a outros laboratórios didáticos e da entrevista com membros do corpo docente do Departamento, são especificados os recursos necessários ao Laboratório de Produtos, entre *softwares*, máquinas e outros equipamentos. Como resultado, são propostos seis módulos para o Laboratório de Produtos, com os respectivos recursos necessários, sugestão de *layout* e orçamento para implantação. Os módulos incluem um espaço para o desenvolvimento de projetos, um espaço para trabalho em equipes, uma sala de aula, uma sala de ergonomia, uma oficina de protótipos e uma sala de realidade virtual. É sugerida a divisão da implantação do Laboratório de Produtos em três fases independentes.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produtos, Laboratórios

## ABSTRACT

Product Development has become an effective way for companies to compete for consumer markets, since these markets have become more demanding and more segmented, and the pace of technological innovation has accelerated, requiring the creation of new products in shorter timeframes. Industrial Engineers have the set of skills to act in various stages of the Product Development Process (PDP). The teaching of Industrial Engineering should provide conditions for students to have contact with the tools, resources and methods used in the PDP. The use of laboratories to carry out educational activities with a practical approach may assist in this goal.

The main objective of this work is to raise the educational requirements for the implementation of a Products Laboratory in the Department of Industrial Engineering of Polytechnic School of the University of São Paulo. From the review of the literature on product development, visits to other laboratories and interviews with members of the teaching body of the Department, the necessary resources for the Products Laboratory are presented, including software, machinery and other equipment. Six modules are proposed for the Products Laboratory, with its resources, suggested layout and budget for implementation. The modules include a space for project development, a space for teamwork, a classroom, an ergonomics room, a prototype workshop and a virtual reality room. It is suggested that the deployment of the Products Laboratory be made in three independent phases.

Keywords: Product Development, Laboratories

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quantidade de professores por grupo de pesquisa .....	17
Figura 2: Laboratório de Informática do PRO.....	19
Figura 3: Mesa de trabalho no laboratório de informática do PRO.....	20
Figura 4: Layout do Laboratório de Projetos da EESC .....	21
Figura 5: Sala de aula com computadores nas mesas de trabalho .....	22
Figura 6: Etapas de execução do trabalho .....	24
Figura 7: Fatores de sucesso no desenvolvimento de novos produtos .....	29
Figura 8: Custos e benefícios em diferentes estágios do processo de desenvolvimento.....	30
Figura 9: Desenvolvimento como simulação do consumo.....	31
Figura 10: Modelo de PDP, com suas macrofases e fases.....	32
Figura 11: Interação entre atividades da fase de Projeto Informacional .....	35
Figura 12: Dependência entre atividades do Projeto Conceitual.....	36
Figura 13: Relação entre as atividades do Projeto Detalhado .....	37
Figura 14: Dependência entre atividades da Preparação da Produção .....	39
Figura 15: Atividades da fase de Lançamento do Produto .....	40
Figura 16: Visualização tridimensional de uma lixeira modelada em ambiente CAD .....	43
Figura 17: Vista isométrica da estrutura de apoio da lixeira da Figura 16 .....	44
Figura 18: Fases consideradas no LCA e entradas e saídas do sistema .....	49
Figura 19: Aplicação da realidade virtual no projeto de um navio .....	52
Figura 20: Sala de aula dentro do LEFA .....	58
Figura 21: Bancadas de trabalho – LEFA .....	59
Figura 22: Tornos mecânicos do laboratório de protótipos.....	59
Figura 23: Centro de usinagem didático – LEFA.....	60
Figura 24: Oficina do LEFA.....	60
Figura 25: Torno CNC – LEFA.....	61
Figura 26: Laboratório PACE .....	62
Figura 27: Estação de trabalho HP .....	62
Figura 28: Sala de projetos do PACE.....	63
Figura 29: Laboratório de CAD - UNIMEP .....	63
Figura 30: Laboratório de informática 1 – UNIMEP .....	64
Figura 31: Recepção e controle de acesso .....	65
Figura 32: Sala Ambiente e detalhe de mesa semicircular .....	65
Figura 33: Processo de design utilizado em ME310 .....	66
Figura 34: Reunião com <i>coach</i> de projeto no <i>Design Loft</i> de Stanford .....	67
Figura 35: Espaço de trabalho dos alunos no <i>Design Loft</i> de Stanford .....	67
Figura 36: Oficina de máquinas do PRL .....	68
Figura 37: Oficina de modelos do PRL .....	68

Figura 38: Área de fundição da Sala de Fundição e Soldagem .....	69
Figura 39: Área de plásticos da Sala de Fundição e Soldagem .....	69
Figura 40: Área de soldagem da Sala de Fundição e Soldagem.....	70
Figura 41: <i>CAD Loft and Photo Studio</i> do PRL .....	70
Figura 42: Disciplinas ligadas ao PDP e sua relação com as fases do modelo de referência...	72
Figura 43: Sistemas de simulação Staudinger para processo em linha e em célula .....	75
Figura 44: Sistema de simulação Staudinger para armazém vertical .....	75
Figura 45: Layout da Sala de aula do Laboratório de Produtos .....	90
Figura 46: Layout da sala de projetos do Laboratório de Produtos.....	92
Figura 47: Layout de escritório proposto pela empresa Giroflex .....	92
Figura 48: Layout proposto para as Salas de Trabalho em Equipe .....	94
Figura 49: Layout proposto para a Sala de Ergonomia .....	96
Figura 50: Layout proposto para a Oficina de Protótipos .....	98
Figura 51: Layout proposto para a Sala de Realidade Virtual.....	99
Figura 52: Investimentos na primeira fase do Laboratório de Produtos .....	101
Figura 53: Investimentos necessários na segunda fase do Laboratório de Produtos.....	102
Figura 54: Investimentos necessários na terceira fase do Laboratório de Produtos .....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos grupos de pesquisa do PRO .....	17
Tabela 2: Atividades da fase de Planejamento Estratégico de Produtos .....	33
Tabela 3: Atividades do Planejamento do Projeto.....	34
Tabela 4: Atividades da fase Acompanhar Produto e Processo .....	41
Tabela 5: Atividades da fase Descontinuar Produto no Mercado .....	41
Tabela 6: Funcionalidades típicas de sistemas PLM .....	48
Tabela 7: Avaliação dos métodos de RP .....	55
Tabela 8: Detalhes dos sistemas para análise multicritério analisados .....	77
Tabela 9: Detalhes dos sistemas para análise qualitativa analisados.....	77
Tabela 10: Sistemas para construção de árvores de decisão .....	78
Tabela 11: Software para análise bibliométrica .....	78
Tabela 12: Sistemas CAD selecionados .....	79
Tabela 13: Software para aplicação de DFE .....	79
Tabela 14: Software para aplicação de DFMA .....	79
Tabela 15: Softwares estatísticos selecionados .....	80
Tabela 16: Softwares para aplicação de FMEA .....	80
Tabela 17: Sistemas para gestão de requisitos .....	81
Tabela 18: Sistemas para gestão de projetos .....	81
Tabela 19: Softwares de auxílio à gestão de riscos .....	81
Tabela 20: Sistema para aplicação de LCA.....	82
Tabela 21: Sistemas para mapeamento de processos .....	82
Tabela 22: Software para mapeamento de redes sociais .....	82
Tabela 23: Plataforma de acesso a softwares livres .....	83
Tabela 24: Sistemas PLM.....	83
Tabela 25: Software para aplicação de QFD .....	83
Tabela 26: Sistema para referênciação .....	84
Tabela 27: Software para aplicação da metodologia MTM .....	84
Tabela 28: Software para tratamento de observações comportamentais .....	84
Tabela 29: Equipamentos de prototipagem rápida .....	85
Tabela 30: Máquinas para fabricação de protótipos .....	86
Tabela 31: Recursos para atividades de Ergonomia.....	86
Tabela 32: Equipamentos para o Laboratório de Produtos.....	86
Tabela 33: Lista de softwares recomendados e custos estimados de aquisição .....	88
Tabela 34: Custo de equipamentos para a Sala de Aula.....	89
Tabela 35: Custo de equipamentos para a Sala de Projetos .....	91
Tabela 36: Custo de equipamentos para a Sala de Trabalho em Equipe .....	93
Tabela 37: Custo de equipamentos para Sala de Ergonomia.....	95
Tabela 38: Custo de equipamentos para Oficina de Protótipos.....	97
Tabela 39: Custo de equipamentos para a Sala de Realidade Virtual .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOM	<i>Bill of Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
DFE	<i>Design for Environment</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
EAP	Estrutura Analítica de Processo
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FAST	<i>Functional Analysis Systems Technique</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
LCA	<i>Life Cycle Analysis</i>
LEFA	<i>Laboratório de Engenharia de Fabricação</i>
PACE	<i>Partners for the Advancement of Collaborative Engineering</i>
PDM	<i>Product Data Management</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
PLM	<i>Program Lifecycle Management</i>
POLI	Escola Politécnica
PRO	Departamento de Engenharia de Produção
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RP	<i>Rapid Prototyping</i>
SSCs	Sistemas, Subsistemas e Componentes
UNIMEP	Universidade Metodista de Piracicaba
USP	Universidade de São Paulo
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>15</b>
1.1	A importância do desenvolvimento de Produtos e o papel do Engenheiro de Produção .....	15
1.1	O PRO - Departamento de Engenharia de Produção da POLI-USP .....	16
1.2	Laboratórios de Informática do PRO.....	18
1.3	A utilização de laboratórios no ensino de Engenharia de Produção.....	20
1.4	Objetivos.....	23
1.5	Organização deste texto .....	23
<b>2</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>24</b>
2.1	Revisão bibliográfica .....	24
2.2	Levantamento de informações.....	25
2.2.1	Benchmark com outras instituições .....	25
2.2.2	Mapeamento de disciplinas usuárias do Laboratório de Produtos .....	25
2.2.3	Levantamento de atividades e recursos necessários ao Laboratório .....	25
2.3	Sistematização de informações e apresentação de resultados .....	26
<b>3</b>	<b>Revisão bibliográfica .....</b>	<b>27</b>
3.1	O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) .....	27
3.1.1	Importância do Desenvolvimento de Produtos .....	27
3.1.2	Características do PDP.....	28
3.1.3	Modelos de PDP e fases do desenvolvimento .....	30
3.2	Modelo de referência para o PDP .....	32
3.2.1	Pré-desenvolvimento .....	33
3.2.2	Desenvolvimento .....	34
3.2.3	Pós-Desenvolvimento.....	40
3.3	Categorias de software utilizadas no PDP .....	42
3.3.1	Gestão de Projetos .....	42
3.3.2	CAD/CAE/CAM.....	42
3.3.3	PDM – <i>Product Data Management</i> .....	46
3.3.4	PLM – <i>Product Lifecycle Management</i> .....	47
3.3.5	LCA – <i>Lifecycle Analysis</i> .....	48
3.3.6	Sistemas para aplicação de técnicas de projeto do produto .....	49

<b>3.4</b>	<b>Visualização e prototipagem.....</b>	<b>51</b>
3.4.1	Realidade virtual.....	51
3.4.2	Prototipagem rápida .....	53
<b>4</b>	<b>Levantamento de informações.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Benchmark com outras instituições .....</b>	<b>57</b>
4.1.1	LEFA – Laboratório de Engenharia de Fabricação – POLI-USP .....	57
4.1.2	Laboratório PACE – PME – POLI-USP .....	61
4.1.3	Laboratórios de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura – UNIMEP.....	63
4.1.4	ME310: Design Innovation – Stanford University .....	66
<b>4.2</b>	<b>Levantamento de atividades e recursos necessários ao laboratório.....</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>Compilação de recursos .....</b>	<b>77</b>
<b>5.1</b>	<b>Softwares .....</b>	<b>77</b>
5.1.1	Análise Multicritério.....	77
5.1.2	Análise Qualitativa .....	77
5.1.3	Árvore de Decisão .....	78
5.1.4	Bibliometria.....	78
5.1.5	CAD/CAE/CAM.....	78
5.1.6	DFE.....	79
5.1.7	DFMA.....	79
5.1.8	Estatística .....	80
5.1.9	FMEA .....	80
5.1.10	Gerenciamento de requisitos.....	80
5.1.11	Gestão de Projetos .....	81
5.1.12	Gestão de Risco .....	81
5.1.13	LCA.....	82
5.1.14	Mapeamento de Processos.....	82
5.1.15	Mapeamento de redes sociais .....	82
5.1.16	Plataforma de software livre.....	83
5.1.17	PLM.....	83
5.1.18	QFD.....	83
5.1.19	Referenciação.....	84
5.1.20	Tempos e métodos de produção .....	84
5.1.21	Observações comportamentais .....	84
<b>5.2</b>	<b>Máquinas .....</b>	<b>85</b>

5.2.1	Prototipagem Rápida.....	85
5.2.2	Oficina de protótipos.....	85
<b>5.3</b>	<b>Ergonomia .....</b>	<b>86</b>
<b>5.4</b>	<b>Outros equipamentos .....</b>	<b>86</b>
<b>6</b>	<b>Projeto detalhado do laboratório .....</b>	<b>87</b>
<b>6.1</b>	<b>Softwares recomendados.....</b>	<b>87</b>
<b>6.2</b>	<b>Módulos .....</b>	<b>89</b>
6.2.1	Sala de aula.....	89
6.2.2	Sala de Projetos .....	90
6.2.3	Salas de Trabalho em Equipe .....	93
6.2.4	Sala de Ergonomia.....	94
6.2.5	Oficina de Protótipos.....	96
6.2.6	Sala de Realidade Virtual.....	98
<b>6.3</b>	<b>Fases de Implantação .....</b>	<b>100</b>
6.3.1	Primeira fase .....	100
6.3.2	Segunda fase .....	102
6.3.3	Terceira fase .....	103
<b>6.4</b>	<b>Próximos passos .....</b>	<b>104</b>
<b>7</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>106</b>
<b>8</b>	<b>Referências .....</b>	<b>108</b>
<b>9</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>112</b>
<b>9.1</b>	<b>Roteiro de levantamento de informações de laboratórios .....</b>	<b>112</b>
<b>9.2</b>	<b>Visita ao Laboratório de Engenharia de Fabricação - LEFA .....</b>	<b>113</b>
<b>9.3</b>	<b>Visita ao laboratório didático do programa PACE.....</b>	<b>114</b>
<b>9.4</b>	<b>Visita ao laboratório de projetos do programa PACE.....</b>	<b>115</b>
<b>9.5</b>	<b>Visita ao laboratório de CAD da UNIMEP.....</b>	<b>116</b>
<b>9.6</b>	<b>Visita os laboratórios de Informática da UNIMEP .....</b>	<b>117</b>
<b>9.7</b>	<b>Visita às salas ambiente da UNIMEP .....</b>	<b>118</b>
<b>9.8</b>	<b>Lista de disciplinas de graduação do PRO .....</b>	<b>119</b>
<b>9.9</b>	<b>Lista de disciplinas de pós-graduação oferecidas pelo PRO.....</b>	<b>120</b>
<b>9.10</b>	<b>Lista de disciplinas oferecidas pelo PRO ao curso de design.....</b>	<b>122</b>
<b>9.11</b>	<b>Roteiro de entrevistas aos professores .....</b>	<b>123</b>
<b>9.12</b>	<b>Entrevista com a Profa. Dra. Marly Monteiro de Carvalho.....</b>	<b>124</b>
<b>9.13</b>	<b>Entrevista com o Prof. Dr. Clovis A. Alvarenga Netto.....</b>	<b>125</b>

<b>9.14</b>	<b>Entrevista com o Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul.....</b>	<b>126</b>
<b>9.15</b>	<b>Entrevista com o Prof. Dr. André Leme Fleury .....</b>	<b>127</b>
<b>9.16</b>	<b>Entrevista com o Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake.....</b>	<b>128</b>
<b>9.17</b>	<b>Entrevista com o Prof. Dr. Laerte Idal Sznelwar .....</b>	<b>129</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E O PAPEL DO ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento tecnológico característico das últimas décadas tem permitido grandes avanços em praticamente todas as áreas do conhecimento humano. As novas tecnologias permitem que necessidades do mercado consumidor sejam atendidas com maior agilidade e que se criem segmentos de mercado até então inexistentes.

A inovação tornou-se uma estratégia competitiva adotada por muitas empresas, que utilizam o desenvolvimento de produto para se diferenciar da concorrência. Ao encurtar o tempo entre lançamentos de produtos diferentes, este tipo de estratégia provoca um círculo positivo ao estimular o surgimento de tecnologias que possam ser aplicadas comercialmente. A proliferação de novos produtos provocou uma diminuição do tempo médio para que aqueles já existentes no mercado atinjam a obsolescência.

Outros fatores para o aumento da importância dada ao desenvolvimento de produtos são o aumento da competição em escala global, com potenciais empresas com custos de produção inferiores e níveis de qualidade superiores, além da sofisticação e do aumento da exigência por parte dos mercados consumidores. Nenhuma outra etapa do ciclo de vida de um produto tem tanta influência sobre suas chances de sucesso e na composição de seus custos quanto a fase de projeto e desenvolvimento, que chega a responder pela definição de cerca de 85% dos custos finais de um produto (ROZENFELD *et al*, 2006).

Indo de encontro às tendências do ambiente competitivo, o processo de desenvolvimento de produtos passou a ser encarado de maneira mais sistemática, padronizável e passível de controle, em contraste com um cenário anterior de enfoque predominante na criatividade, muito mais dependente de boas ideias do que de processos bem-estruturados e menos sujeito a controles. Surgiram, na literatura, modelos e boas práticas aplicáveis ao desenvolvimento de produto.

Os modelos para o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) geralmente propõem uma sequência de etapas que devem ser seguidas, e apresentam as atividades típicas de cada fase. Ao fornecer uma estrutura mais sistemática para o PDP, estes modelos ajudam a

diminuir o alto nível de incertezas – relativas ao sucesso, à viabilidade econômica e técnica, ao impacto ambiental, entre outras – associadas ao desenvolvimento de novos produtos.

A Engenharia de Produção tem relações diretas com o PDP. Apto a trabalhar em uma ampla gama de indústrias, o engenheiro de produção é geralmente responsável por “métodos gerenciais, a implantação de sistemas informatizados para a gerência de empresas, o uso de métodos para melhoria da eficiência das empresas e a utilização de sistemas de controle dos processos da empresa” (ABEPRO, 2005).

O profissional da área de Engenharia de Produção “consegue enxergar os problemas de forma global, não fragmentada” (ABEPRO, 2005) e pode contribuir ao PDP na gestão de projetos, na análise e compreensão do mercado, no projeto do produto – agregando conhecimentos como técnicas industriais, qualidade, ergonomia – no controle financeiro e de custos, na elaboração de análises de viabilidade econômica, no planejamento da produção, na gestão da cadeia de suprimentos, entre outras atividades do desenvolvimento de produtos. Tais capacitações evidenciam a importância da área na formação do engenheiro de produção.

## **1.1 O PRO - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA POLI-USP**

O curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP) é responsabilidade do Departamento de Engenharia de Produção (PRO). O PRO conta com 43 professores, distribuídos em cinco grupos de pesquisas. A Tabela 1 apresenta as descrições de cada um dos grupos de pesquisa.

Tabela 1: Descrição dos grupos de pesquisa do PRO (Fonte: PRO, 2010)

Grupo	Descrição
EPEF	Pesquisa de aspectos ligados à modelagem econômico-financeira de empreendimentos, à contabilidade, às metodologias de custos, à análise de investimentos de sistemas de operações e aos aspectos econômicos relacionados às cadeias produtivas e às aglomerações de empresas (clusters e arranjos produtivos locais).
GOL	Linha de pesquisa com ênfase em gestão física de sistemas de operações e logísticos com temas em planejamento, programação e controle da produção e de estoques, logística e cadeia de suprimentos e produtividade.
GTI	Aborda a gestão da Tecnologia da Informação, envolvendo seu planejamento e implementação, visando o estabelecimento de uma estratégia integrada (envolvendo a tecnologia, a estratégia de negócios e os aspectos organizacionais), bem como o projeto, a implantação e a administração de Sistemas de Informação, de Gestão do Conhecimento e de Apoio à Decisão.
QEP	Abrange a discussão de estratégias, políticas, planejamento, operacionalização e controle de sistemas, metodologias e técnicas de qualidade, visando o aumento da eficácia e/ou competitividade da organização, assim como discute métodos e técnicas relacionados com a concepção, desenvolvimento e implantação de produtos, estudando sua viabilidade técnica, econômica e logística.
TTO	Trata da organização do trabalho em todas as instâncias da atividade produtiva e dedica especial atenção à relação dinâmica entre trabalho e tecnologia. Parte da abordagem sócio-técnica para diagnóstico, projeto e gestão dos processos de produção de bens e serviços, aplica os ensinamentos da ergonomia para a o estudo do trabalho humano e busca o relacionamento entre a Engenharia e as Ciências Sociais Aplicadas.

A representatividade dos grupos de pesquisa no corpo docente do Departamento é apresentada na Figura 1.

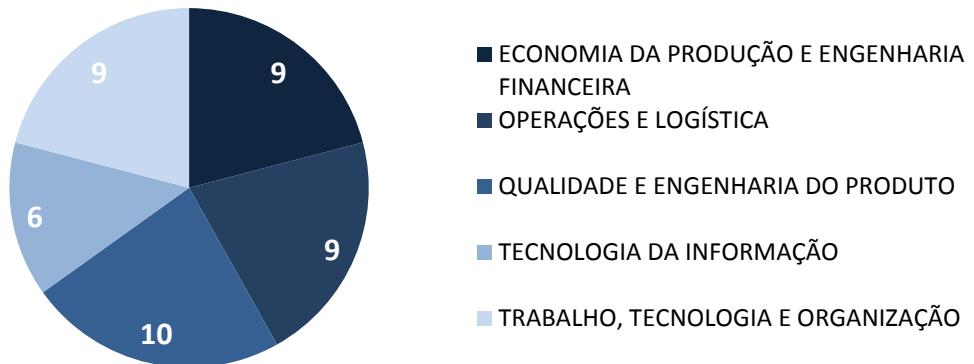


Figura 1: Quantidade de professores por grupo de pesquisa

Além dos cinco agrupamentos pelos quais se distribuem os professores, há ainda outros dois grupos de pesquisa dentro do PRO:

- **REDECOOP – Redes de Cooperação e Gestão do Conhecimento**

Este grupo analisa como redes de cooperação e os diferentes tipos de arranjos organizacionais podem impactar e melhorar o desempenho e a capacidade de competição de empresas.

- **DESIGN**

O grupo de DESIGN pesquisa a evolução vivida por um produto durante seu ciclo de vida, desde a ideia inicial até sua retirada do mercado.

O curso de Engenharia de Produção oferecido pelo PRO é reconhecidamente um dos melhores cursos do Brasil, tendo recebido a avaliação máxima de cinco estrelas na edição de 2010 do Guia do Estudante da Editora Abril (Guia do Estudante, 2010). Segundo este mesmo guia, o curso está “entre os três cursos de engenharia que garantem a seus alunos o melhor índice de Empregabilidade e Inserção no Mercado”. Além disso, “em 2005, o Departamento foi distinguido pelo Guia do Estudante Melhores Universidades como tendo o Melhor Corpo Docente em Engenharia no Brasil” (PRO, 2010).

Grande parte das disciplinas oferecidas no curso de graduação requer a realização de trabalhos práticos, frequentemente com uma empresa real como objeto de estudo e avaliação, para proposição de melhorias. A grande maioria destes trabalhos deve ser realizada em grupos. Para a realização dos trabalhos das disciplinas, o Departamento oferece atualmente salas de estudo para grupos, localizadas na Biblioteca. Essas salas possuem uma mesa e quatro cadeiras cada uma. O Departamento conta também com dois laboratórios de informática descritos no item seguinte.

## **1.2 LABORATÓRIOS DE INFORMÁTICA DO PRO**

O Departamento de Engenharia de Produção está equipado com dois laboratórios de informática, com estruturas semelhantes, que podem ser utilizados nas disciplinas de graduação e pós-graduação do PRO. A Figura 2 apresenta um dos laboratórios do PRO.

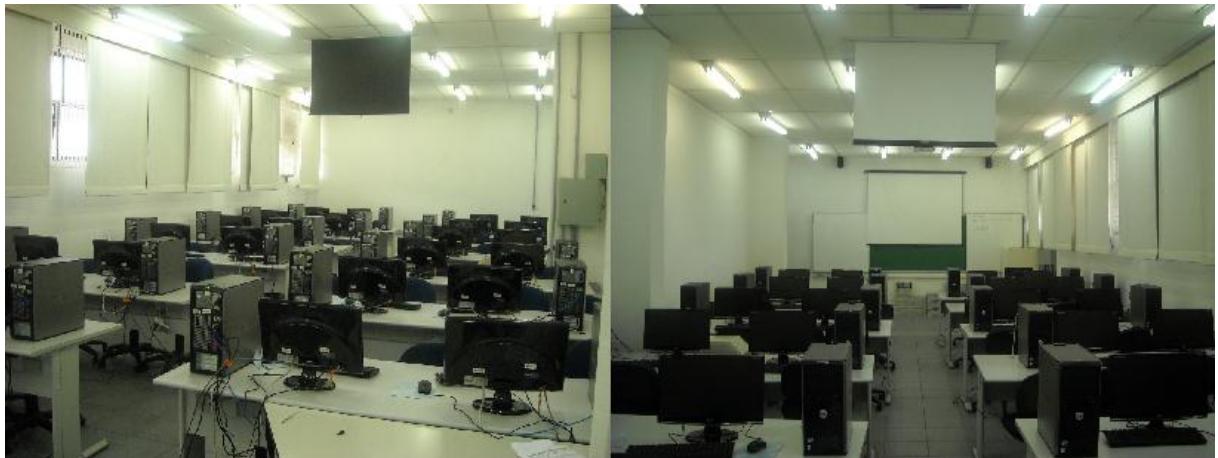


Figura 2: Laboratório de Informática do PRO, visto da frente (esq.) e do fundo (dir.)

Um dos laboratórios está equipado com 24 computadores para alunos, mais o computador do professor, além de dois projetores. Os computadores possuem processadores Intel Core 2 Quad Q9550 de 2,83GHz e 4GB de memória RAM. A configuração padrão das máquinas utiliza Windows 7 como sistema operacional e tem instalados os *softwares* Microsoft Office (versões 2007 e 2010), Minitab e Rhinoceros 3.0. O segundo laboratório possui 29 computadores no total, com configurações de *hardware* inferiores (processadores Intel Core 2 Duo e 2GB de memória RAM)

Ambas as salas estão configuradas em layout para aulas, com todos os alunos voltados para a lousa, em direção ao professor. Cada mesa de trabalho suporta dois computadores, que são utilizados por dois alunos em cada um, como demonstra a Figura 3.



Figura 3: Mesa de trabalho no laboratório de informática do PRO

O acesso dos alunos às salas de informática é restrito às atividades de aula programadas por professores ou monitorias. Em outros horários, os laboratórios ficam fechados e não podem ser utilizados pelos alunos sem autorização. Desta maneira, com a eventual exceção de horários de monitoria, os trabalhos práticos em equipe realizados ao longo do curso não podem ser desenvolvidos com a utilização dos recursos dos laboratórios de informática do Departamento.

### **1.3 A UTILIZAÇÃO DE LABORATÓRIOS NO ENSINO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Um dos principais fatores motivadores da realização do presente trabalho é a necessidade de um espaço em que os alunos do PRO possam realizar os projetos em equipe, apoiados por recursos específicos das áreas de conhecimento tratadas no curso. O uso de *softwares* especializados e de equipamentos de apoio traria grandes benefícios tanto ao aprendizado prático dos alunos quanto ao nível de qualidade apresentado nos projetos.

Um claro exemplo seria oferecer aos alunos acesso a computadores para o desenvolvimento dos desenhos em CAD, requeridos ao longo do trabalho semestral da disciplina Projeto do Produto e Processo. Na situação atual, os integrantes das equipes de projeto devem desenvolver os modelos tridimensionais utilizando recursos próprios de *software* e de *hardware*.

O uso mais frequente dos recursos de um laboratório e uma revisão de sua configuração, também para utilização em aulas de maneira a proporcionar melhor interação entre aluno e professor, permitiria aplicação mais efetiva e melhor proveito dos recursos tecnológicos existentes.

O desafio, especialmente nas instituições dedicadas ao ensino de engenharia, é transformá-las em ambientes onde os alunos possam interagir com o professor e com problemas práticos, apoiados pelos recursos da informática. [...]Trata-se de propor soluções capazes de transformar a sala de aula tradicional, nas suas duas vertentes (sala para aulas expositivas e salas com computadores), em um local único e híbrido capaz de suportar atividades com estratégias didáticas de naturezas variadas [...] (SANTOS, AMARAL, TARALLO, FERREIRA, 2004).

Santos, Amaral, Tarallo e Ferreira (2004) mencionam ainda a necessidade de flexibilidade neste tipo de ambiente de trabalho, que deve permitir aulas teóricas, avaliação de alunos e realização de atividades práticas de resolução de problemas em projetos. Baseados no caso prático do curso de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), os autores analisam a mudança de estrutura de sala de aula para um layout de trabalho em grupo, com alunos organizados em células no Laboratório de Projetos e computadores ao redor da sala, como mostra a Figura 4.



Figura 4: Layout do Laboratório de Projetos da EESC

Além da sala exposta na Figura 4, outro ambiente utilizado pela Escola de Engenharia de São Carlos em aulas foi adaptado para facilitar a cooperação entre as equipes, mas com um computador em cada mesa de trabalho. Também utilizada como sala de aula, a configuração alternativa desta sala é exposta na Figura 5.



Figura 5: Sala de aula com computadores nas mesas de trabalho

Os princípios pedagógicos que balizaram o processo de revisão da estrutura do laboratório foram o oferecimento ao aluno de situações de resolução de problemas reais, a interdisciplinaridade, a abordagem sistêmica de problemas, flexibilidade e dinamicidade para o laboratório, facilidade de manutenção e operação e maior contato entre graduação e extensão (SANTOS, AMARAL, TARALLO, FERREIRA, 2004). Além da alteração do layout, as mudanças que foram realizadas compreenderam:

(1) a inclusão de aulas laboratoriais nas disciplinas obrigatórias desse curso, (2) a aquisição dos principais *softwares* em Engenharia de Produção a serem utilizados na execução de projetos, (3) a aquisição de *hardware* compatível com este *software*, (4) um arranjo físico que permita metodologias de ensino e aprendizagem criativas, colaborativas e que levem a identificação e resolução de problemas em Engenharia de Produção, (5) um posicionamento dentro do Departamento de Engenharia de Produção que permita uma interação dos alunos de graduação com professores, funcionários e alunos de pós-graduação [...] (SANTOS, AMARAL, TARALLO, FERREIRA, 2004).

De maneira semelhante à utilização de recursos de informática, o emprego de outros tipos de equipamentos em atividades práticas também permitiria o enriquecimento do conteúdo e do aprendizado por parte dos alunos. Estes equipamentos variam desde os instrumentos mais simples, como trenas e serras, até máquinas mais complexas como impressoras tridimensionais para prototipagem rápida.

## 1.4 OBJETIVOS

Dada a crescente importância do campo de Desenvolvimento de Produtos e sua relação com as atividades do Engenheiro de Produção, o objetivo deste trabalho de formatura é levantar requisitos de ensino e elaborar o projeto detalhado para a criação de um Laboratório de Produtos no Departamento de Engenharia de Produção (PRO) da Escola Politécnica da USP.

O laboratório especificado pelo presente trabalho deve atender aos requisitos e ser utilizado pelo conjunto de disciplinas de Engenharia de Produção e de Design relacionadas a Produtos, possibilitando que os alunos coloquem em prática conceitos de projeto de produtos e de manufatura expostos no curso.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DESTE TEXTO

Após a introdução feita neste capítulo inicial, o capítulo 2 detalha a metodologia adotada no desenvolvimento do presente trabalho, com a descrição de cada uma de suas fases. No capítulo 3 é apresentada a revisão bibliográfica focada nas características do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), nas etapas envolvidas e nos recursos necessários a esse processo.

No capítulo 4, é apresentado um estudo comparativo com outras escolas de engenharia no Brasil e no exterior, com o levantamento de pontos em comum e os principais atributos de um laboratório de desenvolvimento de produtos, como máquinas, equipamentos, *softwares* comumente utilizados etc. Além disso, as necessidades específicas do PRO são levantadas por meio de entrevistas com o corpo docente da instituição, com o intuito de determinar as disciplinas que fariam uso das instalações e as possíveis atividades a serem realizadas.

A compilação dos recursos apontados nas etapas de levantamento de dados é realizada no capítulo 5. Finalmente, o capítulo 6 aponta as propostas para o projeto do Laboratório de Produtos, listando características detalhadas como os recursos necessários, orçamento, etapas de implementação, entre outras.

## 2 METODOLOGIA

Para que o objetivo proposto para este trabalho seja atingido, são necessários diferentes tipos de levantamento de dados, que permitam especificação do laboratório. As etapas de execução do estudo são expostas no esquema da Figura 6.

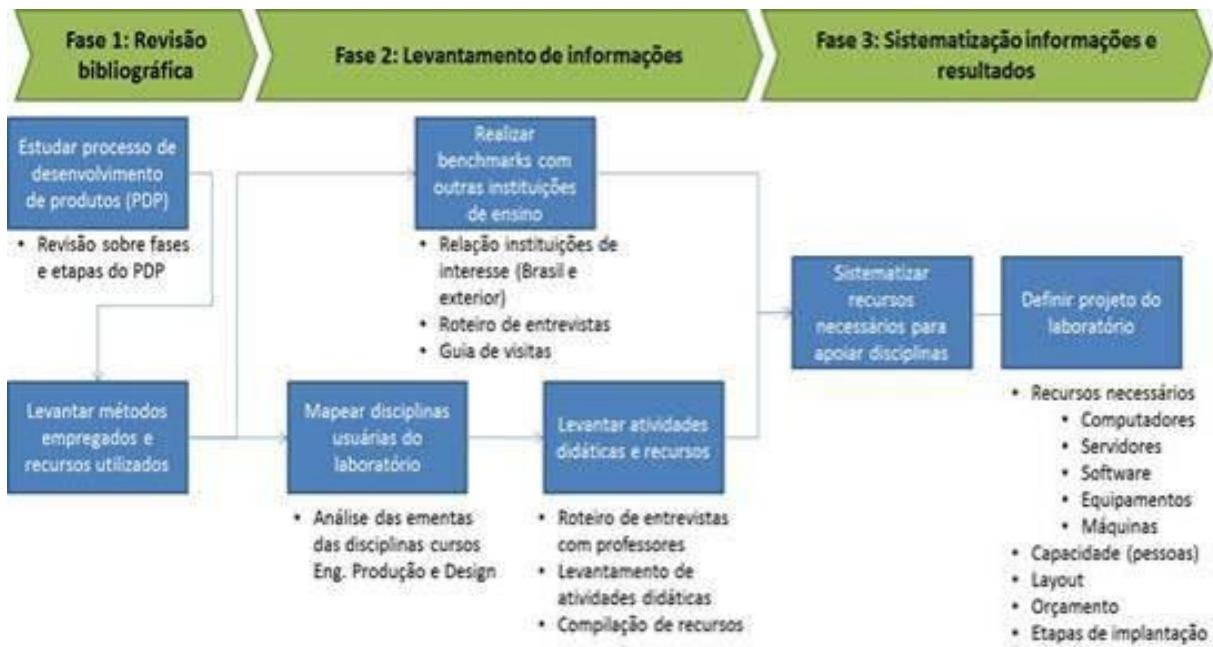


Figura 6: Etapas de execução do trabalho

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta práticas e metodologias de desenvolvimento de produtos encontradas na literatura especializada. Com base no modelo de referência escolhido, são descritas as fases e etapas do processo de desenvolvimento.

Além disso, busca-se, através de análise bibliográfica, realizar uma revisão dos métodos empregados e dos recursos relacionados ao desenvolvimento de produtos, tais como equipamentos e máquinas e softwares de auxílio aos processos envolvidos.

## 2.2 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

### 2.2.1 Benchmark com outras instituições

A primeira etapa do levantamento de informações consiste em um benchmark com outras instituições de ensino de Engenharia de Produção no Brasil e em outros países, com o objetivo de fornecer o ponto de partida e a base de comparação para a instalação de um laboratório pelo PRO. Assim, podem ser identificados os equipamentos normalmente presentes, tamanho destinado ao laboratório, necessidade de pessoal especializado, fornecedores de material, capacidade de atendimento de alunos etc.

Além disso, deve ser possível identificar os tipos de atividades realizados em laboratórios similares em outras instituições. Para essa etapa, são realizadas entrevistas presenciais, visitas a laboratórios e pesquisas pela internet.

### 2.2.2 Mapeamento de disciplinas usuárias do Laboratório de Produtos

Nesta fase, são analisadas as necessidades específicas do Departamento de Engenharia de Produção da POLI. Para tanto, é realizado um levantamento de todas as disciplinas oferecidas nos cursos de graduação e pós-graduação, para determinação daquelas que tem relações com o tema de desenvolvimento de produtos e, potencialmente, utilizariam as instalações do Laboratório. As informações necessárias ao desenvolvimento desta etapa podem ser encontradas nos sistemas de gestão da Universidade de São Paulo ou no website do PRO.

### 2.2.3 Levantamento de atividades e recursos necessários ao Laboratório

Uma vez realizado o estudo comparativo e o levantamento de disciplinas do PRO com atividades relacionadas ao desenvolvimento de produtos, são determinadas as atividades didáticas que poderiam ser realizadas no Laboratório a ser proposto e os recursos necessários ao oferecimento destas atividades. Nessa etapa são necessárias entrevistas com o corpo docente e funcionários do Departamento.

Enquanto o *benchmark* pode indicar as atividades comumente realizadas, o contato com as disciplinas do Departamento permite que as expectativas dos professores sejam consideradas. As sugestões e recomendações provenientes das entrevistas servem como guia

para a determinação das necessidades físicas do laboratório, tais como máquinas e equipamentos. A realização de entrevistas permite também a ampliação do escopo tradicional do laboratório de desenvolvimento de produtos mediante o contato com professores de áreas, interesses e grupos de pesquisa diversos.

### **2.3 SISTEMATIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

A última etapa da elaboração do trabalho envolve a especificação do Laboratório, com os recursos que permitirão a concretização e realização das atividades didáticas propostas para as disciplinas.

São especificados quais equipamentos e máquinas devem estar presentes, o *hardware* e os *softwares* que seriam utilizados nos projetos, bem como a necessidade de espaço físico para o Laboratório, com base na estimativa de capacidade de atendimento de pessoas.

Adicionalmente, é determinada a necessidade de investimentos para a viabilização do Laboratório, bem como a utilização de pessoal. São propostas etapas para a implantação do Laboratório, de maneira que não seja necessário realizar o investimento total previsto para que as atividades do Laboratório tenham início.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)

##### 3.1.1 Importância do Desenvolvimento de Produtos

O enfoque dado pelas empresas ao desenvolvimento de produtos tem sofrido profundas modificações ao longo das últimas décadas. Antes considerado como um processo de resultados totalmente incertos, com procedimentos impassíveis de padronização e sistematização, o desenvolvimento de produtos, à medida que ganha maior importância estratégica, começa a ser sistematizado através de modelos e melhores práticas.

Alguns fatores têm sido determinantes para o aumento da importância dada ao PDP na competição industrial. Clark e Fujimoto (1991) expõem três grandes forças que contribuíram para esse cenário:

- A globalização e internacionalização de mercados e empresas fazem com que a competição não ocorra apenas com empresas dentro de um país, mas com diversos produtores de todo o mundo, que podem ter produtos de melhor qualidade e preços mais baixos;
- Os mercados têm se tornado mais segmentados e sofisticados, esperando produtos com alta diferenciação entre si e específicos para cada tipo de público-alvo. Além disso, os consumidores não se satisfazem apenas com atributos básicos dos produtos e esperam sempre bons preços e características diferenciadoras;
- Novas tecnologias são desenvolvidas com altíssima velocidade, o que auxilia no atendimento das demandas específicas dos mercados consumidores e cria mercados até então inexistentes, ao mesmo tempo em que permite melhorias nos processos industriais e nas técnicas de projeto.

Um fator que decorre dessas três forças e obriga muitas empresas a atingir excelência no desenvolvimento de produtos para se manterem no mercado é “a tática gerencial de encurtar deliberadamente a vida de produtos no mercado, introduzindo rapidamente novos produtos. [...] Como resultado, todos os competidores devem esforçar-se para produzir cada vez mais rápido um número maior de novos produtos que no passado.” (LORENZ, 1986 apud BAXTER, 1998).

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), apesar do alto grau de incertezas e riscos associado com o desenvolvimento de novos produtos, diversos casos de empresas que buscaram estruturar seu PDP e obtiveram bons resultados explicitaram a viabilidade e as vantagens atreladas ao gerenciamento do PDP, por meio de planejamento, execução, controle e melhoria das atividades envolvidas no processo.

### 3.1.2 Características do PDP

O Processo de Desenvolvimento de Produtos diferencia-se dos outros processos de negócios realizados rotineiramente por empresas. A própria periodicidade em que o PDP é realizado, quando comparada com processos como fabricação, distribuição, pagamento de fornecedores, evidencia suas especificidades, devendo ser encarado por uma perspectiva distinta.

Rozenfeld *et al* (2006) enumeram sete principais fatores diferenciadores do PDP:

- o alto nível de incertezas, e, portanto, de risco associado às tarefas e a seus resultados;
- a necessidade de tomada de decisões de grande impacto em um momento em que as incertezas são muito grandes;
- dificuldade em alterar as decisões tomadas inicialmente;
- atividades que são realizadas em ciclos (Projetar – Construir – Testar – Otimizar);
- as equipes envolvidas precisam gerar e gerenciar grandes volumes de dados;
- necessidade de colaboração e intercâmbio de informações a partir de diversas fontes e setores de uma organização, bem como de sua cadeia de suprimentos;
- o PDP deve atender diversas restrições, ao mesmo tempo em que se preocupa com o ciclo de vida completo do produto.

Além disso, o desenvolvimento de um novo produto sempre pode levantar necessidades e problemas específicos que não foram tratados pela empresa em nenhuma experiência anterior. Por ser um processo com grande incerteza mas que necessita de alto volume de informações, a organização do trabalho para o PDP pode ter grande influência

sobre os resultados, à medida que pode facilitar a cooperação entre setores e melhorar o fluxo de informações.

Baxter (1998) também caracteriza o desenvolvimento de produtos como uma atividade de alto risco e busca, a partir de estudos prévios, encontrar fatores comuns determinantes do sucesso ou do fracasso de novos produtos. Os três principais grupos de causas e seus impactos sobre as chances de sucesso de um produto são expostos na Figura 7.

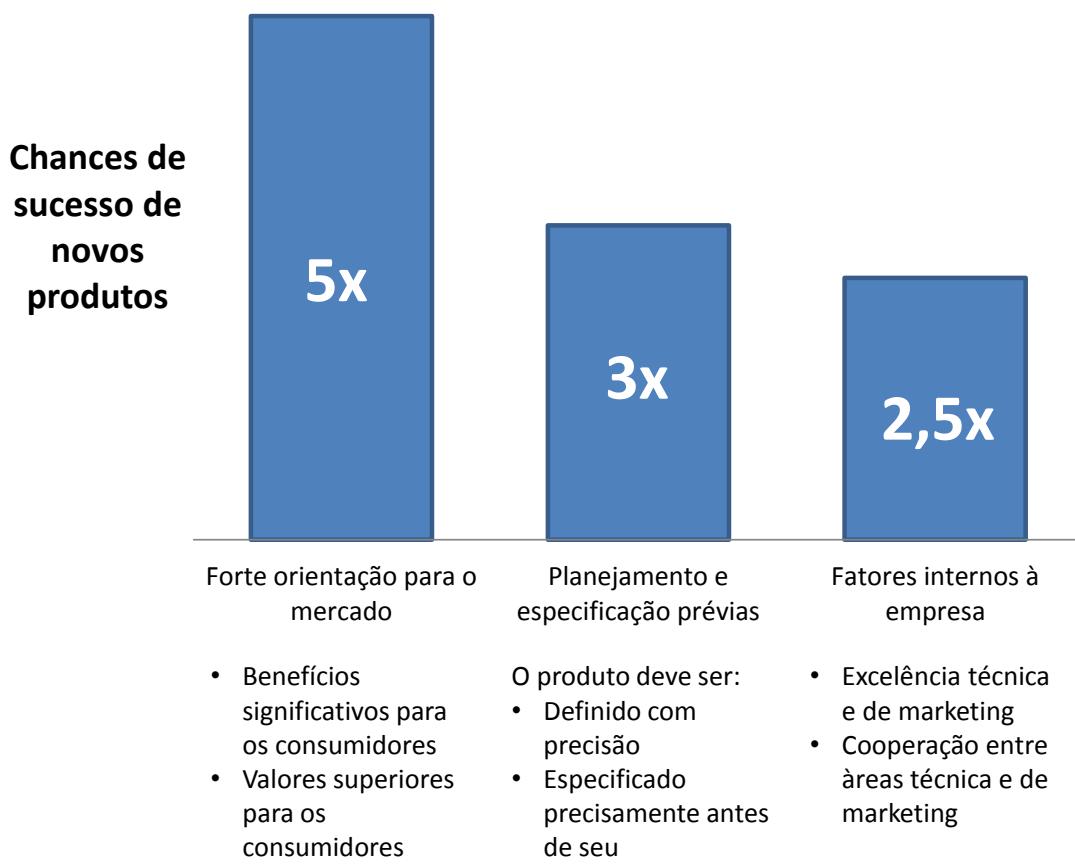


Figura 7: Fatores de sucesso no desenvolvimento de novos produtos (Adaptado de Baxter, 1998)

O PDP também ganha muita relevância pelo grande impacto que ele tem sobre a estrutura de custos de um produto, uma vez que “as escolhas de alternativas ocorridas no início do ciclo de desenvolvimento são responsáveis por cerca de 85% do custo do produto” (ROZENFELD *et al*, 2006). Como consequência, as etapas posteriores ao projeto no ciclo de vida do produto têm poucas possibilidades de gerar reduções nos custos de produção. A

Figura 8 ilustra as possibilidades de redução de custo e o investimento necessário para a introdução de mudanças ao longo das diversas fases do PDP.

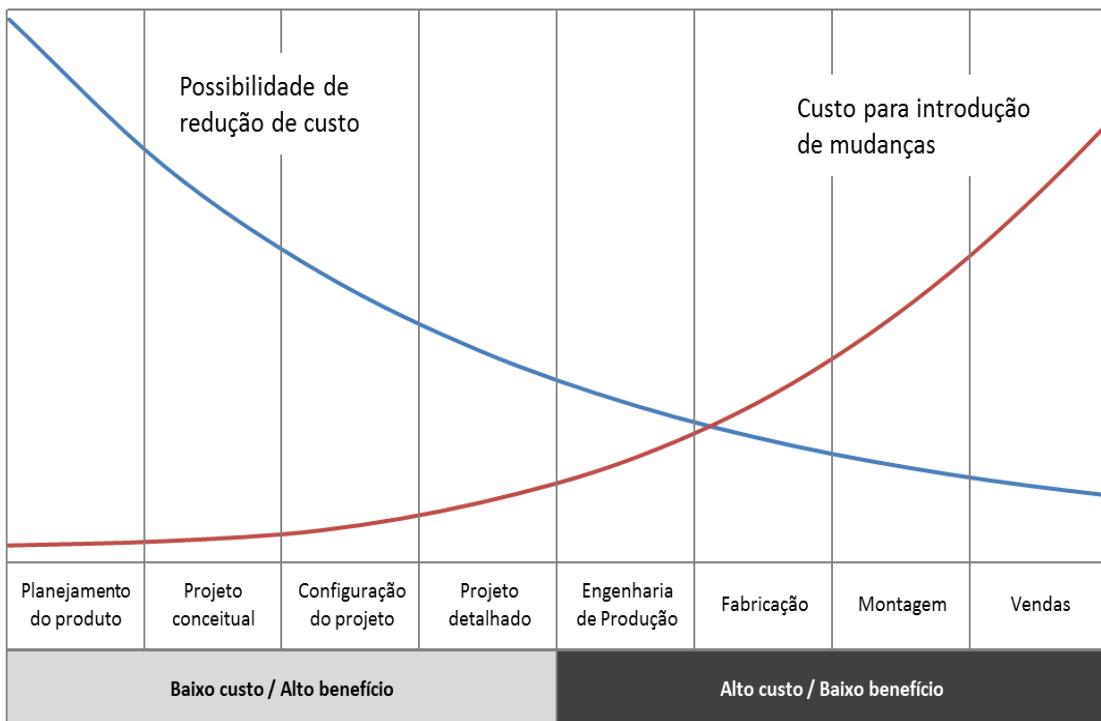


Figura 8: Custos e benefícios em diferentes estágios do processo de desenvolvimento  
(Adaptado de Baxter, 1998)

### 3.1.3 Modelos de PDP e fases do desenvolvimento

Com o aumento da importância do PDP no contexto industrial e com as vantagens na sistematização deste processo, é possível encontrar na literatura modelos de desenvolvimento de produtos propostos por diferentes autores. Nesses modelos, geralmente são expostas as etapas do processo e as atividades que devem ser realizadas em cada uma delas. Entretanto, “a divisão do processo em etapas é uma simplificação didática já que, na prática, etapas podem ocorrer em paralelo, e existem interações entre diferentes etapas” (ZANCUL, 2000).

Para Clark e Fujimoto (1991) o desenvolvimento de um produto novo deve ser uma simulação da experiência que os consumidores terão com o produto. A Figura 9 ilustra o PDP como uma simulação do consumo. Apesar de dar maior ênfase ao fluxo de informações podemos notar a divisão em fases proposta pelos autores para o processo.

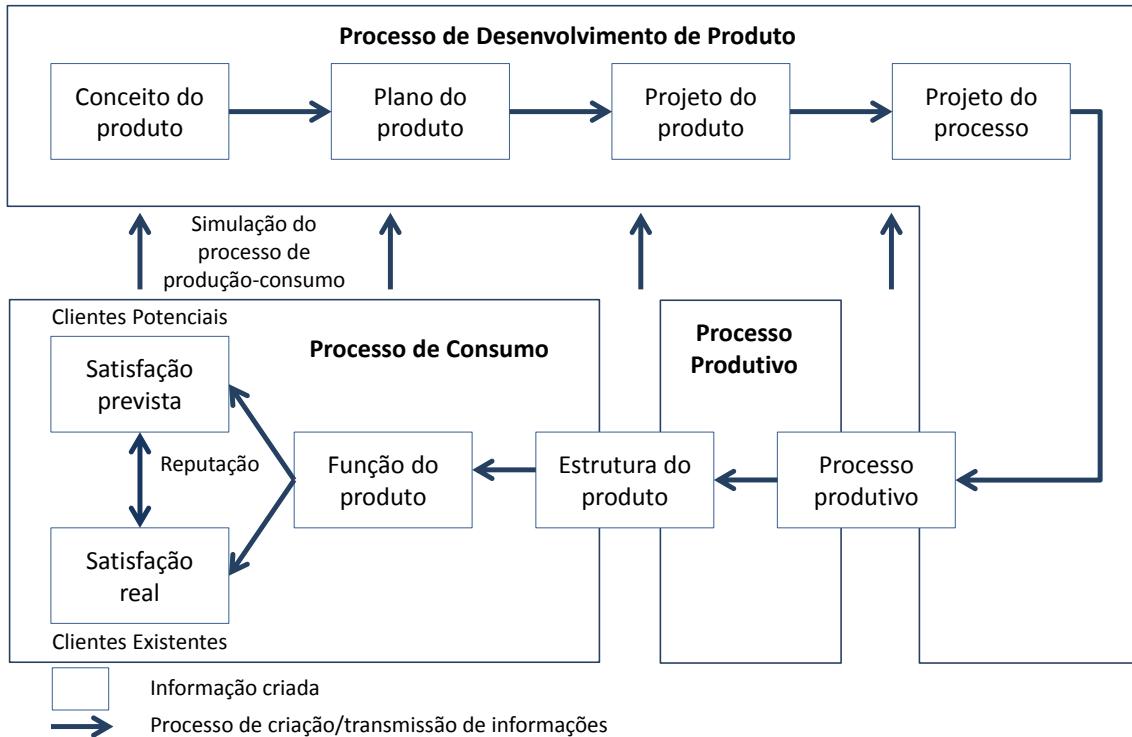


Figura 9: Desenvolvimento como simulação do consumo (Adaptado de Clark e Fujimoto, 1991)

Outro agrupamento em fases é proposto por Wheelwright e Clark (1992), *apud* Zancul (2000), que sugerem quatro grandes fases que estão presentes no desenvolvimento de qualquer novo produto:

- Desenvolvimento do Conceito;
- Planejamento do Produto;
- Engenharia do Produto/Processo;
- Produção Piloto/Aumento da Produção.

Rozenfeld et al (2006) propõem um modelo com foco em empresas produtoras de bens de consumo duráveis e bens de capital, mas cuja estrutura bem definida pode ser adaptada para uso em outras áreas de atuação. Este modelo divide o PDP em macrofases de Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento. As fases envolvidas em cada uma das três macrofases podem ser observadas na Figura 10.

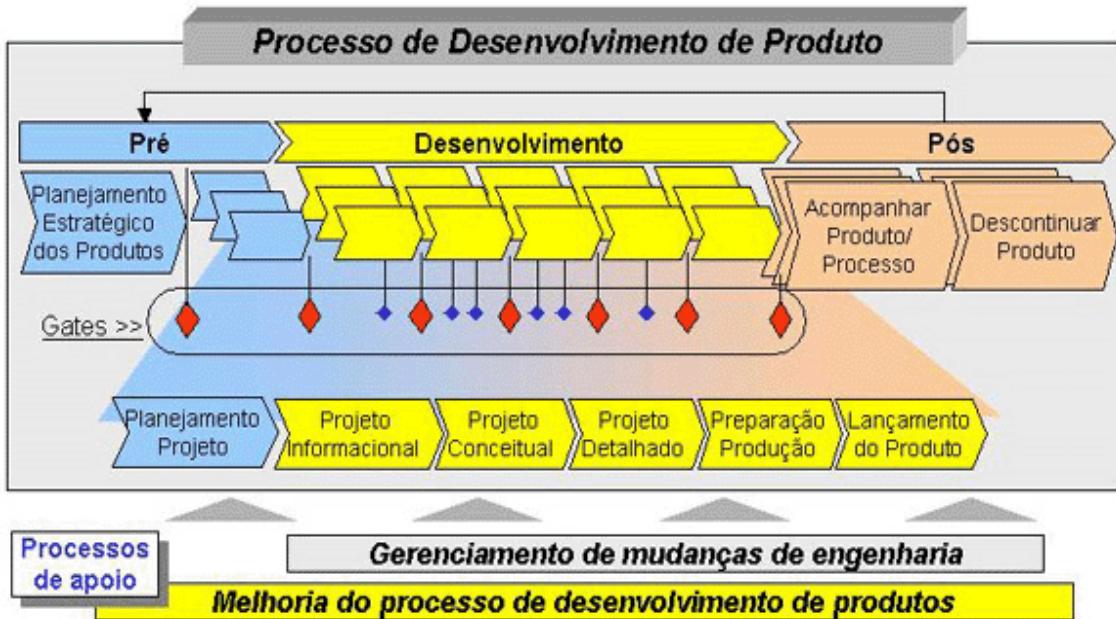


Figura 10: Modelo de PDP, com suas macrofases e fases. (retirado de <http://www.pdp.org.br>)

Este modelo detalha as atividades que devem ser realizadas durante cada fase do processo, além de especificar quais são os resultados esperados de cada uma delas. Os autores fazem uso do conceito de *gates*, que delimitam o final de cada fase e permitem fazer uma revisão do que foi feito na fase e a aprovação do produto. Apesar da apresentação sequencial das fases do PDP, é feita a ressalva de que “certas atividades de uma fase podem ser realizadas dentro de outra fase” (ROZENFELD et al, 2006), isto é, pode haver sobreposição entre atividades, que não estão necessariamente contidas nas fases a que pertencem.

### 3.2 MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PDP

O modelo de referência de PDP que é seguido no desenvolvimento deste trabalho é o modelo proposto por Rozenfeld *et al* (2006). Trata-se de um modelo completo, que abrange desde as fases anteriores ao desenvolvimento de produtos propriamente dito até descontinuação do produto, passando por todas as etapas do PDP.

O modelo também tem como vantagens os fatos de ser mais recente que os outros modelos considerados e ser um modelo adaptado às especificidades do PDP no Brasil. Além disso, este modelo propõe, além da divisão em nove fases do processo, diversas atividades que compõem as etapas do PDP. Dessa maneira, o propósito deste trabalho de listar atividades didáticas relacionadas ao desenvolvimento de produtos é facilitado.

### 3.2.1 Pré-desenvolvimento

Na macrofase de pré-desenvolvimento, estão englobadas as etapas do PDP que não pertencem à especificação de características ou requisitos do produto, mas são necessárias para garantir a conformidade do produto com a estratégia de produtos da empresa e para estabelecer o planejamento do projeto de desenvolvimento.

As fases envolvidas nesta macrofase são o Planejamento Estratégico de Produtos e o Planejamento do Projeto, que são descritas sucintamente a seguir.

#### 3.2.1.1 *Planejamento Estratégico de Produtos*

O objetivo desta fase do PDP “é obter um plano contendo o portfólio de produtos da empresa a partir do Planejamento Estratégico da Unidade de Negócios” (ROZENFELD *et al*, 2006), ou seja, uma espécie de lista com a linha de produtos que a empresa pretende oferecer e os objetivos estratégicos da empresa. As atividades desta fase são expostas na Tabela 2.

Tabela 2: Atividades da fase de Planejamento Estratégico de Produtos

- |    |  |
|----|--|
| 1. | Definir escopo da revisão do Plano Estratégico de Negócios (PEN) |
| 2. | Planejar atividades para a revisão do PEN                        |
| 3. | Consolidar Informações sobre tecnologia e mercado                |
| 4. | Revisar o PEN  |
| 5. | Analizar o Portfólio de Produtos da Empresa                      |
| 6. | Propor mudanças no portfólio de produtos                         |
| 7. | Verificar viabilidade do portfólio de produtos                   |
| 8. | Decidir início do planejamento de um produto do portfólio        |

#### 3.2.1.2 *Planejamento do Projeto*

Na fase de Planejamento do Projeto, de posse do portfólio de projetos e produtos da empresa resultante do Planejamento Estratégico de Produtos, é feito o macroplanejamento do projeto de um dos produtos. Esta fase está fortemente relacionada à gestão do projeto de desenvolvimento de um novo produto e deve “empreender esforços no sentido de identificar todas as atividades, recursos e a melhor forma de integrá-los para que o projeto siga em frente com o mínimo de erros” (ROZENFELD *et al*, 2006). Suas atividades são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Atividades do Planejamento do Projeto

1. Definir interessados do projeto
2. Definir escopo do produto
3. Definir escopo do projeto
4. Preparar declaração de escopo
5. Adaptar o modelo de referência
6. Definir atividades e sequência
7. Preparar cronograma
8. Avaliar riscos
9. Preparar estimativa de orçamento do projeto com custos
10. Analisar a viabilidade econômica do projeto
11. Definir indicadores de desempenho
12. Definir plano de comunicação
13. Planejar e preparar aquisições
14. Preparar Plano de Projeto

### 3.2.2 Desenvolvimento

A macrofase de desenvolvimento é aquela em que as especificações do produto são detalhadas. Apesar do alto nível de incerteza presente no PDP, “é neste momento que são realizadas as escolhas de soluções de projeto (materiais, conceitos, processos de fabricação, etc.) que determinam aproximadamente 85% do custo final do produto” (ROZENFELD *et al*, 2006).

Segundo o modelo de referência, as fases desta macrofase são o Projeto Informacional, o Projeto Conceitual, o Projeto Detalhado, a Preparação da Produção do Produto e o Lançamento do Produto. Na fase de Desenvolvimento, o modelo faz maior uso do conceito de *gates*: “No final de uma fase, sempre temos uma avaliação do projeto, isto é, a necessidade de avaliar os resultados de um projeto implica um *gate*, que por sua vez, delimita uma fase”. (ROZENFELD *et al*, 2006).

#### 3.2.2.1 Projeto Informacional

De grande importância para o resultado final do PDP, o Projeto Informacional é a etapa em que se desenvolve um corpo de dados tão completo quanto possível – as especificações-meta do produto – que “além de orientar a geração das soluções, fornecem a

base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão” (ROZENFELD *et al*, 2006) que permearão as outras etapas do PDP.

Potencialmente, o maior desafio no desenvolvimento de um produto é identificar de maneira correta as necessidades que os clientes esperam que sejam atendidas e transformá-las em características técnicas que balizarão as próximas fases. A fase do Projeto Informacional ajuda a equipe do projeto a enfrentar esse desafio. Uma das ferramentas recomendadas pelos autores para este propósito é o QFD – *Quality Function Deployment*. A interação entre as atividades desta fase é ilustrada na Figura 11.

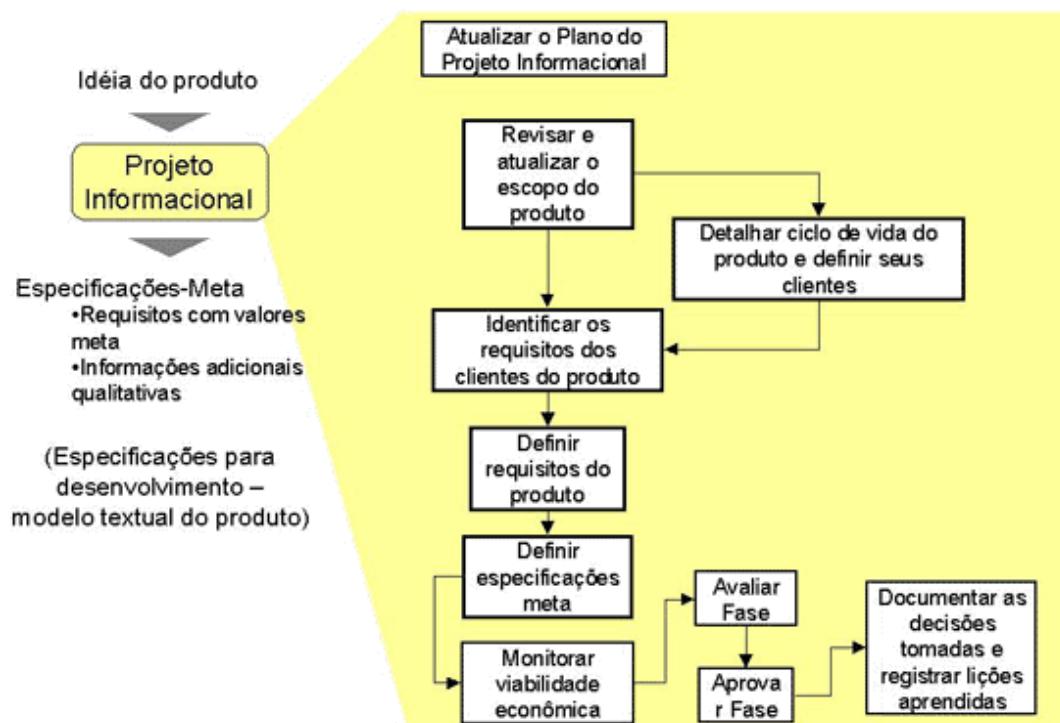


Figura 11: Interação entre atividades da fase de Projeto Informacional (retirado de <http://www.pdp.org.br>)

### 3.2.2.2 Projeto Conceitual

O Projeto Conceitual, diferentemente do Projeto Informacional, trata da “busca, criação, representação e seleção de soluções” (ROZENFELD *et al*, 2006) para o problema que o projeto de produto se propõe a resolver. Assim, é nessa fase que são empregados de maneira mais intensiva os conhecimentos técnicos das diferentes áreas da Engenharia.

A equipe de projeto deve realizar a descrição funcional do produto, a partir da qual as soluções serão propostas e analisadas. O uso do método FAST (*Functional Analysis Systems Technique*) pode auxiliar na modelagem funcional do produto.

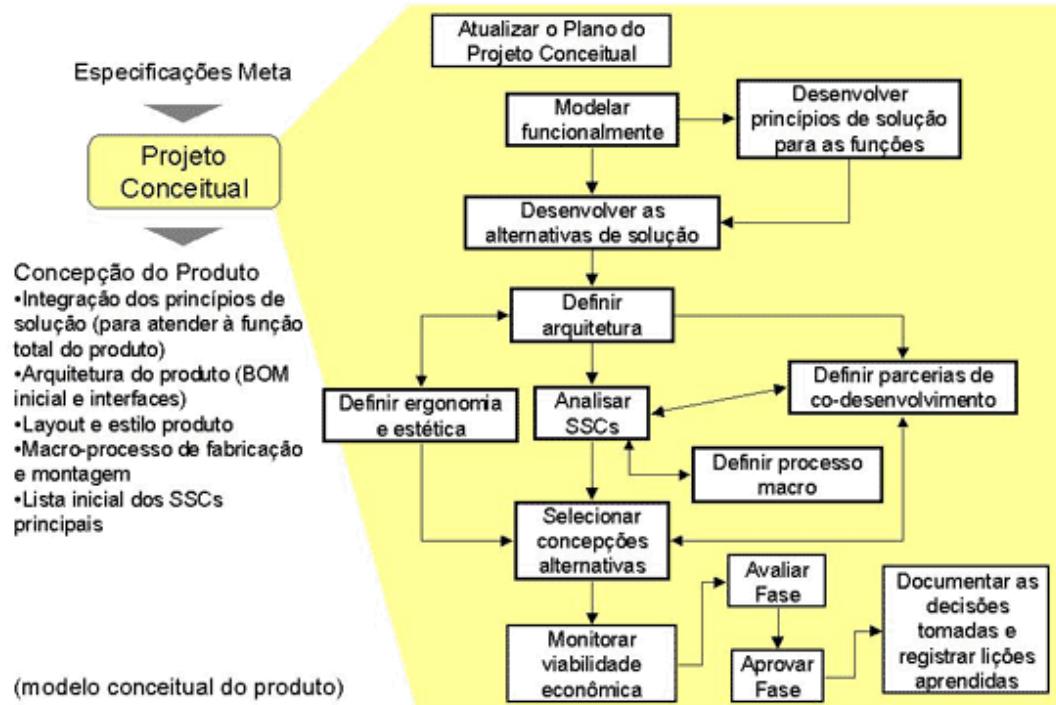


Figura 12: Dependência entre atividades do Projeto Conceitual (retirado de <http://www.pdp.org.br>)

Definições típicas da fase de Projeto Conceitual são a definição preliminar da arquitetura do produto, a estética, os sistemas, subsistemas e componentes (SSCs) e as interações entre eles, materiais, métodos de fabricação, processos de montagem, entre outros. A Figura 12 apresenta a dinâmica das atividades desta fase.

### 3.2.2.3 Projeto Detalhado

Apesar de poder existir sobreposição entre o Projeto Conceitual e o Projeto Detalhado, o Projeto Detalhado é o prosseguimento natural e o aprofundamento de muitas das definições realizadas na fase de Projeto Conceitual. É nessa fase, por exemplo, que os métodos de produção e montagem que começaram a ser definidos na fase anterior devem ser aprofundados e especificados para permitir a fabricação do produto. Na Figura 13 estão ilustradas as atividades do Projeto Detalhado.

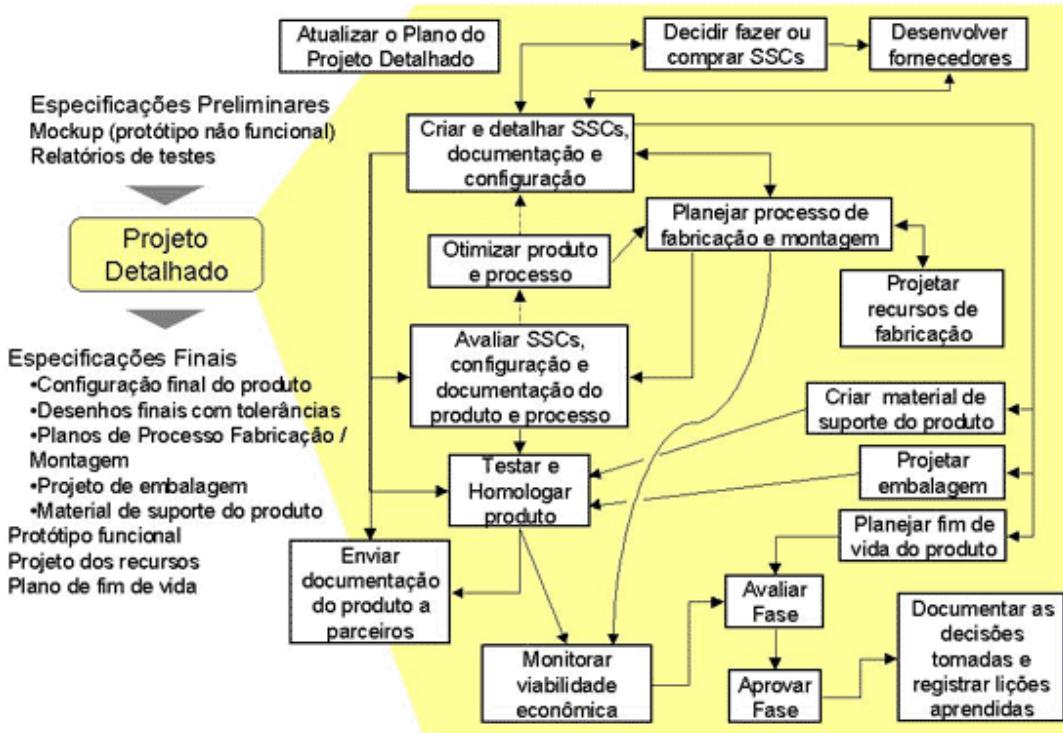


Figura 13: Relação entre as atividades do Projeto Detalhado (retirado de <http://www.pdp.org.br>)

O ponto principal desta etapa do PDP é “a criação e detalhamento dos SSCs, pois nela acontece o ciclo de detalhamento, e é a partir dela que são acionadas as atividades do ciclo de aquisição [...] e do ciclo de otimização (avaliar SSCs, configurar e documentar o produto e o processo, otimizando-os quando necessário)” (ROZENFELD *et al*, 2006).

Algumas atividades realizadas nesta fase, como o planejamento do processo de fabricação, a criação do material de suporte do produto e o projeto de embalagens, evidenciam o fato de que, neste estágio do PDP, grande parte das definições técnicas do produto deve ser finalizada.

Nesta etapa, o uso de *softwares* e sistemas computacionais de apoio é muito comum. Sistemas CAM/CAD/CAE são de grande auxílio na elaboração dos desenhos técnicos dos diferentes SSCs do produto e, em alguns casos, na visualização da interação entre as partes. Além disso, esses sistemas facilitam grande parte dos cálculos de engenharia necessários, auxiliam na determinação das tolerâncias dos projetos e na elaboração da Carta de Materiais (BoM) do produto.

Há também sistemas que, a partir dos desenhos de engenharia e dos modelos tridimensionais, auxiliam o projetista na determinação dos métodos de fabricação que devem ser empregados.

Os autores incluem nesta fase do PDP a utilização de ferramentas que visam o aumento da confiabilidade do produto e evitem falhas. Algumas das ferramentas mencionadas são o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), o Delineamento de Experimentos (DoE) e o Projeto Robusto (RD).

### 3.2.2.4 Preparação da Produção do Produto

A fase de Preparação da Produção engloba as atividades industriais, enquanto o lançamento de produto está mais relacionado aos esforços de marketing. Nesta etapa, o objetivo é assegurar que, de acordo com as determinações dos projetos conceitual e detalhado, a empresa consiga fabricar o produto na quantidade planejada, seguindo os padrões de qualidade do projeto. Entre as atividades desta fase, expostas na Figura 14, estão a obtenção dos recursos de fabricação (que geralmente tem início muito antes do início da fase), o planejamento e a produção do lote piloto, o desenvolvimento dos processos de produção e manutenção, entre outros. É importante ressaltar que todas as definições desta fase são feitas para que os objetivos e as especificações de produção das etapas anteriores sejam atendidos.

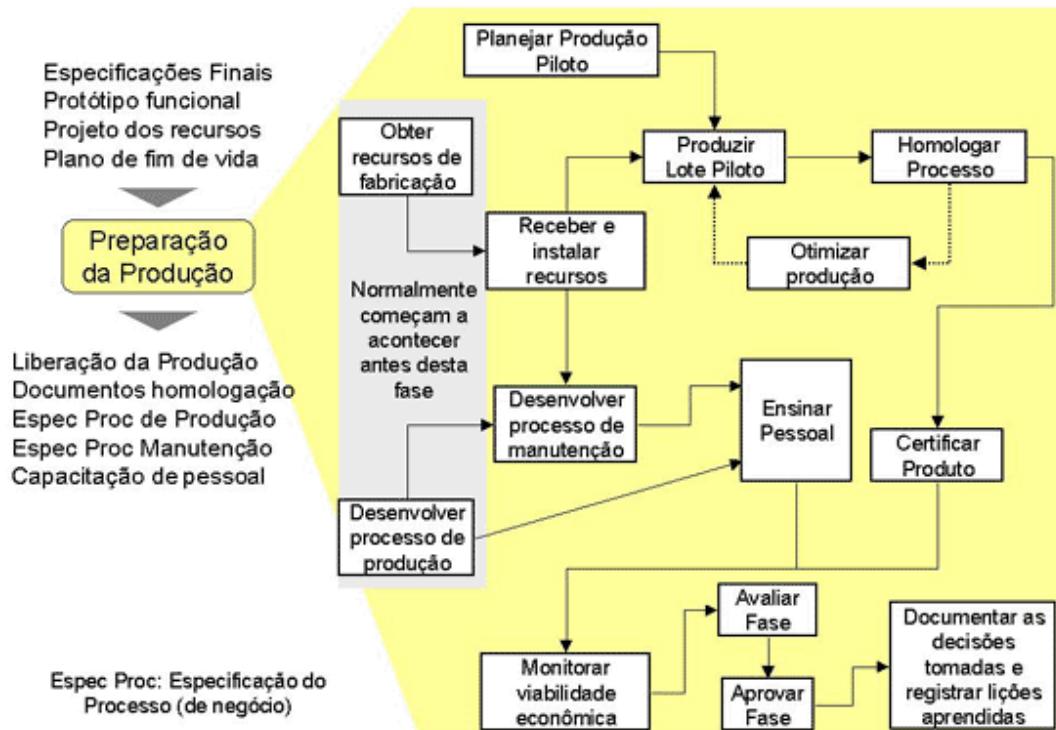


Figura 14: Dependência entre atividades da Preparação da Produção (retirado de <http://www.pdp.org.br>)

### 3.2.2.5 Lançamento do Produto

A principal característica da fase de lançamento de produto é a forte relação com o esforço comercial do produto, com o intuito de garantir que este seja bem aceito pelo seu público consumidor. Segundo Rozenfeld *et al* (2006), “fazem parte desta fase os desenvolvimentos dos processos de apoio à comercialização do produto, ou seja, os processos de venda; distribuição; atendimento ao cliente e assistência técnica”.

Para o lançamento, além de estruturar o processo de vendas e disponibilização do produto, é necessário promover o marketing específico de lançamento, com possíveis desenvolvimentos de campanhas publicitárias e outros esforços de promoção de vendas. É possível observar a dinâmica seguida pelas atividades desta fase na Figura 15.

Sendo a última fase da macrofase de desenvolvimento, é comum que a equipe responsável pelo projeto seja desmontada, com a manutenção apenas de um contingente menor para a realização das fases do pós-desenvolvimento, em que outros processos e áreas da empresa terão controle sobre o produto.

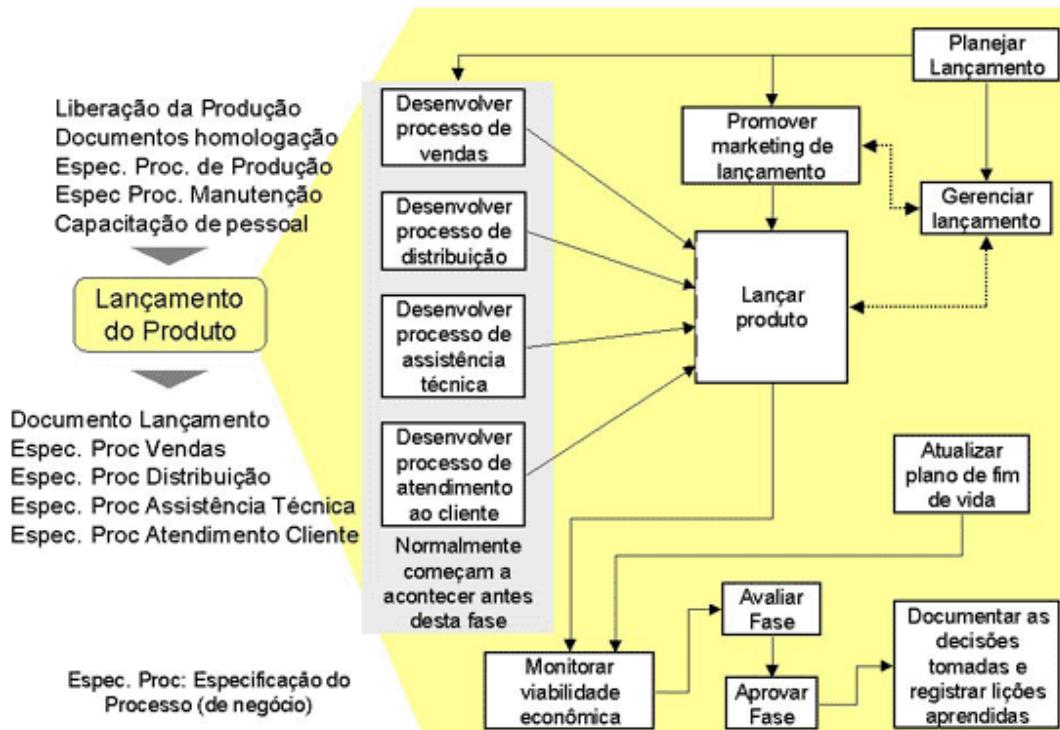


Figura 15: Atividades da fase de Lançamento do Produto (retirado de <http://www.pdp.org.br>)

### 3.2.3 Pós-Desenvolvimento

Tradicionalmente, considera-se que o PDP termina no momento em que o produto está completamente especificado, com todos os projetos técnicos dos SSCs detalhados e os processos produtivos estabelecidos. Entretanto, “essa visão pode fazer com que as empresas desperdigem os conhecimentos adquiridos durante a fase de produção e comercialização do produto” (ROZENFELD et al, 2006).

Esta macrofase pode ser fonte de muitos pontos de melhoria para produtos futuros. Além disso, Rozenfeld et al (2006) consideram a descontinuação como uma das fases do pós-desenvolvimento, o que abre portas para o cumprimento de preceitos de gestão ambiental, já que a empresa deverá estudar alternativas para retirada do produto do mercado e as etapas do fim de seu ciclo de vida.

#### 3.2.3.1 Acompanhar Produto e Processo

Nesta fase, a empresa pode realizar uma avaliação do desempenho e, com algumas correções de curso, agir para que suas metas iniciais, como lucro e relevância no mercado, sejam atingidas. A partir das informações geradas durante o contato do mercado consumidor com o produto desenvolvido, a empresa pode, também, internalizar o aprendizado para novos produtos.

Segundo Rozenfeld *et al* (2006) essa é a etapa em que “realiza-se a auditoria pós-projeto, avalia-se a satisfação dos clientes e monitora-se o desempenho do produto tanto em termos técnicos quanto econômicos”.

Tabela 4: Atividades da fase Acompanhar Produto e Processo

1. Avaliar Satisfação do Cliente
2. Monitorar desempenho do produto (técnico, econômico, de produção e de serviços)
3. Realizar auditoria pós-projeto
4. Registrar lições aprendidas

As atividades desta fase, expostas na Tabela 4, têm pouca relação entre si e não há uma sequência muito clara, mas a atividade de registrar lições aprendidas só pode ser realizada com *inputs* das outras três atividades.

### 3.2.3.2 Descontinuar Produto no Mercado

A fase de descontinuar o produto está relacionada ao fim de seu ciclo de vida. Apesar disso, a descontinuidade pode ter início muito antes do produto ser retirado do mercado. Segundo Rozenfeld *et al* (2006), a descontinuidade efetiva tem início no momento em que um cliente realiza a primeira devolução de um item. Dessa maneira, essa fase não ocorre necessariamente após a fase de acompanhar produto e processo.

Tabela 5: Atividades da fase Descontinuar Produto no Mercado

1. Analisar e aprovar descontinuidade do produto
2. Planejar a descontinuidade do produto
3. Preparar o recebimento do produto
4. Acompanhar o recebimento do produto
5. Descontinuar a produção
6. Finalizar suporte ao produto
7. Avaliação geral e encerramento do projeto

Os autores ressaltam também três eventos marcantes da descontinuidade do produto: a devolução do produto, a desativação da produção e a finalização do suporte ao produto. A Tabela 5 lista as atividades envolvidas nesta fase.

### 3.3 CATEGORIAS DE SOFTWARE UTILIZADAS NO PDP

Nesta seção serão expostos alguns dos recursos comumente utilizados no Processo de Desenvolvimento de Produtos. É dada maior ênfase aos sistemas de apoio que são empregados no PDP, tais como sistemas CAD/CAD/CAM ou sistemas PLM, entre outros.

#### 3.3.1 Gestão de Projetos

Sistemas de gerenciamento de projetos auxiliam as equipes de projeto na elaboração do planejamento detalhado das etapas envolvidas e no acompanhamento da execução (ZANCUL, 2000).

Entre as funcionalidades oferecidas por softwares de gestão de projetos estão a divisão do projeto em subtarefas, por meio da definição da Estrutura Analítica de Trabalho (EAP) ou *Work Breakdown Structure* (WBS), a elaboração de cronogramas e visualização das atividades em gráficos de Gantt, cálculo do caminho crítico por meio de aplicação de técnicas como PERT e CPM, alocação e nivelamento de recursos pelas diferentes atividades, estimativa e acompanhamento de custos de projeto, avaliação do desempenho financeiro, gestão de riscos, entre outras. (MICROSOFT, 2010; ORACLE, 2010)

Os sistemas mais sofisticados permitem também a gestão completa do portfólio de produtos da empresa, auxiliando na tomada de decisões e na seleção de projetos a serem executados. (ORACLE, 2010). Além disso, permitem integração com outras plataformas como sistemas ERP (ORACLE, 2010) ou mesmo funcionamento via web (MICROSOFT, 2010).

#### 3.3.2 CAD/CAE/CAM

Atualmente indispensáveis no desenvolvimento de novos produtos, os sistemas CAD/CAE/CAM servem no auxílio de diversas tarefas dos projetistas de produtos. Desde o desenvolvimento e esboço de desenhos e modelos até a programação da manufatura, passando por inúmeras possíveis análises de engenharia.

Há uma grande tendência de unificação e integração destes sistemas, o que permite que a gestão das diferentes etapas de projeto seja simplificada (EVERSHEIM *et al*, 1997 apud ZANCUL, 2000). Um sistema CAD pode ter diferentes módulos com funcionalidades de

CAE ou CAM por exemplo. As principais características destas ferramentas são expostas a seguir.

### 3.3.2.1 CAD – Computer Aided Design

Os sistemas CAD surgiram com o intuito de facilitar o desenvolvimento de modelos geométricos de produtos. Segundo Rozenfeld et al (2006) , com o aumento do poder computacional e da sofisticação destes sistemas, eles se tornaram efetivos substitutos das pranchetas de desenho manual.

Os modelos geométricos criados nos sistemas CAD podem ser bidimensionais ou tridimensionais, sendo que tem sido dada preferência aos modelos tridimensionais sólidos, uma vez que estes podem ser aplicados em outras etapas do processo de desenvolvimento (ZANCUL, 2000). A Figura 16 ilustra a facilidade de visualização dos modelos proporcionada pelo uso de sistemas CAD.

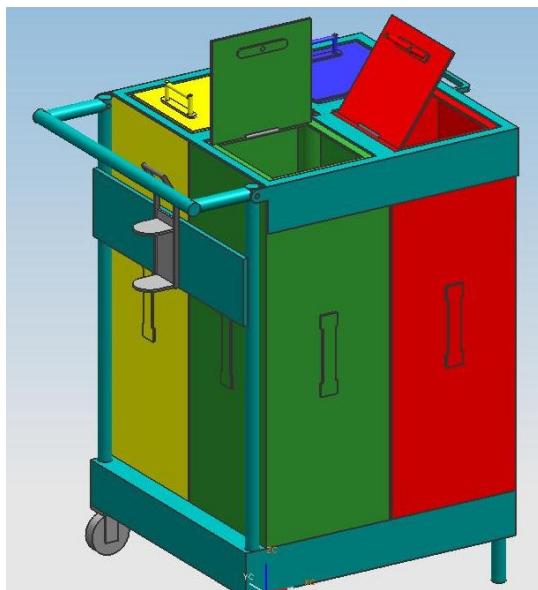


Figura 16: Visualização tridimensional de uma lixeira modelada em ambiente CAD

Com o aprimoramento e sofisticação dos softwares de CAD, surgiram sistemas voltados a aplicações específicas, que além das funcionalidades genéricas, agregam outros módulos relativos à aplicação a que se referem, como sistemas utilizados no projeto de placas de processamento digital (ROZENFELD et al, 2006).

Rozenfeld et al (2006) destacam também a possibilidade oferecida por alguns sistemas CAD de modelagem a partir de *features* do produto, definidos como sendo um “elemento físico de uma peça com significado para a engenharia”. Este tipo de modelagem se baseia no

uso de *building blocks*, ou blocos de construção mais simples, que, em conjunto, formam a estrutura do produto.

Uma importante funcionalidade destes sistemas é a facilidade de visualização de cortes e perspectivas, geração de desenhos industriais. Além disso, podem oferecer funcionalidades como definição de tolerâncias, rugosidade, entre outros (ROZENFELD et al, 2006), e visualização explodida dos componentes para documentação técnica (EVERSHEIM et al, 1997 apud ZANCUL, 2000).

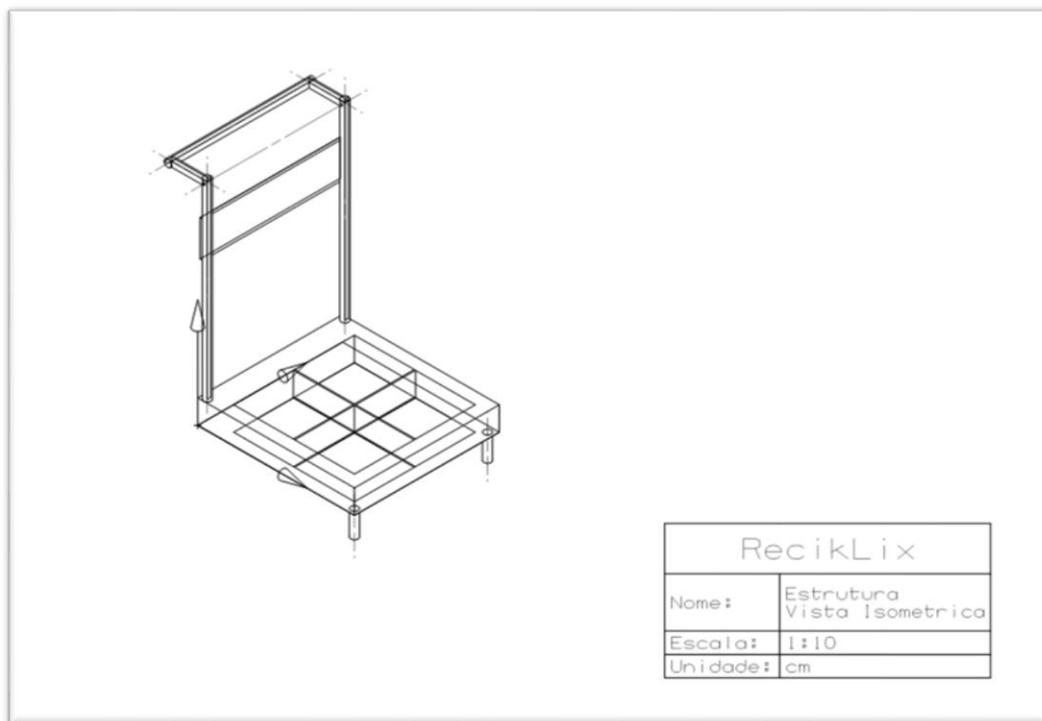


Figura 17: Vista isométrica da estrutura de apoio da lixeira da Figura 16

### 3.3.2.2 CAE – Computer Aided Engineering

Os sistemas CAE permitem a realização de diversas análises de engenharia, ainda durante a fase de projeto, sem necessidade de construção de um protótipo físico. Estes sistemas permitem a determinação de algumas propriedades dos sólidos em estudo e a realização de análises utilizando o método de elementos finitos (LIRANI, 1999 apud ZANCUL, 2000).

Rozenfeld et al (2006) propõem algumas categorias e exemplos de análises realizadas por sistemas CAE:

- “Simulações para teste virtual: da aplicação do produto: análise estrutural, deformações a esforços, durabilidade e fadiga, conformação de material, vibração, resposta dinâmica, análise térmica, escoamento de fluidos, etc.[...]
- Análises integradas a cálculos de engenharia: análise cinemática e de movimentos, aeroelasticidade, análise estrutural linear e não linear, testes de segurança, ergonomia e crash (rompimento de produto) dinâmica, durabilidade, análise térmica, acústica, fluidodinâmica computacional, refrigeração para produtos eletrônicos, etc. [...]
- Processamento de chapas: cálculos de dobramento e desdobramento de chapas, cálculo de alívios, especificação de ferramentas[...]"

### 3.3.2.3 *CAM – Computer Aided Manufacturing*

A expressão *Computer Aided Manufacturing* e a sigla CAM podem, segundo Rozenfeld *et al* (2006), se relacionar a dois significados.

A sigla CAM se refere a “sistemas relacionados com a manufatura, como sistemas de programação da produção (não de planejamento), controle de equipamentos ou de transmissão de dados entre máquinas” (ROZENFELD *et al*, 2006).

Além disso, a sigla pode indicar outra família de sistemas computadorizados, que auxiliam no desenvolvimento dos processos produtivos necessários à obtenção do produto, como a criação dos programas para comando numérico (CN). Estes sistemas também tem outras funcionalidades como o cálculo do caminho a ser percorrido pelas ferramentas, a simulação do programa CN obtido, estimativas do tempo necessário para a fabricação e até mesmo cálculos das condições de usinagem (ZANCUL, 2000).

### 3.3.2.4 *CAPP – Computer Aided Process Planning*

Os sistemas CAPP foram criados com “o objetivo de automatizar as tarefas de planejamento do processo, para que os planos de processo sejam gerados de maneira consistente” (CAY & CHASSAPIS, 1997). São tarefas de planejamento do processo a determinação dos processos produtivos individuais necessários à obtenção da peça e a sequência que permite que esta seja produzida de maneira eficiente.

Métodos de planejamento diferentes permitem classificar os sistemas CAPP em quatro categorias, segundo Rozenfeld *et al* (2006).

- Planejamento Generativo Interativo, em que o processista seleciona um texto-padrão e complementa o texto com os detalhes específicos da peça em questão;

- Planejamento Generativo Automático, para o qual é necessário o “armazenamento de regras e dados de capacidade do processo de fabricação”, a partir dos quais o sistema CAPP interpreta a descrição da peça e os dados do projeto e toma as decisões sobre os processos produtivos;
- Planejamento Variante, no qual um plano de referência ligado a uma família de peças semelhantes é modificado para refletir as especificidades da peça em questão, “proporcionando uma sistematização de curto período e investimento”;
- Planejamento Híbrido, que busca aproveitar as vantagens e desvantagens dos métodos anteriores, e aplicar o melhor tipo de planejamento, dependendo do tipo de peça (grau de parametrização, existência de itens semelhantes, peças novas, etc.).

Entre as vantagens da aplicação de sistemas CAPP estão a diminuição do tempo necessário ao planejamento, a padronização dos processos, o surgimento de uma base única de processos, maior confiabilidade dos dados e a melhoria da qualidade dos processos (NUMA, 2010).

### 3.3.3 PDM – *Product Data Management*

Os sistemas PDM são softwares que tem como objetivo centralizar, organizar e permitir o gerenciamento dos dados e informações que estão relacionados com um produto e seu ciclo de vida (DICKERSON, 1996 apud ZANCUL, 2000).

Os sistemas PDM têm funcionalidades em comum com os sistemas EDM (Electronic Document Management) e Zancul (2000) e Rozenfeld et al (2006) ressaltam que alguns autores chegam a agrupar estes sistemas em uma mesma categoria. Será dado maior foco ao PDM neste trabalho por sua maior relação com o produto e as etapas do processo de desenvolvimento.

Um dos principais pontos da estrutura de um PDM é o cofre (*vault*) de informações, “onde os arquivos gerenciados ficam armazenados. É a parte do sistema que garante a segurança das informações e o controle de acesso dos usuários” (ROZENFELD et al, 2006).

Fan (2000) separa as funcionalidades dos sistemas PDM em funções principais do usuário e funções de utilidade ou de apoio. As funções do usuário são:

- Gestão do cofre de documentos;
- Gestão do fluxo de trabalho, processo e procedimentos;
- Gestão da estrutura do produto;
- Classificação de peças e tecnologia de grupos;
- Gestão de projetos e programas.

As funções de utilidade listadas pelo autor são:

- Comunicação e controle de notificação;
- Transporte de dados e distribuição de documentos;
- Tradução e conversão de dados;
- Visualização de documentos;
- Administração do sistema.

Apesar das dificuldades encontradas na implantação destes sistemas, a utilização de *softwares* de PDM tem entre seus benefícios a garantia da integridade das informações, a consolidação de dados técnicos em uma base única, menores custos, *lead times* e quantidade de alterações de engenharia, a preservação do acervo técnico, entre outros (ROZENFELD et al, 2006).

### **3.3.4 PLM – *Product Lifecycle Management***

Segundo o CIMDATA (2010), PLM não é somente uma tecnologia mas sim um modo de encarar a gestão do conjunto completo das informações de definição de um produto. A mesma instituição define PLM como “um enfoque estratégico de negócios que aplica um conjunto consistente de soluções de negócio para apoiar de maneira colaborativa a criação, gestão, disseminação e o uso de informações da definição do produto”. Além disso, o PLM deve apoiar tanto a empresa quanto fornecedores e consumidores, abrangendo todas as fases do ciclo de vida do produto.

Os três conceitos fundamentais do PLM são:

- “Acesso seguro, universal e gerenciado e uso das informações da definição do produto;

- Manutenção da integridade das definições do produto e informações relacionadas por toda a vida do produto;
- Gestão e manutenção dos processos de negócio usados para criar, gerenciar, disseminar, compartilhar e usar a informação” (CIMDATA, 2010)

Apesar da grande variação das funcionalidades entre sistemas PLM diferentes, Zancul (2006) lista seis funções típicas destes sistemas, expostas na Tabela 6.

Tabela 6: Funcionalidades típicas de sistemas PLM

1. Gestão de documentos
2. Estruturação de produtos
3. Gestão de mudanças e controle da configuração
4. Colaboração
5. Gestão de projetos
6. Suporte para integração de sistemas

Alguns dos principais benefícios apontados por Zancul (2006) na utilização do PLM são a padronização dos processos, a melhoria do fluxo de informações, acesso facilitado às informações atualizadas, maior reutilização de itens e documentos existentes e melhor aproveitamento do conhecimento gerado pela empresa.

### 3.3.5 LCA – *Lifecycle Analysis*

O aumento da complexidade dos requisitos ambientais relacionados ao desenvolvimento de produtos, gerados pela maior conscientização dos consumidores e pela sofisticação da legislação, levaram ao surgimento e aplicação de técnicas de medição da performance ambiental dos produtos (Scientific Applications International Corporation, 2006).

A Avaliação do Ciclo de Vida (*Lifecycle Analysis – LCA*) é uma ferramenta que auxilia na mensuração dos impactos ambientais gerados por todas as fases do ciclo de vida de um produto, desde a obtenção da matéria-prima até o descarte final. A Figura 18 ilustra a divisão entre as fases consideradas nesta análise e as entradas e saídas do sistema.



Figura 18: Fases consideradas no LCA e entradas e saídas do sistema (adaptado de Scientific Applications International Corporation, 2006)

Os softwares de aplicação da metodologia LCA tem entre suas funcionalidades o cálculo das pegadas de água e de carbono do produto, estimativas do custo do ciclo de vida e análise do fluxo de materiais. Além disso, é possível realizar verificações de concordância com normas e leis internacionais, análise de cenários alternativos por meio de modelos parametrizáveis, identificação de pontos críticos do produto e análises de sensibilidade para auxílio à tomada de decisões de projeto (PRé Consultants, 2008; GaBi Software, 2010; EcoBilan, 2010).

### 3.3.6 Sistemas para aplicação de técnicas de projeto do produto

Além dos sistemas e programas aplicáveis ao projeto do produto apresentados anteriormente, existem diversos programas que auxiliam na realização de tarefas pontuais e na aplicação de técnicas relacionadas ao PDP. Alguns tipos destes sistemas serão expostos sucintamente.

- FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

O uso do FMEA tem como objetivo “evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo” (NUMA, 2010).

Sistemas de FMEA auxiliam no preenchimento dos formulários do método de maneira padronizada e com cálculos automáticos dos índices de risco, permitindo a centralização do gerenciamento das ações propostas (ZANCUL, 2000). Alguns sistemas permitem também a comparação com normas e padrões industriais, uso de plataformas online e envio automático de notificações de fluxo de trabalho (PTC, 2010).

- *QFD – Quality Function Deployment*

Os sistemas de QFD auxiliam o usuário no desenvolvimento e na construção gráfica das tabelas e diagramas envolvidos no método (ZANCUL, 2000). Os softwares podem ser simples expansões ou *templates* para programas de planilha eletrônica (SIGMAZONE, 2010) ou versões mais completas que agregam outras funcionalidades e auxiliam no desenvolvimento do conteúdo das matrizes (NOWECO, 2010)

- *DFMA – Design for Manufacturing and Assembly*

São sistemas que fornecem ferramentas às equipes de projeto para analisar e compreender a estrutura de custos associada à manufatura e à montagem do produto (BOOTHROYD DEWHURST, 2010). Estes sistemas tentam encontrar possíveis melhorias e simplificações no produto, de modo a oferecer, além de reduções de custo, maior facilidade na fabricação e menor tempo de desenvolvimento.

- *DFE – Design for Environment*

Por meio das ferramentas fornecidas por softwares de DFE, os projetistas podem levar em consideração o potencial impacto ambiental que será causado pelo ciclo de vida do produto (PPRC, 2010). Estes sistemas auxiliam os projetistas a garantir que os produtos estejam de acordo com legislações internacionais, selecionar materiais e métodos de fabricação de menor custo e de menor impacto ambiental (BOOTHROYD DEWHURST, 2010). É possível isolar o impacto de cada um dos componentes da estrutura do produto, de maneira a concentrar esforços de melhoria (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

### 3.4 VISUALIZAÇÃO E PROTOTIPAGEM

Nesta seção serão expostos alguns dos recursos empregados no Processo de Desenvolvimento de Produtos, com foco nos equipamentos utilizados na obtenção de protótipos e na visualização de modelos geométricos.

#### 3.4.1 Realidade virtual

O uso das tecnologias de realidade virtual tem proliferado rapidamente, uma vez que traz novas possibilidades ao campo do desenvolvimento de produtos, como aumento da velocidade de desenvolvimento e melhoria na qualidade e na usabilidade do produto. (OTTOSON, 2002).

Para Sordi e Valdambrini (2006), o uso da realidade virtual para obtenção de protótipos é "uma das mais eficazes ferramentas ao desenvolvimento de produtos, possibilitando melhoria significativa no processo" e ajuda na redução do *time-to-market* de novos produtos. Os autores mencionam também a existência de soluções de *hardware* e *software* de baixo custo que permitem a aplicação deste tipo de tecnologia.

Segundo Ottoson (2002), as três principais aplicações da realidade virtual no desenvolvimento de produtos são simulação, treinamento de habilidades e comunicação com equipes geograficamente dispersas.

A aplicação mais comum das tecnologias de realidade virtual se relaciona à simulação dos produtos, por meio da técnica de prototipagem virtual. Tseng, Jiao e Su (1998) apontam a existência de similaridades e congruências entre o uso de prototipagem rápida e realidade virtual. O uso da tecnologia de realidade virtual traria ainda a possibilidade de explorar de maneira mais completa e rápida os critérios estéticos, funcionais e ergonômicos do design. (TSENG, JIAO e SU, 1998). A Figura 19 ilustra o uso de um ambiente de realidade virtual aplicado à construção de um navio.

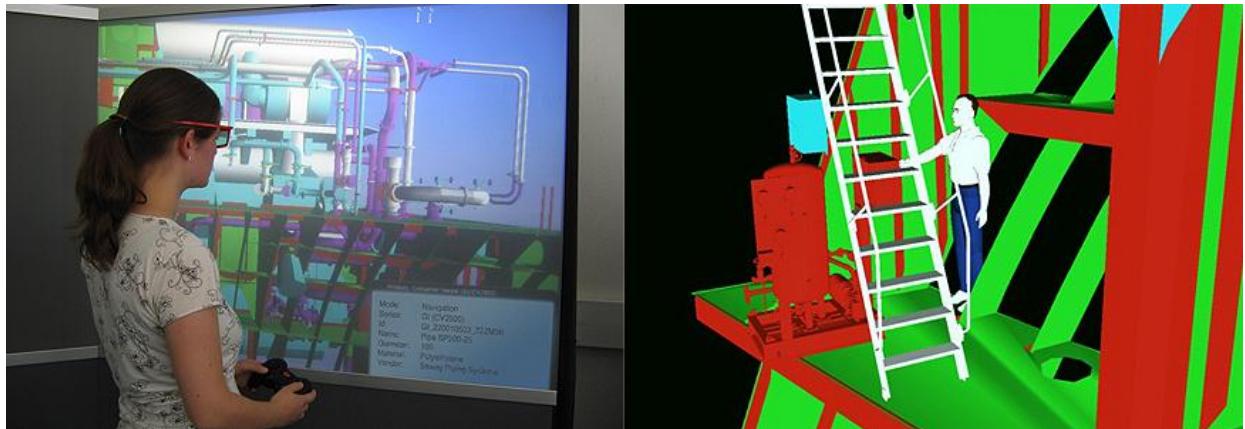


Figura 19: Aplicação da realidade virtual no projeto de um navio (retirado de [www.instantreality.org](http://www.instantreality.org))

Entre ferramentas comerciais disponíveis para aplicações de realidade virtual apontadas por Espíndola (2007) estão:

- REND386
- VR386
- AVRIL
- MRToolKit
- CDK2
- dVS/DVISE
- WorldToolKit
- Superspace
- VREAM
- Virtus Walkthrough
- GVS
- 3D Interaction Accelerator
- Veja VR
- Performer

Sordi e Valdambrini (2006) apontam como benefícios alcançados pelo uso da realidade virtual em uma empresa do ramo automobilístico a diminuição significativa do tempo de desenvolvimento e dos custos finais do primeiro protótipo, a diminuição da razão

entre a quantidade de protótipos necessários para o desenvolvimento de um novo veículo e corte no tempo gasto com testes com protótipos.

### 3.4.2 Prototipagem rápida

A Prototipagem Rápida (RP de *Rapid Prototyping*) pode ser definida como uma tecnologia para obtenção de modelos físicos partindo de modelos geométricos gerados em sistemas CAD e que gera os modelos a partir da deposição de materiais básicos em camadas subsequentes. (KAMINSKI apud SILVA, 2008). Apesar disso, o termo RP tem se popularizado e sido aplicado a diversos processos de prototipagem com rápida execução, independente do processo produtivo específico que é aplicado ou do uso de tecnologias de *software* (DVORAK, 2004).

É possível obter protótipos rápidos pelo método de *Subtractive Rapid Prototyping*, que se difere das tecnologias convencionais de RP por realizar a subtração de material ao invés da adição de camadas, em um método que se assemelha à usinagem (IPT, 2010)

Uma pesquisa realizada em 1999 identificou cerca de 40 diferentes tipos de processos de prototipagem rápida (UPCRAFT; FLETSCHER, 2003 apud SILVA, 2008). Entretanto, para Busato apud Selhorst Junior (2008), as etapas genéricas envolvidas nos diferentes processos são semelhantes e se agrupam na seguinte sequência:

1. Modelagem no sistema CAD
2. Conversão do modelo CAD ao formato “*surface tessellation*”, utilizado pelas máquinas de prototipagem
3. Verificação da consistência da conversão
4. Criação de suportes
5. Orientação da construção
6. Fatiamento e preparação para construção
7. Construção
8. Pós-processamento

Silva e Kaminski (2007) levantaram os processos de RP disponíveis no mercado nacional, que foram classificados em três grupos, de acordo com a forma inicial do material utilizado:

- Materiais líquidos:

- Estereolitografia (SL):

Processo baseado na transformação de uma resina de monômeros em uma cadeia polimérica por exposição a feixe de laser. Uma plataforma móvel submerge a peça em resina para que uma nova camada seja solidificada. Pode utilizar resinas acrílicas ou epoxy (SILVA, 2008).

- Impressão a jato de tinta (IJP) “PolyJet”

Consiste na injeção de material polimérico em camadas ultrafinas sobre uma plataforma de construção, seguida de cura por luz ultravioleta. Utiliza resinas do tipo FullCure e material fotocurável em gel (SILVA, 2008).

- Impressão a jato de tinta (IJP) “InVision”

Utiliza uma impressora 3D para fabricação de modelos de alta precisão com materiais fotopoliméricos de alta durabilidade. Deposita pequenas gotas de material sobre a plataforma de construção e aplica luz UV para cura. Faz uso de resina epoxy fotossensível para o produto e material semelhante a cera para o suporte (SILVA, 2008).

- Materiais sólidos:

- Modelagem por fusão e deposição (FDM)

Neste processo, “um filamento de material é extrudado por uma fina guia e depositado sobre uma plataforma.” Durante esta deposição, a plataforma se move sobre guias para que seja formada a camada transversal da peça. Necessita de estrutura para criação de suportes, o que permite a construção de partes não conectadas ao corpo do produto. Os materiais disponíveis são ABS, PC, PC-ABS, PC-ISO e PPSF. (SILVA, 2008).

- Impressão a jato de tinta (IJP) “ThermoJet”

De maneira semelhante a uma impressora jato de tinta, “o material é aquecido e depositado em forma de gotas”. Após a solidificação do material, a plataforma se move para construção da próxima camada. (SILVA, 2008).

- Materiais a base de pó:

- Sinterização seletiva a laser (SLS)

Oferece a possibilidade de produção de peças complexas em uma variedade de materiais. O material de construção é espalhado e nivelado na câmara de construção.

Em seguida, “um feixe laser se desloca pela superfície do material (...) fornecendo energia para sinterizar as partículas do material de acordo com a geometria 2D da camada”. Os materiais mais usados são elastômeros, nylon, poliamida, com microesferas de vidro, cerâmica e metal com polímero. (SILVA, 2008).

- Sinterização a laser “EOSINT”

Com equipamentos específicos aos diferentes materiais de construção, esta tecnologia se assemelha à SLS, utilizando o mesmo princípio produtivo. Utiliza geralmente materiais a base de poliestireno ou poliamida, que podem ser combinados com alumínio, vidro ou fibra de carbono. (SILVA, 2008).

- Impressão tridimensional (3DP)

Neste tipo de processo, não é utilizado laser para sinterização do material em pó, que é agregado por meio de um aglutinante depositado em processo jato de tinta. A deposição do aglutinante ocorre após o espalhamento e nivelamento do material na superfície da câmara de trabalho. Não há necessidade de criação de suportes durante a separação do modelo em camadas. Teoricamente, “qualquer material que possa ser transformado em pó pode ser utilizado neste processo”. Mais comumente, se utilizam cerâmica, metal, polímeros, gesso e materiais a base de amido, sendo que cada material necessita de um aglutinante específico. (SILVA, 2008).

Silva (2008) avalia os métodos mencionados acima sob as perspectivas de custo do protótipo, precisão, velocidade de construção, resistência mecânica da peça e dimensões máximas permitidas. A Tabela 7 apresenta as conclusões do autor sobre os diferentes tipos de RP.

Tabela 7: Avaliação dos métodos de RP (adaptado de Silva, 2008)

Tipo de processo	Baseados em líquido			Baseados em sólido		Baseados em pó		
Característica	SL	IJP PolyJet	IJP InVision	FDM	IJP ThermoJet	SLS	EOSINT	3DP
Empresa	Robtec	Kehl / Artis	Robtec	Sisgraph	Robtec	Robtec	AMS	Seacam
Custo do protótipo	Alto	Médio	Baixo	Médio-Alto	Médio	Alto	Alto	Baixo
Precisão	Alta	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Baixa
Velocidade de construção	Média	Média	Alta	Baixa	Média-Alta	Média	Média	Alta
Resistência mecânica	Média	Média	Baixa	Média	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Tamanho máximo de peças	508x508x584 mm	336x326x200 mm	298x185x203 mm	600x500x600 mm	250x204x204 mm	381x330x457 mm	700x380x580 mm	508x609x406 mm

É possível notar na Tabela 7 que os resultados obtidos com os diferentes processos de prototipagem rápida, medidos em parâmetros como resistência e precisão dimensional são muito distintos. Da mesma maneira, há, entre as tecnologias apresentadas, grandes variações quanto ao tempo de construção e o custo de fabricação dos protótipos.

## 4 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

Neste capítulo, são apresentadas as etapas de levantamento de dados. Por meio do benchmark com outros laboratórios didáticos utilizados em cursos de engenharia, é possível identificar necessidades típicas dos laboratórios, exemplos de infra-estrutura necessária, utilização em disciplinas, entre outras características. As entrevistas realizadas com professores do corpo letivo do PRO tiveram por objetivo levantar as possíveis atividades de disciplinas do Departamento a serem realizadas no Laboratório de Produtos e, com isso, determinar as necessidades de recursos.

Parte dos dados apresentados neste capítulo é compilada no capítulo 5 em que os recursos são apresentados. As informações obtidas são utilizadas também na proposta para o Laboratório, detalhada no capítulo 6.

### 4.1 BENCHMARK COM OUTRAS INSTITUIÇÕES

Como parte do levantamento de informações para detalhamento dos requisitos necessários ao Laboratório de Produtos, foram analisados outros laboratórios didáticos utilizados em cursos de engenharia. Com objetivo de realizar um *benchmark* e levantar possíveis recursos empregados em laboratórios, foram realizadas visitas presenciais a três laboratórios. Também foi realizado levantamento de informações disponíveis na Internet sobre um laboratório adicional, localizado nos Estados Unidos.

Além de permitir o levantamento de recursos e atividades, a comparação e análise de outros laboratórios possibilita antecipar possíveis problemas na instalação de um novo laboratório, esquemas de funcionamento aplicados, layout de máquinas e computadores, necessidade de funcionários dedicados, capacidades, entre outros.

Nas visitas presenciais, foi seguido um roteiro de levantamento de informações, exposto no anexo 9.1. A seguir, são expostas as principais características dos laboratórios analisados.

#### 4.1.1 LEFA – Laboratório de Engenharia de Fabricação – POLI-USP

Inserido na estrutura do Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da EP, o LEFA (Anexo 9.2) é o laboratório de ensino prático dos processos de fabricação mecânica aos alunos das diferentes engenharias. Além das atividades de pesquisa realizadas no laboratório, as disciplinas de graduação que mais utilizam sua infraestrutura são

“Introdução à Manufatura Mecânica” (PMR2201) e “Planejamento de Processos de Fabricação Auxiliado por Computador” (PMR5217).

O laboratório atende, na disciplina PMR2201, cerca de 300 alunos divididos em 16 turmas. Duas turmas são atendidas simultaneamente durante os oferecimentos da disciplina. Há uma pequena sala de aula (Figura 20) para exposição de conceitos antes de atividades práticas.



Figura 20: Sala de aula dentro do LEFA

O laboratório de protótipos do LEFA está equipado com 18 bancadas de trabalho (Figura 21), 5 tornos mecânicos (Figura 22), 2 serras tico-tico, 1 serra de fita, 1 lixadeira, esmeril, máquina para ensaio de tração, medidor de altura, 2 furadeiras de bancada e 1 centro de usinagem didático (Figura 23).



Figura 21: Bancadas de trabalho – LEFA



Figura 22: Tornos mecânicos do laboratório de protótipos



Figura 23: Centro de usinagem didático – LEFA

A oficina do LEFA, que abriga as máquinas de maior porte, possui 5 tornos mecânico, 1 fresadora universal, 1 fresadora ferramenteira, 3 furadeiras (1 coordenada, 1 de coluna, 1 de bancada), 1 plainadora, 1 serra de fita vertical para aço, 1 máquina de eletro-corrosão, 1 dobradeira, 1 guilhotina, 2 prensas hidráulicas, máquinas de solda, 1 torno CNC (Figura 25), 1 retificadora plana e 1 retificadora cilíndrica



Figura 24: Oficina do LEFA



Figura 25: Torno CNC – LEFA

Para manutenção do laboratório, estão alocados 6 técnicos e um almoxarife além de dois funcionários de auxílio às atividades de pesquisa. Os alunos tem acesso ao laboratório durante as aulas práticas, ou em horários fora de aula somente com solicitação de professor. Por questões de segurança, todas as atividades de alunos são acompanhadas por técnicos do laboratório.

#### 4.1.2 Laboratório PACE – PME – POLI-USP

O PACE (Partners for the Advancement of Collaborative Engineering Education) é uma iniciativa que tem como parceiros as empresas General Motors, Autodesk, Hewlett-Packard, Siemens PLM Software, Sun Microsystems, entre outros. O objetivo da iniciativa é dar apoio a instituições de ensino selecionadas ao redor do mundo no desenvolvimento do ensino de PLM voltado ao setor automotivo. O programa fornece *hardware*, *software*, treinamento, entre outras facilidades às instituições de ensino associadas (PACE, 2010).

A Escola Politécnica da USP é atualmente a única instituição brasileira associada ao programa. Os laboratórios patrocinados pelo programa se encontram no prédio da Engenharia Civil e no prédio da Engenharia Mecânica. O laboratório visitado para o presente trabalho foi o laboratório da Engenharia Mecânica.

No prédio da Engenharia Mecânica, há dois laboratórios similares (Anexo 9.3). Ambos tem acesso dos alunos restrito aos horários de aula e sempre acompanhado pelo

professor da disciplina. Cada laboratório (Figura 26) conta com 25 estações de trabalho HP (Figura 27), além da estação do professor, que funciona como servidor de licença. Não há funcionários específicos destes laboratórios. O sistema CAD utilizado nestas salas é o NX.



Figura 26: Laboratório PACE



Figura 27: Estação de trabalho HP

Além dos laboratórios didáticos, há uma sala de projetos (Anexo 9.4) utilizada por alunos de graduação em projetos específicos, com recursos semelhantes. Com horário livre de funcionamento e acesso livre aos envolvidos nos projetos, esta sala conta com 4 estações de trabalho, 1 roteador, além de um televisor e um terminal para realização de videoconferências.



Figura 28: Sala de projetos do PACE

#### 4.1.3 Laboratórios de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura – UNIMEP

O Campus Santa Bárbara d’Oeste da UNIMEP abriga as áreas de Engenharia e Tecnologia, Arquitetura e Urbanismo e Direito. Neste campus, estão localizados o LSCPM – Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura e o NICG – Núcleo de Informática e Computação Gráfica.

O LSCPM, coordenado pelo Prof. Dr.-Ing Klaus Schützer, é responsável pelas disciplinas de graduação “CAD/CAM Engenharia Simultânea”, “Projeto Auxiliado por Computador” e “Sistemas Computacionais de Apoio ao Projeto, Processo e Manufatura”. Grande parte das atividades e das aulas destes cursos é ministrada no laboratório de CAD (Figura 29), de responsabilidade do NICG.

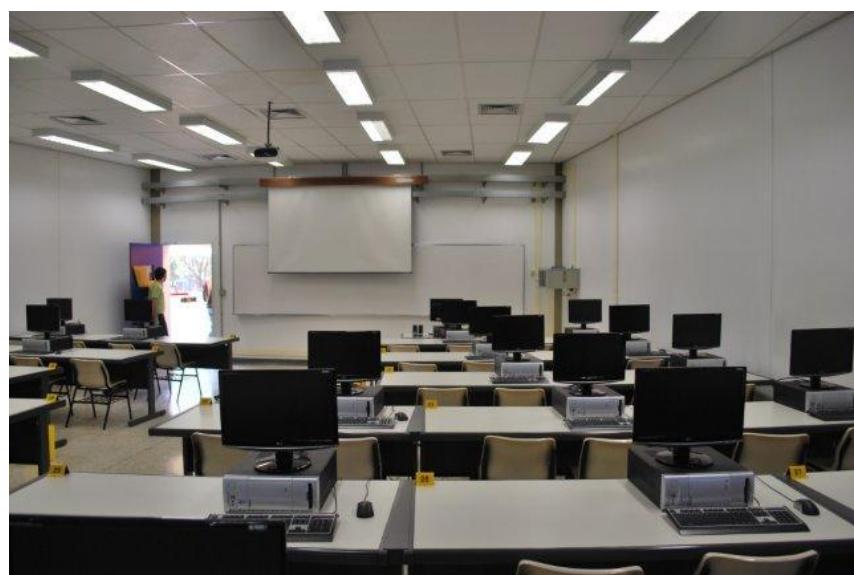


Figura 29: Laboratório de CAD - UNIMEP

O laboratório de CAD (Anexo 9.5) possui 30 computadores, equipados com processador Intel Core 2 Duo 2.8 GHz, 2 GB de RAM e placa de vídeo de 512 MB. A capacidade do laboratório é de 60 alunos, mas atende geralmente turmas de 30 a 40 pessoas. O programa de CAD utilizado nos cursos é o UG NX5, acompanhado do sistema de PLM TeamCenter. Ambos os sistemas tem sido utilizados nos cursos de graduação e o objetivo é realizar as interações entre professor e aluno por meio dos *workflows* permitidos pelo sistema de PLM. A universidade conta com 80 licenças do sistema CAD.

Além do laboratório de CAD, o NICG mantém três laboratórios de informática (Anexo 9.6), semelhantes ao da Figura 30, sendo que um destes é aberto aos alunos durante todo o período de funcionamento do campus e os outros dois são utilizados preferencialmente em aulas, mas podem ser acessados por alunos em casos específicos. Apesar de terem menor capacidade de hardware que o laboratório de CAD, os softwares instalados nos laboratórios de Informática são os mesmos.



Figura 30: Laboratório de informática 1 – UNIMEP

O acesso dos alunos aos laboratórios fora de horário de aula é controlado pela recepção, que, de posse de documento ou ficha de aluno, designa uma estação de trabalho e libera a utilização dos sistemas desejados.



Figura 31: Recepção e controle de acesso

Há ainda duas Salas Ambiente (Anexo 9.7) utilizadas eventualmente por disciplinas que não são da área de informática, com 20 computadores em cada, dispostos em 20 mesas semicirculares que acomodam 4 alunos cada. Uma das salas é ilustrada na Figura 32. Nestas salas podem ser feitas demonstrações ou aplicações práticas de softwares de apoio a diversas disciplinas. As reservas para uso é feita pela intranet da universidade.



Figura 32: Sala Ambiente e detalhe de mesa semicircular

O Laboratório de CAD, os três Laboratórios de Informática e as duas Salas Ambiente são mantidas pela equipe do NICG, que conta com seis técnicos e uma funcionária para a recepção. Esta equipe é responsável também pela manutenção e configuração dos servidores necessários para correto funcionamento dos sistemas instalados nos laboratórios.

#### 4.1.4 ME310: Design Innovation – Stanford University

ME310 é um curso de projeto de produto surgido na Universidade de Stanford há cerca de 40 anos. Criado originalmente para desafiar alunos de engenharia com projetos reais, o foco do curso passou às áreas de design e inovação em produtos e atualmente é ensinado em oito países em quatro continentes (STANFORD UNIVERSITY GLOBAL ALLIANCE FOR RESEARCH AND DESIGN, 2010).

Baseada em um processo próprio (Figura 33), a disciplina consiste na realização de um projeto, em parceria com empresas. Os grupos de trabalho da Universidade de Stanford colaboram com grupos localizados nas universidades associadas ao redor do mundo, em uma metodologia que tem como objetivo facilitar e motivar a inovação através da diversidade das equipes (ME310, 2010).

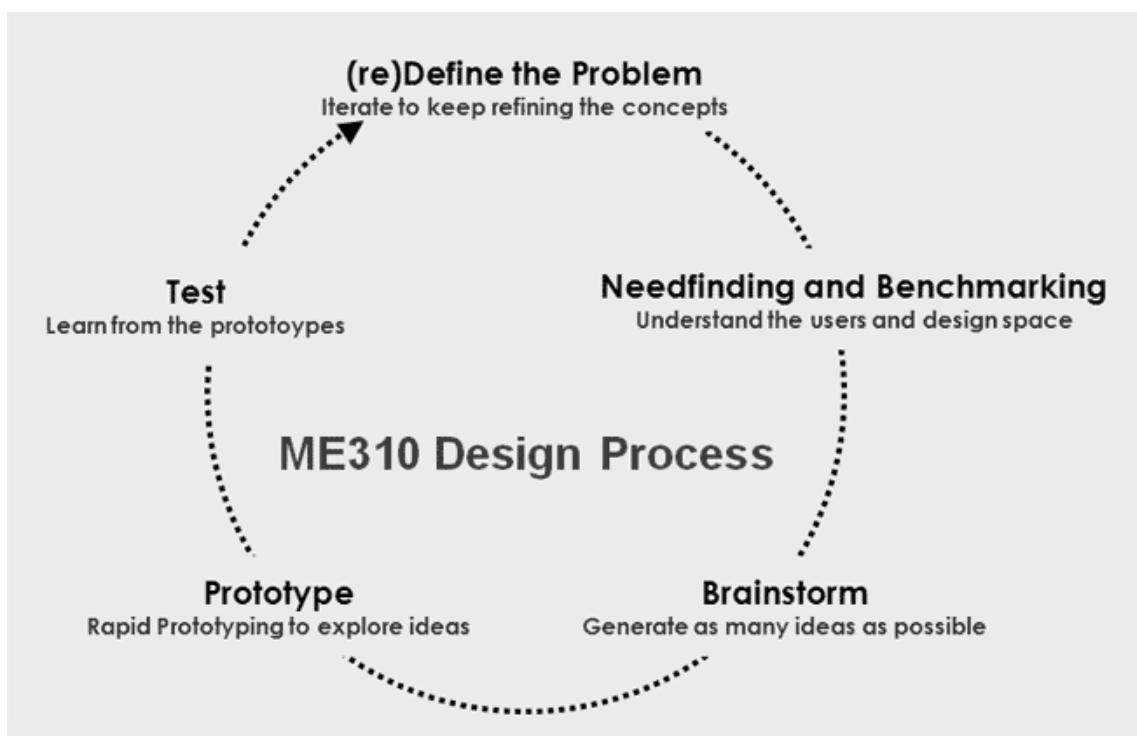


Figura 33: Processo de design utilizado em ME310

Uma das premissas utilizadas em ME310 é que o ambiente de trabalho tem impacto decisivo sobre a qualidade da inovação. Desta maneira, os estudantes trabalham em *Design Lofts*, geralmente equipados com máquinas de prototipagem rápida e ferramentas para colaboração global. A

Figura 34 e a Figura 35 apresentam o *Design Loft* da Universidade de Stanford (ME310, 2010).



Figura 34: Reunião com *coach* de projeto no *Design Loft* de Stanford



Figura 35: Espaço de trabalho dos alunos no *Design Loft* de Stanford

Além do *Design Loft*, os alunos têm acesso a outros laboratórios, como o *Product Realization Lab* (PRL). O PRL se divide em quatro ambientes para realização de atividades distintas (PRODUCT REALIZATION LAB, 2010):

- Na Oficina de Máquinas (Figura 36), encontram-se equipamentos de usinagem como tornos, fresas, furadeiras, serras, prensas, máquinas CNC, entre outros.



Figura 36: Oficina de máquinas do PRL

- Na Oficina de Modelos (Figura 37), são realizadas atividades de marcenaria. Esta oficina é equipada com serras, lixas, tornos para madeira, marcadores, réguas e outros. Um dos objetivos principais desta oficina é a construção de protótipos.



Figura 37: Oficina de modelos do PRL

A Sala de Fundição e Solda é o ambiente de trabalho que possibilita o processamento de metais através de fundição e retífica para alumínio e cobre (Figura 38), trabalhos com plásticos, como injeção, fundição e termoformagem (Figura 39), e atividades de soldagem, como soldas TIG, MIG, oxiacetileno e brasagem (Figura 40).



Figura 38: Área de fundição da Sala de Fundição e Soldagem



Figura 39: Área de plásticos da Sala de Fundição e Soldagem



Figura 40: Área de soldagem da Sala de Fundição e Soldagem

- O CAD Loft and Photo Studio é a área do PRL que abriga estações de trabalho para execução de projetos em sistemas CAD e atividades de edição de imagem. Os softwares utilizados neste ambiente são SolidWorks 2008, Adobe CS2, Rhino 3.0 e GibbsCAM. A Figura 41 ilustra este ambiente do PRL.



Figura 41: *CAD Loft and Photo Studio* do PRL

## 4.2 LEVANTAMENTO DE ATIVIDADES E RECURSOS NECESSÁRIOS AO LABORATÓRIO

Para que fossem identificadas as disciplinas do Departamento de Engenharia de Produção com escopo relacionado ao Laboratório de Produtos, foram listadas as disciplinas oferecidas ao curso de graduação (Anexo 9.8), aos cursos de pós-graduação (Anexo 9.9) e ao curso de Design (Anexo 9.10).

A partir do levantamento das disciplinas oferecidas na graduação e pós-graduação, foram consideradas aquelas que apresentam relação direta com as atividades do PDP. Todas as disciplinas do PRO oferecidas ao curso de Design, por sua vez, estão diretamente relacionadas ao PDP.

A Figura 42 ilustra como as disciplinas consideradas se relacionam com as etapas do modelo de referência do PDP. Por meio de entrevistas com alguns dos professores responsáveis pelas disciplinas da Figura 42, buscou-se levantar mais informações a respeito das atividades que seriam realizadas em laboratório e os recursos necessários.

Foram realizadas entrevistas com seis diferentes professores do Departamento de Engenharia de Produção. De maneira a enriquecer o levantamento de dados e de recursos para o laboratório, buscou-se realizar entrevistas com professores dos diferentes grupos de pesquisa do PRO. Foram realizadas entrevistas abertas pautadas pelo roteiro exposto no Anexo 9.11.

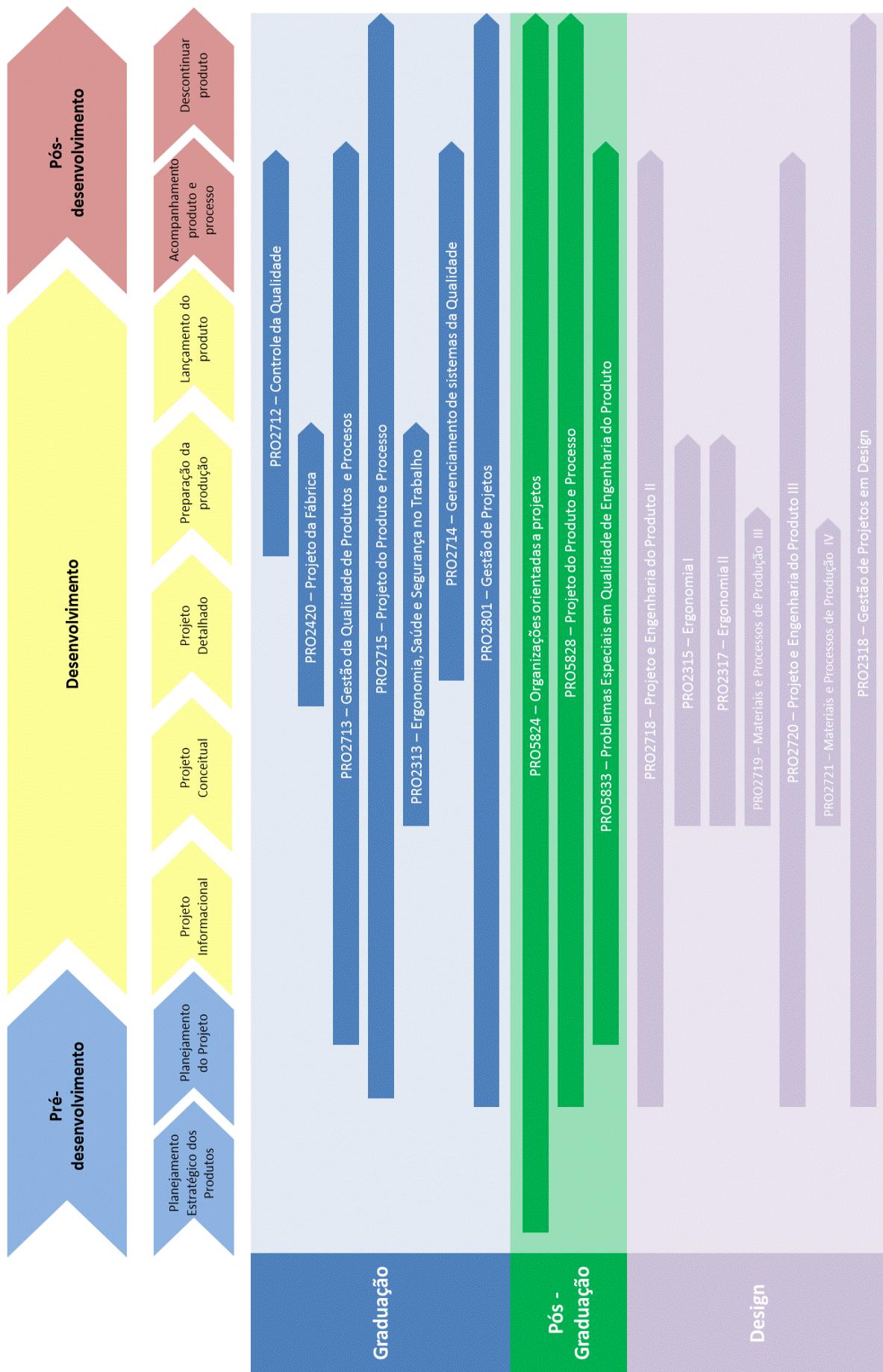


Figura 42: Disciplinas ligadas ao PDP e sua relação com as fases do modelo de referência

### **Entrevista 1: Profa. Dra. Marly Monteiro de Carvalho (Anexo 9.12)**

Responsável pela disciplina de graduação PRO2801 (Gestão de Projetos) e pela disciplina de pós-graduação PRO5824 (Organizações orientadas a Projetos), a entrevistada demonstrou interesse na utilização de um laboratório didático, que permitiria a aplicação de diversos softwares de conteúdo e funções relacionadas às suas disciplinas.

As categorias de software mencionadas como úteis às disciplinas englobam sistemas de gerenciamento de projetos, gestão de risco, sistemas de auxílio à tomada de decisão, softwares estatísticos, mapeamento de processos, mapeamento de redes sociais, bibliometria, análise qualitativa de conteúdo, sistemas de referênciação e sistemas de gestão de portfólio.

### **Entrevista 2: Prof. Dr. Clovis Armando Alvarenga Netto (Anexo 9.13)**

Envolvido em disciplinas de graduação oferecidas ao curso de Engenharia de Educação (PRO2715 – Projeto do Produto e Processo) e ao curso de Design (PRO2718 - Projeto e Engenharia do Produto II; PRO2719 - Materiais e Processos de Produção III; PRO2318 - Gestão de Projetos em Design), o segundo entrevistado expôs a possibilidade de utilização de um laboratório para as atividades de desenho virtual, desenvolvimento de protótipos, engenharia e análise de valor e avaliação do ciclo de vida.

Além de sistemas de apoio ao projeto, como sistemas CAD/CAE e software para análise do ciclo de vida de produtos (LCA), foi levantada a importância de recursos para fabricação de protótipos, como bancadas e materiais de escritório, além de uma máquina de prototipagem rápida.

### **Entrevista 3: Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul (Anexo 9.14)**

Em uma entrevista voltada à disciplina PRO2715 (Projeto do Produto e Processo), foi frisada a utilidade de um laboratório bem equipado para a disciplina. Entre as atividades que seriam realizadas estão a estruturação do produto, englobando as diversas etapas do PDP, a gestão e a entrega de documentos de trabalho de maneira eletrônica e a fabricação de protótipos.

Para efetivação das atividades planejadas, os recursos que se fazem necessários são sistemas de PLM, CAD/CAE/CAM, QFD, FMEA, DFMA e de gestão de projetos. Além dos

*softwares*, o Laboratório deveria oferecer equipamentos para fabricação de protótipos, como área de marcenaria, máquinas para usinagem e corte e solda de metais e uma máquina de prototipagem rápida.

#### **Entrevista 4: Prof. Dr. André Leme Fleury (Anexo 9.15)**

Envolvido em disciplinas oferecidas ao curso de Design (PRO2720 – Projeto e Engenharia do Produto) e ao curso de Engenharia de Produção, como Gestão da Qualidade de Produtos e Processos, o entrevistado considerou benéfica a utilização de um laboratório para o oferecimento de atividades didáticas.

Em uma entrevista mais voltada às aplicações do laboratório na disciplina para o curso de Design, foi levantada a possibilidade de realização de atividades como desenho informatizado por meio de sistemas CAD, design colaborativo de produtos e construção de protótipos.

Os principais recursos apontados são sistemas CAD, como o *Rhinoceros* e o *CATIA*, além de uma impressora tridimensional para prototipagem rápida. Foi mencionada a possibilidade de acesso a pacotes de softwares livres, de aplicações diversas, como no modelo oferecido pelo site *SimpleScripts*, em que o usuário, através de uma assinatura mensal, tem acesso a todos os sistemas disponíveis, como gestão de projetos, gestão de conteúdo, recursos para redes sociais, entre outros.

#### **Entrevista 5: Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake (Anexo 9.16)**

Com foco na disciplina de Projeto da Fábrica (PRO2420), na entrevista foi demonstrado interesse na utilização de um laboratório para atividades didáticas, porém com a ressalva de que muitos dos possíveis sistemas e recursos oferecidos requereriam treinamento longos e complexos, o que poderia inviabilizar sua utilização em disciplinas de graduação, com duração de apenas um semestre.

Os recursos mencionados foram sistemas para aplicação de técnicas de Tempos e Métodos, como o software *Ticon* da empresa MTM, além de sistemas físicos para simulações industriais, como os modelos fabricados pela empresa Staudinger, expostos na Figura 43 e na

Figura 44, que permitem simulação de linhas de produção e operações produtivas, com coleta de dados automatizada (STAUDINGER, 2010).



Figura 43: Sistemas de simulação Staudinger para processo em linha (esq.) e processo em célula (dir.)



Figura 44: Sistema de simulação Staudinger para armazém vertical

Entre as possíveis atividades do laboratório estariam simulações de ambientes industriais (como movimentação de materiais, simulação de operação, comparação de desempenho de layouts, entre outros) e atividades de cronometragem e otimização de tarefas.

#### **Entrevista 6: Prof. Dr. Laerte Idal Sznelwar (Anexo 9.17)**

Visando capturar os requisitos percebidos pelo grupo de Ergonomia do PRO, a sexta entrevista foi precedida de uma reunião entre os professores relacionados a esta área para determinação de interesses comuns. O entrevistado demonstrou interesse na utilização de um laboratório didático nas disciplinas do Departamento ligadas à ergonomia. O laboratório poderia ter aplicações também para disciplinas do curso de Design.

Entre as atividades que poderiam ser realizadas neste ambiente estão a avaliação de produtos existentes e situações de trabalho, realização de simulações, construção de mock-ups e protótipos, testes de usabilidade, esforço, adequação anatômica, medições de condições de trabalho, testes de distinção de informação, entre outras.

Os recursos apontados como necessários incluem equipamentos, máquinas e *softwares*. Entre os equipamentos estão aparelhos para medição de esforços, frequência cardíaca, direção do olhar, pressão de contato, decibelímetro, luxímetro, termômetro, fotômetro, entre outros. No grupo de máquinas, estão recursos como câmeras fotográficas e de vídeo, computadores, sistemas para captura de movimentos e máquina de prototipagem rápida. Alguns dos softwares que seriam úteis são sistemas CAD e CAE com aplicações a ergonomia, programas de tratamento e análise de imagens, entre outros.

Em algumas das entrevistas realizadas, foram apontadas limitações na situação atual dos laboratórios do Departamento, direcionadas em especial à baixa utilização dada aos recursos. Além disso, pontos como o layout que dificulta o trabalho em grupo e a dificuldade de acesso dos alunos ao laboratório fora dos horários de aulas ou monitorias também foi mencionada.

Todos os professores entrevistados se mostraram favoráveis à utilização mais intensa de um laboratório para apoiar as atividades das disciplinas oferecidas pelo Departamento de Engenharia de Produção. Foi ressaltada a necessidade de um espaço para realização de trabalhos em grupo e da aplicação prática de conhecimentos, tanto por meio de softwares específicos de disciplinas quanto máquinas e equipamentos.

Entretanto, foi feita a ressalva de que alguns dos possíveis recursos do laboratório de produtos poderiam ser de utilização complicada. Desta maneira, seu emprego nas disciplinas, especialmente as de graduação, poderia ser inviabilizado, se fosse necessário alocar muito tempo de aula, ou horários fora da grade, à realização de treinamentos dos usuários dos recursos.

Indispensáveis ao PDP, alguns recursos, como sistemas CAD para desenvolvimento de modelos tridimensionais e máquinas para prototipagem rápida, foram listados por diversos professores como essenciais ao laboratório de produtos.

## 5 COMPILAÇÃO DE RECURSOS

A partir dos dados levantados nas etapas apresentadas no capítulo 4, neste capítulo serão apresentados os recursos que poderiam ser empregados no laboratório de produtos mencionados nas entrevistas com professores ou observados em outros laboratórios.

Buscou-se realizar um levantamento abrangente dos recursos, com a descrição das categorias e orçamento de possíveis sistemas e máquinas. Entretanto, não foi possível identificar, para todos os casos de recursos mencionados nas entrevistas ou observados nos laboratórios, fornecedores que disponibilizassem orçamentos.

### 5.1 SOFTWARES

#### 5.1.1 Análise Multicritério

São sistemas que auxiliam a tomada de decisões através de análise multicritério, em que diferentes alternativas são comparadas de acordo com fatores de avaliação determinados pelo usuário. Os *softwares* que permitem este tipo de análise geralmente fornecem diversas outras ferramentas de apoio à tomada de decisão.

Tabela 8: Detalhes dos sistemas para análise multicritério analisados

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Expert Choice	<a href="http://www.expertchoice.com/">http://www.expertchoice.com/</a>	Sim	Não informado	Synth
Decision Lens	<a href="http://www.decisionlens.com/">http://www.decisionlens.com/</a>	Não	US\$20000 /departamento	Não

#### 5.1.2 Análise Qualitativa

Os softwares de análise qualitativa fornecem ferramentas para investigação das causas e dos comportamentos envolvidos nos processos de tomada de decisão. Esse método é aplicado comumente nas ciências sociais e em pesquisas de mercado.

Tabela 9: Detalhes dos sistemas para análise qualitativa analisados

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Semantic Knowledge	<a href="http://www.semantic-knowledge.com/">http://www.semantic-knowledge.com/</a>	Sim	US\$2800/licença	Não
NVivo	<a href="http://www.qsrinternational.com/products_nvivo.aspx">http://www.qsrinternational.com/products_nvivo.aspx</a>	Sim	US\$447/licença	Não

### 5.1.3 Árvore de Decisão

Softwares de apoio à tomada de decisão geralmente oferecem diversas ferramentas de apoio. Uma das mais comuns neste processo é o uso de árvores de decisão, para modelar decisões, suas consequências, probabilidades, custos, entre outras características.

Tabela 10: Sistemas para construção de árvores de decisão

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
DPL	<a href="http://www.syncopation.com/dpl_standard.html">http://www.syncopation.com/dpl_standard.html</a>	Sim	US\$249/ano (departamento)	Não
DTREG	<a href="http://www.dtreg.com/">http://www.dtreg.com/</a>	Sim	\$7500/departamento	Não

### 5.1.4 Bibliometria

São sistemas que permitem a aplicação de técnicas estatísticas e matemáticas na análise da produção escrita de uma disciplina. Softwares desta categoria trabalham geralmente com bases de dados de artigos e permitem mapear e encontrar tendências de evolução dentro de um campo de pesquisa.

Tabela 11: Software para análise bibliométrica

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Sitkis	<a href="http://users.tkk.fi/hschildt/sitkis/">http://users.tkk.fi/hschildt/sitkis/</a>	Não	Gratuito	Não

### 5.1.5 CAD/CAE/CAM

Com aplicação muito intensiva no PDP, os sistemas CAD/CAE/CAM permitem o desenvolvimento de modelos tridimensionais virtuais de produtos, a realização de análises e cálculos de engenharia durante a fase conceitual, sem necessidade de construção de protótipos, e auxiliam na escolha dos processos de manufatura e na otimização da produção. Estes sistemas possuem diversos módulos utilizados em aplicações específicas e podem ser integrados a diversos outros sistemas usados no PDP.

Tabela 12: Sistemas CAD selecionados

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
PTC ProEngineer	<a href="http://www.ptc.com/products/proengineer/">http://www.ptc.com/products/proengineer/</a>	Sim	US\$2.500 /departamento	PLM Solutions
Siemens NX	<a href="http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/nx/index.shtml">http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/nx/index.shtml</a>	Sim	Sem custos	Siemens PLM
Rhynoceros	<a href="http://www.rhino3d.com/">http://www.rhino3d.com/</a>	Sim	Já existente no PRO	VISUALCAD
CATIA	<a href="http://www.3ds.com/products/catia">http://www.3ds.com/products/catia</a>	Sim	Não informado	Dassault Systemes
RAMSIS <sup>1</sup>	<a href="http://www.appliedcae.com/ramsis/">http://www.appliedcae.com/ramsis/</a>	Não	Não informado	Não

### 5.1.6 DFE

Voltados à aplicação do *Design for Environment*, esta categoria de sistemas realiza tarefas como cálculo de impacto ambiental e priorização de componentes para melhoria da performance ambiental.

Tabela 13: Software para aplicação de DFE

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
ECO-it	<a href="http://www.pre.nl/eco-it/eco-it.htm">http://www.pre.nl/eco-it/eco-it.htm</a>	Não	US\$199/licença	Não

### 5.1.7 DFMA

As técnicas de *Design for Manufacturing and Assembly* buscam encontrar pontos de melhoria na estrutura e nos componentes de um produto para otimizar seu processo produtivo, tanto na fase de manufatura quanto na de montagem. Os softwares para DFMA possuem bibliotecas internas de melhores práticas e normas internacionais, além de fornecerem uma maneira estruturada para análise do produto.

Tabela 14: Software para aplicação de DFMA

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
DFM/DFA Boothroyd Dewhurst	<a href="http://www.dfma.com/software/index.html">http://www.dfma.com/software/index.html</a>	Sim	US\$4.000 /25 licenças anuais	Não

<sup>1</sup> Módulo CAE com aplicações de ergonomia que pode ser integrado a diferentes sistemas CAD

### 5.1.8 Estatística

Uma grande quantidade de soluções de software no mercado efetua as mais diversas funcionalidades estatísticas. Estes sistemas auxiliam desde o cálculo de parâmetros estatísticos simples até técnicas mais complexas, como regressões, modelagem e otimização.

Tabela 15: Softwares estatísticos selecionados

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Minitab	<a href="http://www.minitab.com/en-BR/default.aspx">http://www.minitab.com/en-BR/default.aspx</a>	Sim	Já existente no PRO	Lider Softwares
STATISTICA	<a href="http://www.statsoft.com.br/pt/conteudo.php?con=0000000017">http://www.statsoft.com.br/pt/conteudo.php?con=0000000017</a>	Sim	R\$13.000/30 licenças anuais	StatSoft SouthAmerica

### 5.1.9 FMEA

Com a popularização do uso da técnica de FMEA, alguns sistemas de auxílio à sua aplicação foram criados. Os softwares voltados à aplicação de técnicas de qualidade geralmente possuem diversos módulos, sendo que o FMEA é apenas uma das técnicas possíveis. O PTC Relex, por exemplo, além do FMEA, auxilia na elaboração e análise de árvores de falha, predição de confiabilidade e manutenções, otimização do custo de ciclo de vida, entre outras análises.

Tabela 16: Softwares para aplicação de FMEA

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Noweco PathMaker	<a href="http://www.noweco.com/spathme.htm">http://www.noweco.com/spathme.htm</a>	Não	US\$115/licença	Não
PTC Relex	<a href="http://www.ptc.com/products/relex/">http://www.ptc.com/products/relex/</a>	Sim	R\$5.320/50 licenças anuais	Real Safe

### 5.1.10 Gerenciamento de requisitos

Com relação muito forte com o PDP, o gerenciamento de requisitos também pode ser aplicado a diversos processos de uma organização para garantir o alinhamento entre as atividades e as expectativas de consumidores e partes envolvidas. Alguns sistemas, como o RequirementsLink, permitem integração com sistemas CAD para que o projeto virtual seja alterado quando ocorrem mudanças ou surgem novos requisitos.

Tabela 17: Sistemas para gestão de requisitos

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Accompa	<a href="http://www.accompa.com/requirements-management-software.html">http://www.accompa.com/requirements-management-software.html</a>	Não	US\$9.348/ 25 licenças anuais	Não
Windchill Requirements Link	<a href="http://www.ptc.com/products/windchill/requirementslink">http://www.ptc.com/products/windchill/requirementslink</a>	Não	Não informado	Não

### 5.1.11 Gestão de Projetos

Os sistemas de gestão de projetos facilitam o gerenciamento das atividades envolvidas, planejamento, acompanhamento de riscos, entre outras tarefas necessárias durante o desenvolvimento de um projeto.

Tabela 18: Sistemas para gestão de projetos

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
MS Project	<a href="http://www.microsoft.com/project/en/us/default.aspx">http://www.microsoft.com/project/en/us/default.aspx</a>	Não	Já existente	Não
PRIMAVERA	<a href="http://www.oracle.com/us/products/applications/primavera/index.html">http://www.oracle.com/us/products/applications/primavera/index.html</a>	Não	Não informado	Não

### 5.1.12 Gestão de Risco

A gestão de risco, etapa importante da gestão de projetos, permite que os responsáveis identifiquem os riscos envolvidos, estimem seus impactos e probabilidades de ocorrências e gerem planos de ação para combatê-los. Através de softwares específicos, é possível utilizar *templates* para acompanhamento de riscos, cálculos de prioridades, entre outras atividades.

Tabela 19: Softwares de auxílio à gestão de riscos

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
RiskRadar	<a href="http://www.americansystems.com/Services/ProfessionalTechnicalITServices/RiskManagement/RiskManagementTools.htm">http://www.americansystems.com/Services/ProfessionalTechnicalITServices/RiskManagement/RiskManagementTools.htm</a>	Não	US\$695/ licença	Não
CrystalBall	<a href="http://www.oracle.com/us/products/middleware/business/crystalball/crystalball-066563.html">http://www.oracle.com/us/products/middleware/business/crystalball/crystalball-066563.html</a>	Sim	R\$802/ licença	Não

### 5.1.13 LCA

A aplicação do LCA – *Life Cycle Assessment* – permite que, ainda na fase de desenvolvimento do produto, seja mapeado seu impacto ambiental, obediência a leis e normas de sustentabilidade, necessidades de matérias-primas e possíveis substituições, priorização de componentes para melhoria, entre outras atividades. Os sistemas para LCA possuem bibliotecas de melhores práticas e normas internacionais para que a equipe de projeto consiga acompanhar o desempenho e a viabilidade do produto em desenvolvimento.

Tabela 20: Sistema para aplicação de LCA

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
SimaPro	<a href="http://www.pre.nl/Simapro/default.htm">http://www.pre.nl/ Simapro/default.htm</a>	Sim	R\$5850/40 licenças anuais	ACV Brasil
			Gratuita (1º ano)	

### 5.1.14 Mapeamento de Processos

São sistemas que permitem que todos os tipos de processos sejam modelados, geralmente em fluxogramas que representam o *workflow* do processo em questão. Alguns sistemas permitem também integração com plataformas web onde é possível haver interação entre os usuários envolvidos.

Tabela 21: Sistemas para mapeamento de processos

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
MS Visio	<a href="http://office.microsoft.com/pt-br/visio/">http://office.microsoft.com/pt-br/visio/</a>	Sim	Já existente	Não
BizAgi Process BPM Xpress	<a href="http://www.bizagi.com/index.php">http://www.bizagi.com/index.php</a>	Sim	Gratuito	Não

### 5.1.15 Mapeamento de redes sociais

Sistemas para mapeamento de redes sociais permitem a análise dos nós e ligações que compõem uma rede social. Com aplicações no campo de pesquisas, é possível encontrar as ligações e mapear as relações entre artigos científicos de um banco de dados, por exemplo.

Tabela 22: Software para mapeamento de redes sociais

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
UCINET	<a href="http://www.analytictech.com/ucinet/">http://www.analytictech.com/ucinet/</a>	Sim	US\$750/25 licenças	Não

### 5.1.16 Plataforma de software livre

Sem configurar um sistema ou uma aplicação propriamente ditos, uma plataforma de software livre permite o acesso a diversos programas livres diferentes, através de uma assinatura mensal. Os sistemas livres disponíveis neste tipo de assinatura abrangem gestão de projetos, gestão de conteúdo, recursos para redes sociais, entre outros.

Tabela 23: Plataforma de acesso a softwares livres

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
SimpleScripts	<a href="http://www.Simplescripts.com/">http://www.Simplescripts.com/</a>	Não	US\$10/licença	Não

### 5.1.17 PLM

Os sistemas para PLM – *Product Lifecycle Management* – permitem o gerenciamento das etapas do ciclo de vida de um produto dentro de uma mesma plataforma. Desta maneira, as interações entre os envolvidos no processo, os documentos gerados, controle de revisões, entre outras possíveis aplicações, são centralizadas no mesmo programa.

Tabela 24: Sistemas PLM

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Windchill	<a href="http://www.ptc.com/products/windchill/">http://www.ptc.com/products/windchill/</a>	Não	Não informado	PLM Brasil
Siemens TeamCenter	<a href="http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/teamcenter/index.shtml">http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/teamcenter/index.shtml</a>	Sim	Sem custos	Siemens PLM

### 5.1.18 QFD

O QFD – *Quality Function Deployment* – é uma ferramenta de qualidade que busca levar as expectativas do usuário final ao processo de desenvolvimento e produção. Tal como o FMEA, a aplicação do QFD é geralmente um módulo de um programa com outras funcionalidades relacionadas à qualidade.

Tabela 25: Software para aplicação de QFD

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
Noweco PathMaker	<a href="http://www.noweco.com/spathme.htm">http://www.noweco.com/spathme.htm</a>	Não	US\$115/licença	Não

### 5.1.19 Referenciação

Úteis em pesquisas acadêmicas, sistemas de referenciação auxiliam na pesquisa e uso de bases bibliográficas, na organização de arquivos e de referências, na confecção de listas de figuras, tabelas e referências bibliográficas em artigos, entre outras funcionalidades.

Tabela 26: Sistema para referenciação

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
EndNotes	<a href="http://www.endnote.com/">http://www.endnote.com/</a>	Não	R\$19.937	PicInformática

### 5.1.20 Tempos e métodos de produção

A metodologia MTM – *Methods-Time Measurement* – é aplicada para cálculo de tempos padrão de processos produtivos e auxilia em estimativas de capacidade e necessidade de recursos, além da otimização dos sistemas produtivos. Os sistemas MTM possuem bibliotecas de tempo-padrão que facilitam a aplicação desta metodologia.

Tabela 27: Software para aplicação da metodologia MTM

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
MTM	<a href="http://www.mtmdobrasil.com/index/index.php">http://www.mtmdobrasil.com/index/index.php</a>	Não	Não informado	MTM do Brasil

### 5.1.21 Observações comportamentais

Sistema que permite a tomada de dados em campo relativos a observações de estados e eventos e a posterior análise destes dados.

Tabela 28: Software para tratamento de observações comportamentais

Software	Site	Licença acadêmica	Preço	Representante no Brasil
ActogramKronos	<a href="http://www.actogram.net/Telechargement/telechargement.html">http://www.actogram.net/Telechargement/telechargement.html</a>	Não	Gratuito (versão limitada)	Não

## 5.2 MÁQUINAS

### 5.2.1 Prototipagem Rápida

As máquinas de prototipagem rápida permitem a obtenção de protótipos de produtos a partir do modelo em CAD desenvolvido anteriormente. Diferentes tecnologias de prototipagem rápida estão disponíveis comercialmente, mas a maioria consiste na sobreposição de camadas de baixíssima espessura de materiais.

Um custo muito importante relacionado à prototipagem rápida é proveniente do material utilizado no processo. Além disso, algumas tecnologias requerem a utilização de mecanismos ou materiais de suporte da peça em construção, o que contribui para o aumento dos custos de prototipagem.

Tabela 29: Equipamentos de prototipagem rápida

Máquina	Tecnologia	Fornecedor	Tamanho máximo de construção (mm)	Preço	Material (custo)
Z Printer 150	3DP	SeaCam	236 x 185 x 127	a partir de US\$35.000 (FOB)	Semelhante a gesso (US\$0.30/cm <sup>3</sup> FOB)
V-Flash Desktop Modeler	3DP	Robtec	228 x 171 x 203	R\$49,900 (FOB)	Polímero especial <sup>1</sup> (não informado)
Projet DP3000	3DP	Robtec	298 x 185 x 203	US\$69,000 (FOB)	Polímero especial <sup>2</sup> (não informado)
Objet Alaris30	IJP Polyjet	SyCad	300 x 200 x 150	US\$64,850 (Ex Works)	Polímero especial <sup>3</sup> (US\$525/kg CIF)

### 5.2.2 Oficina de protótipos

Além da tecnologia de prototipagem rápida, a fabricação de protótipos pode ser feita utilizando madeira ou metais. Para a construção de protótipos com estes materiais, algumas máquinas específicas são necessárias.

Tendo em mente as atividades das disciplinas do PRO, seriam necessários equipamentos com alta flexibilidade mas para produção em baixíssima escala. A Tabela 30 lista algumas das máquinas empregadas na fabricação de protótipos.

<sup>1</sup> Requer mecanismos de sustentação da peça (custo não informado)

<sup>2</sup> Requer material de suporte (custo não informado)

<sup>3</sup> Requer material de suporte (US\$225/kg CIF)

Tabela 30: Máquinas para fabricação de protótipos

Material	Máquina	Modelo	Fornecedor	Preço
-	Morsa de bancada	Metalsul - Nº6	Marchiori Comercial	R\$ 180,00
Madeira	Lixadeira	Ferrari - LCM-46	Marchiori Comercial	R\$ 630,50
	Furadeira comum	Makita - DF030DWE	Marchiori Comercial	R\$ 540,00
	Furadeira de bancada	Chiaperini - CH FB16	Marchiori Comercial	R\$ 560,00
	Serra de Fita	Ferrari - SF-8	Marchiori Comercial	R\$ 744,00
	Serra circular	Dewalt - DW352K	Marchiori Comercial	R\$ 446,00
	Serra tico-tico	Dewalt - DW341	Marchiori Comercial	R\$ 397,00
Metal	Dobradeira	Gold - 2 metros	Gold Máquinas	R\$ 5.600,00
	Guilhotina	Silcatas (1300x1,5mm)	Silcatas	R\$ 6.850,00

### 5.3 ERGONOMIA

Os recursos recomendados para atividades das disciplinas relacionadas a ergonomia são listados na Tabela 31.

Tabela 31: Recursos para atividades de Ergonomia

Equipamento	Fornecedor	Custo (R\$)
Frequencímetro cardíaco	Proximus	249
Decibelímetro, luxímetro, termômetro, higrômetro integrado	Impac	358
Anemômetro	HiSeg	285
Antropômetro	Corpo Perfeito	597
Fita antropométrica	Proximus	13
Trena eletrônica	HiSeg	180

### 5.4 OUTROS EQUIPAMENTOS

Além dos softwares e máquinas de prototipagem e equipamentos de ergonomia, as atividades do Laboratório de Produtos utilizariam outros tipos de recursos. Apesar de não ser exaustiva, a Tabela 32 lista alguns dos equipamentos que seriam utilizados.

Tabela 32: Equipamentos para o Laboratório de Produtos

Equipamento	Fornecedor	Custo (R\$)
Computador	Dell	4134
Projetor	LG	1179
Tela de projeção	TES	293
Cavalete para flip chart	Stalo	59,90
Lousa digital	Teamboard	5900
Óculos polarizados	Red Cyan	11,90

## 6 PROJETO DETALHADO DO LABORATÓRIO

Neste capítulo serão apresentadas as propostas para implementação do Laboratório de Produtos no Departamento de Engenharia de Produção. É feita uma recomendação dos *softwares* necessários ao laboratório, baseada nos dados apresentados no capítulo 5. São propostos módulos, ambientes que devem fazer parte do Laboratório de Produtos, mas que são independentes entre si. Além disso, são idealizadas etapas de implementação, de maneira que nem todos os custos sejam necessários no momento inicial e o impacto das mudanças seja distribuído ao longo do tempo.

As propostas incluem seis módulos: uma sala de aula com layout adaptado para realização de trabalhos em equipe e utilização de recursos computacionais, uma sala de projetos em que as equipes de trabalho possam se reunir e desenvolver as tarefas de projeto, um laboratório de informática para uso individual que forneça acesso aos diferentes *softwares* necessários, uma sala de ergonomia, uma oficina de protótipos e uma sala de realidade virtual.

Além do layout de cada ambiente e dos recursos necessários, são propostas algumas características administrativas para o laboratório, como capacidade de atendimento de alunos, horário de funcionamento, necessidade de funcionários para manutenção, entre outros.

Na descrição dos recursos utilizados por cada módulo, é dada ênfase a máquinas de prototipagem, computadores e outros equipamentos diretamente ligados ao PDP ou às atividades a serem realizadas no laboratório, uma vez que os *softwares* expostos na seção 6.1 seriam comuns a todos os computadores do Laboratório de Produtos, independente do módulo em questão. Itens como mesas, cadeiras e materiais de escritório não serão detalhados.

### 6.1 SOFTWARES RECOMENDADOS

A partir dos recursos compilados na seção 5.1, é apresentada uma lista com os *softwares* recomendados ao Laboratório. A Tabela 33 apresenta a categoria de cada sistema, o nome do *software* e o custo de implantação, em reais, das licenças de utilização.

Para *softwares* de uma mesma categoria, não foram analisadas as funcionalidades e diferenças entre os programas. A recomendação de escolha foi baseada no menor custo de aquisição. Os *softwares* para os quais não foi possível obter orçamentos não foram considerados. Para os produtos cotados em outras moedas foi utilizada a taxa de conversão cambial válida em 01/11/2010 (US\$1,00 = R\$1,71).

Obviamente, outros sistemas poderiam ser incluídos ou retirados e sistemas considerados mais importantes poderiam ser priorizados, de modo a distribuir os custos de aquisição ao longo do tempo.

Tabela 33: Lista de softwares recomendados e custos estimados de aquisição

Categoria	Fornecedor – Sistema	Licença inicial (R\$)	Renovação anual (R\$)
Gestão de Projetos	MS Project	- <sup>1</sup>	-
PLM	Siemens TeamCenter	- <sup>2</sup>	-
CAD/CAE	Siemens NX	- <sup>2</sup>	-
LCA	SimaPro	- <sup>3</sup>	5.850
QFD/FMEA	Noweco PathMaker	7.866 <sup>4</sup>	-
DFE	ECO-it	13.612 <sup>4</sup>	13.612
DFMA	DFM/DFA Boothroyd Dewhurst	6.840 <sup>5</sup>	6.840
Estatística	Minitab	-	-
Apoio à tomada de decisão - Análise Multicritério	Decision Lens	34.200 <sup>6</sup>	-
Apoio à tomada de decisão - Árvores de decisão	DPL	426 <sup>7</sup>	426
Bibliometria	Sitkis	- <sup>8</sup>	-
Análise qualitativa	AtlasTI	4.788 <sup>5</sup>	4.788
Gerenciamento de requisitos	Accompa	15.985 <sup>5</sup>	15.985
Gestão de risco	RiskRadar	20.050 <sup>5</sup>	20.050
Mapeamento de Processos	BizAgi Process BPM Xpress	- <sup>9</sup>	-
Mapeamento de redes sociais	UCINET	1.283 <sup>5</sup>	1.283
Observações comportamentais	ActogramKronos	- <sup>8</sup>	-
<b>TOTAL</b>		<b>105.049</b>	<b>55.221</b>

Não foi possível levantar o orçamento de aquisição de licenças para alguns dos *softwares* mencionados nas entrevistas. Não foram disponibilizadas informações sobre o sistema para análise de tempos e métodos de produção (como o TiCon fornecido pela MTM), a aplicação de CAE em ergonomia (RAMSIS) e a plataforma para utilização de *scripts* de *software* livre (SimpleScripts)

<sup>1</sup> Convênio existente

<sup>2</sup> Convênio com programa PACE

<sup>3</sup> Utilização gratuita no primeiro ano, valor para utilização de 40 licenças fixas durante um ano

<sup>4</sup> Valor para aquisição de 40 licenças fixas

<sup>5</sup> Valor para utilização de 25 licenças simultâneas durante um ano

<sup>6</sup> Valor para aquisição de licenças que engloba todos os equipamentos do departamento

<sup>7</sup> Valor para utilização em todos os equipamentos do departamento durante um ano

<sup>8</sup> Gratuito

<sup>9</sup> Gratuito para uso acadêmico

## 6.2 MÓDULOS

### 6.2.1 Sala de aula

A Sala de aula seria o espaço do Laboratório de Produtos para aulas expositivas e poderia ser utilizada por diversas disciplinas. Equipada com recursos para que o professor exponha os conteúdos da disciplina, esta sala estaria organizada de modo a privilegiar a realização de atividades em grupo durante as aulas.

Para tanto, os alunos se organizariam em grupos, em mesas que permitam o trabalho em equipe. Além disso, cada grupo teria, em sua mesa de trabalho, acesso a um computador, em que seriam realizadas as atividades de aula que necessitem do uso de *softwares* específicos ou apoio computacional. Qualquer material de aula, como apresentações, apostilas, vídeos, entre outros, poderiam ser acessados dos computadores dos grupos.

A Sala de aula foi idealizada para atender turmas de até 45 alunos, com 9 mesas para até 5 alunos. Além dos computadores dos alunos, haveria um computador para o professor, um projetor e uma tela de projeção.

Com o objetivo de utilização apenas em horários de aula, o acesso dos alunos a este ambiente seria restrito, e somente acompanhado por professores. Haveria necessidade de um funcionário dedicado à manutenção desta sala, mas que poderia ser responsável simultaneamente por outros módulos.

#### 6.2.1.1 *Recursos necessários*

Na Sala de aula, seriam necessários 10 computadores, sendo um para cada um dos nove grupos de trabalho e um para o professor, 1 projetor, 1 tela de projeção e uma lousa digital, cujos custos são expostos na Tabela 34. Outros recursos seriam mesas, cadeiras, armários, suporte para projetor.

Tabela 34: Custo de equipamentos para a Sala de Aula

Recurso	Quantidade	Custo total (R\$)
Computadores	10	41.340
Projetores	1	1.179
Telas de projeção	1	293
Lousa digital	1	5.900
<b>TOTAL</b>		<b>48.712</b>

### 6.2.1.2 Layout

O layout proposto para a Sala de aula do Laboratório de Produtos e estimativas de dimensões são expostos na Figura 45. O layout desta sala se baseia em uma das salas de aula utilizadas na Escola de Engenharia de São Carlos, em que, após a revisão da configuração das salas, foi adotada uma disposição para favorecer a utilização dos recursos computacionais e apoiar a realização de atividades didáticas em equipe durante as aulas.

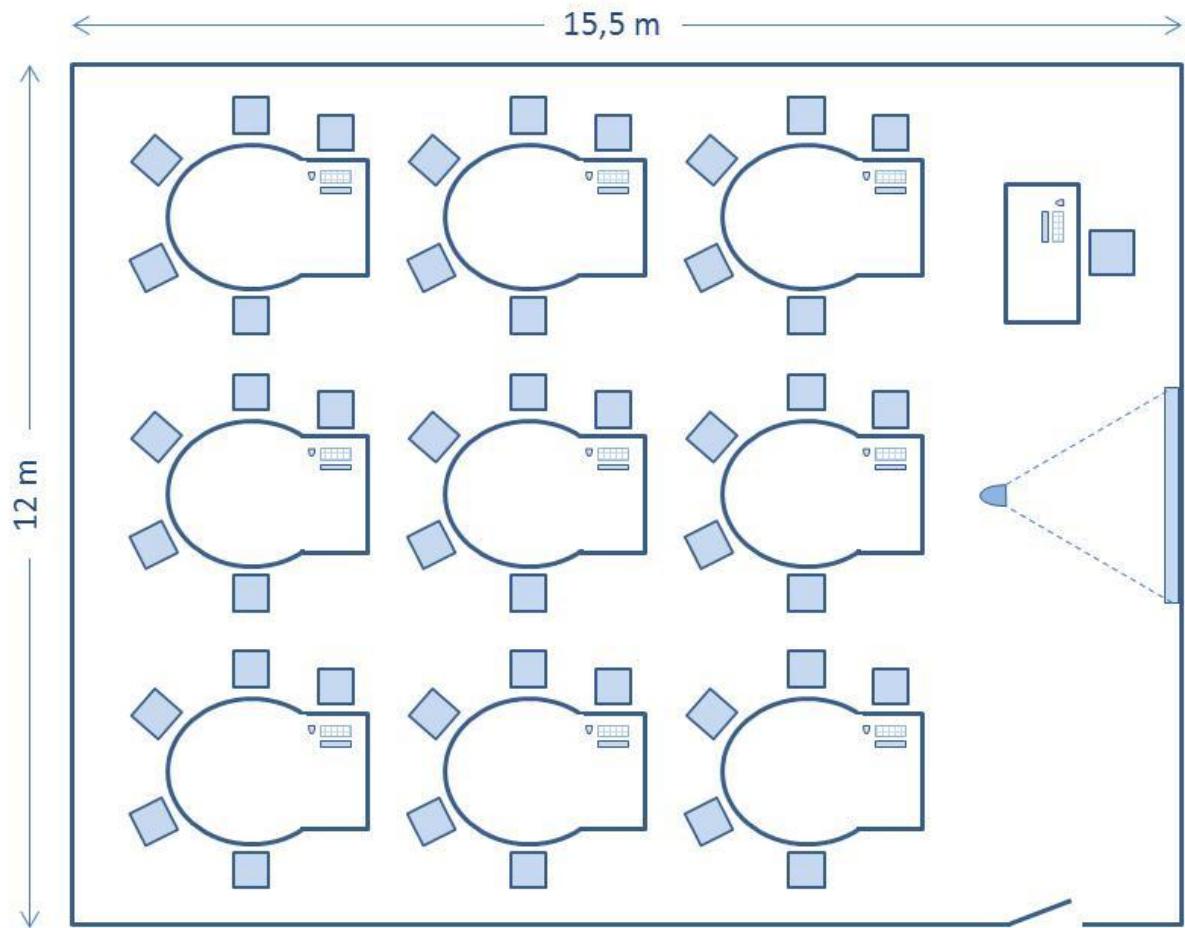


Figura 45: Layout da Sala de aula do Laboratório de Produtos

### 6.2.2 Sala de Projetos

Na Sala de Projetos, os alunos teriam um espaço para estudo e para o desenvolvimento de pesquisas e das atividades dos projetos práticos das disciplinas. Os computadores presentes neste ambiente teriam acesso a todos os softwares expostos na seção 6.1, para livre utilização por parte dos alunos.

Apesar de ser um espaço voltado primariamente à realização de atividades individuais, o layout proposto tem como objetivo permitir que os grupos de trabalho se instalem em

bancadas próximas, para facilitar a cooperação e troca de informações. Poderia haver divisórias, de maneira a delimitar baias para grupos.

Esta sala deveria ter acesso livre aos alunos, possivelmente com algum mecanismo de controle de acesso, como retenção de documento. O horário de funcionamento deveria ser o mais longo possível, permitindo a realização de trabalhos em intervalos entre aulas e após o horário letivo. Idealmente, o funcionamento seria entre 8:00 e 20:00. Seria necessário um funcionário para realização de manutenção das máquinas e a sala poderia funcionar em sistema de monitoria. Este módulo teria capacidade de atender 48 alunos simultaneamente.

#### 6.2.2.1 *Recursos necessários*

Seriam necessários, além de mesas, cadeiras e possíveis divisórias entre baias de trabalho, 48 computadores. Os custos para aquisição dos computadores para a Sala de Projetos são expostos na Tabela 35.

Tabela 35: Custo de equipamentos para a Sala de Projetos

Recurso	Quantidade	Custo total (R\$)
Computadores	48	198.432
<b>TOTAL</b>		<b>198.432</b>

#### 6.2.2.2 *Layout*

A Figura 46 apresenta o layout proposto para a Sala de Projetos. Após a divisão de tarefas dos trabalhos práticos, os alunos podem realizar atividades individualmente. Esta configuração permite também que os integrantes do grupo se posicionem próximos uns aos outros e troquem informações, ao mesmo tempo em que cada um poderia utilizar um computador. Como as mesas de trabalho configuram um espaço para trabalho das equipes de projeto, a existência de ferramentas como quadros brancos nas paredes ou *flip charts* facilitaria a comunicação e a colaboração entre os integrantes.

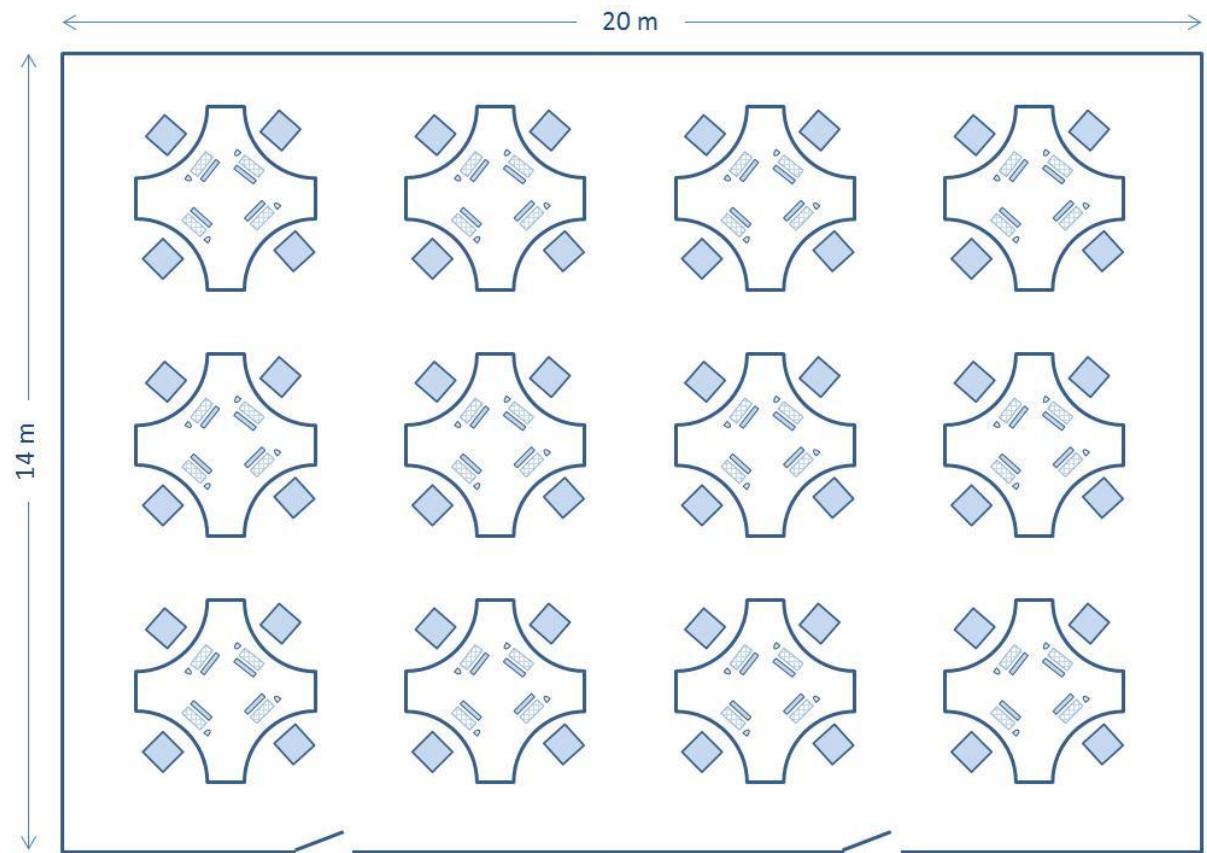


Figura 46: Layout da sala de projetos do Laboratório de Produtos

A configuração proposta é semelhante à encontrada em muitos ambientes de escritório. O layout exposto na Figura 47, criado por uma empresa fornecedora de móveis customizados de escritório, se assemelha à solução proposta, com a diferença de que não há corredores entre estações de trabalho adjacentes.



Figura 47: Layout de escritório proposto pela empresa Giroflex

### 6.2.3 Salas de Trabalho em Equipe

O objetivo das Salas de Trabalho em Equipe é servir como o espaço no qual os grupos dos trabalhos práticos possam se reunir para tratar de todos os assuntos ligados a seus projetos.

Com salas reservadas para utilização de equipes em períodos definidos, este ambiente serviria para realização das principais definições do projeto, divisão de tarefas, entre outras atividades. Apesar de fornecerem acesso ao mesmo conjunto de *softwares*, recomenda-se que atividades práticas de projeto sejam realizadas na Sala de Projetos, uma vez que este ambiente tem capacidade menor para atendimento de alunos, com apenas seis salas para até seis pessoas.

O espaço no corredor entre as salas de reunião poderia ser um ambiente comum de convivência, para incentivar a interação entre os diferentes grupos. Na entrada deste ambiente, existiria um espaço para exposição de trabalhos, com exibição de protótipos, cartazes e outros itens de projetos realizados anteriormente. A existência de uma área com armários para utilização pelos alunos facilitaria o armazenamento de todos os materiais relacionados ao projeto em andamento.

Este ambiente também deveria ser de livre acesso aos alunos, com funcionamento no período de 08:00 até 20:00, como a Sala de Projetos. As eventuais manutenções deste ambiente poderiam ser realizadas pelo mesmo funcionário responsável pela Sala de Projetos. Seria necessária uma mesa de recepção onde outro funcionário faria as reservas de salas e o controle de acessos de alunos.

#### 6.2.3.1 Recursos necessários

Os equipamentos das salas de reunião totalizariam 7 computadores (1 para cada sala mais 1 para a recepção), 6 cavaletes para *flip chart*, 6 projetores e 6 telas de projeção. Seriam necessários ainda mesas e cadeiras para as salas, para o espaço comum e para a recepção e armários. Os investimentos necessários são mostrados na Tabela 36.

Tabela 36: Custo de equipamentos para a Sala de Trabalho em Equipe

Recurso	Quantidade	Custo total (R\$)
Computadores	7	28.938
Projetores	6	7.074
Telas de projeção	6	1.758
Cavaletes para flip chart	6	359
<b>TOTAL</b>		<b>38.129</b>

### 6.2.3.2 Layout

A Figura 48 ilustra a proposta de layout para o ambiente de salas de trabalho em equipe do Laboratório de Produtos. Além das salas, há um espaço comum, uma área com armários e outra para exibição de trabalhos.

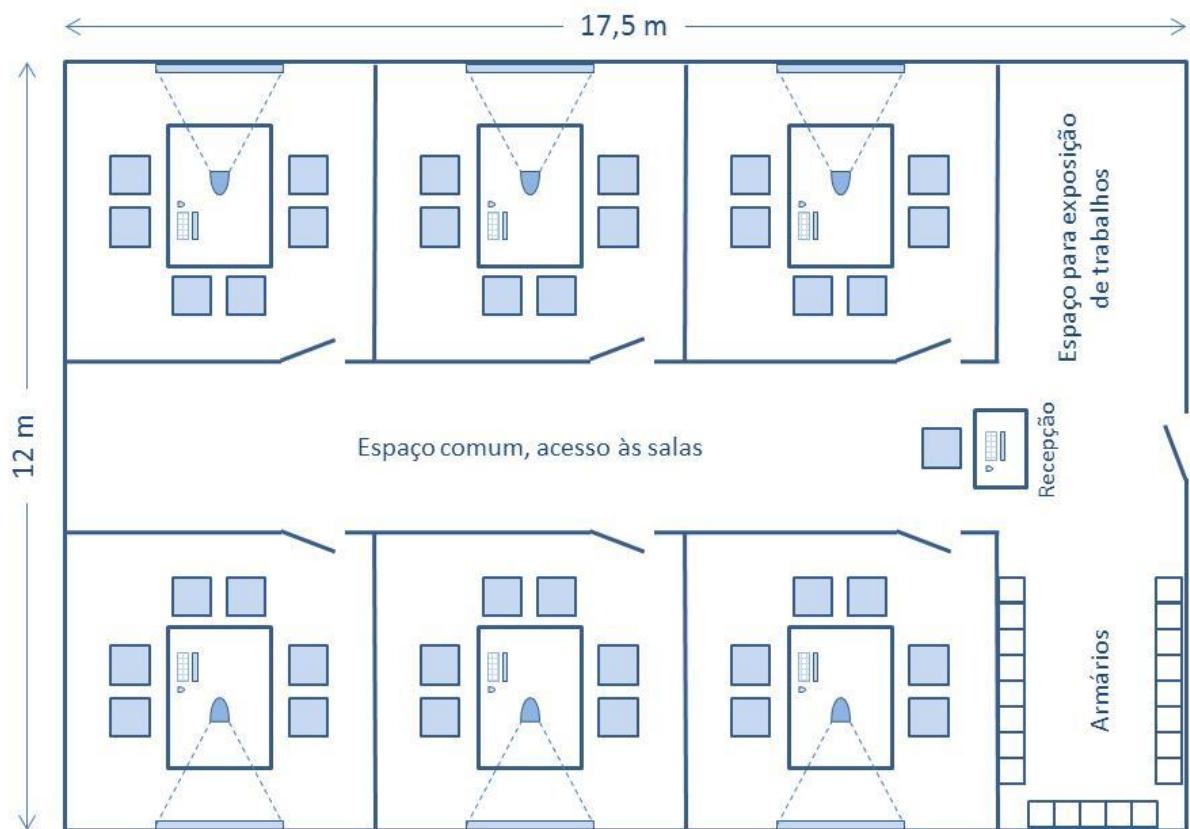


Figura 48: Layout proposto para as Salas de Trabalho em Equipe

### 6.2.4 Sala de Ergonomia

A Sala de Ergonomia seria o espaço do Laboratório de Produtos no qual seriam realizadas atividades relacionadas às disciplinas de Ergonomia, tanto individuais quanto em grupo. Seriam necessários armários para armazenamento dos equipamentos e mesas para realização das atividades. Os grupos de trabalho poderiam utilizar este módulo para realizar análises, medições ou testes de usabilidade de seus produtos, por exemplo.

A utilização da Sala seria agendada por professores e esta teria acesso liberado aos alunos em horários marcados. A mesma equipe de manutenção dos recursos de informática dos outros módulos poderia ficar responsável pela Sala de Ergonomia. Os equipamentos específicos deste módulo não requerem a existência de uma equipe de manutenção, uma vez que possíveis reparos e calibrações nos equipamentos podem ser terceirizados. Parte dos

recursos presentes na Sala de Ergonomia poderia ser utilizada em outros ambientes, já que alguns equipamentos de medição devem ser aplicados nos locais de trabalho ou podem ser usados em aulas.

#### 6.2.4.1 *Recursos necessários*

Neste ambiente, seriam necessários 2 computadores, 1 projetor, 1 tela de projeção e os equipamentos de medição específicos, isto é, frequencímetro cardíaco, decibelímetro, luxímetro, termômetro, higrômetro, anemômetro, antropômetro, fita antropométrica. Os investimentos na aquisição destes recursos são mostrados na Tabela 37. Seria ideal a presença de um sistema de captura de imagens, para análise de movimentos de maneira virtual. Além disso, esta sala deveria estar equipada com mesas, cadeiras e armários.

Tabela 37: Custo de equipamentos para Sala de Ergonomia

Recurso	Quantidade	Custo total (R\$)
Computadores	2	8.268
Projetores	1	1.179
Telas de projeção	1	293
Frequencímetro cardíaco	5	1.245
Decibelímetro, luxímetro, termômetro, higrômetro integrado	5	1.790
Anemômetro	5	1.425
Antropômetro	5	2.985
Fita antropométrica	5	65
Trena eletrônica	5	900
<b>TOTAL</b>		<b>18.150</b>

#### 6.2.4.2 *Layout*

A Figura 49 apresenta a proposta de layout para este módulo do Laboratório de Produtos. São previstas duas bancadas de trabalho em grupo, onde poderiam ser realizadas as diversas análises permitidas pelos recursos do módulo. Os armários serviriam para o armazenamento dos equipamentos de medição, bem como de outros possíveis materiais de projetos.

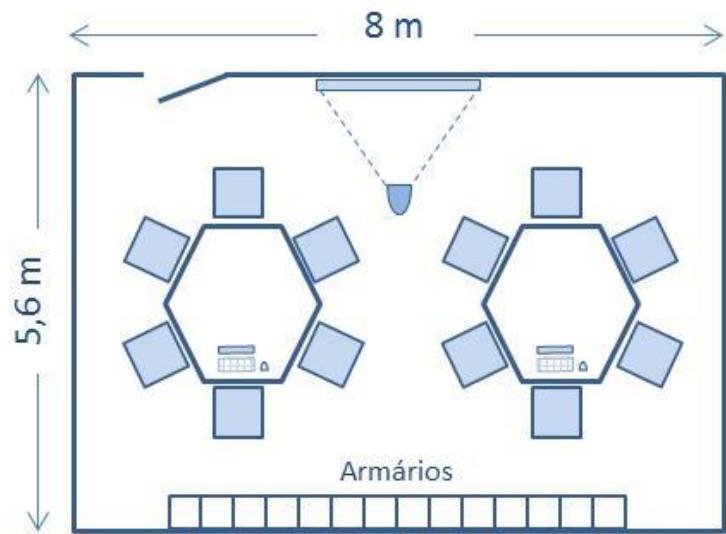


Figura 49: Layout proposto para a Sala de Ergonomia

### 6.2.5 Oficina de Protótipos

A Oficina de Protótipos do Laboratório de Produtos seria o ambiente que permitiria a realização de atividades das diversas disciplinas relacionadas ao PDP que propõem a construção de protótipos. Em oposição à situação atual, em que protótipos são exigidos sem o oferecimento de um espaço próprio para a construção dos mesmos, este ambiente estaria equipado com as máquinas e os recursos necessários à construção dos modelos físicos dos projetos dos alunos.

Equipada com máquinas de prototipagem rápida e máquinas para trabalho com madeira e metais, a Oficina de Protótipos deveria funcionar no horário entre 08:00 e 20:00, para permitir sua utilização por todos os grupos de trabalho. Atividades didáticas de disciplinas específicas poderiam ser realizadas neste módulo, que estaria dividido em três ambientes: a oficina de metais, a oficina de madeira e a oficina de prototipagem rápida.

O acesso dos alunos a este ambiente deveria ser livre, sem necessidade de autorização de professores. Por outro lado, as tarefas deveriam ser acompanhadas por técnicos, por questões de segurança e para garantir a correta utilização dos equipamentos. Para a manutenção das máquinas e acompanhamento dos alunos seriam necessários 2 técnicos, em turnos alternados. Idealmente, um técnico seria responsável pelos equipamentos de prototipagem rápida e o outro pelas máquinas de trabalho com madeira e metal. A presença de um terceiro técnico permitiria que o horário de funcionamento fosse mais amplo, com a equipe se revezando em turnos.

#### 6.2.5.1 *Recursos necessários*

A Oficina de Protótipos estaria equipada com uma máquina de prototipagem rápida. Entre as máquinas listadas no capítulo 5, indica-se a *Z150 3D Printer*, fabricada pela Z Corporation e distribuída no Brasil pela Seacam. Esta impressora é uma das opções de menor custo de aquisição e utiliza um polímero de baixo custo semelhante a gesso. Esta máquina permite a construção de modelos coloridos e possui mecanismo para reutilização de sobras de material em operações subsequentes. Seria necessário um computador para comunicação com a máquina.

Além da máquina de prototipagem rápida, este ambiente estaria equipado com máquinas para trabalho com madeira (lixadeira, furadeira comum, furadeira de bancada, serra de fita, serra circular, serra tico-tico) e metal (dobra-deira e guilhotina). Além de bancadas de trabalho equipadas com morsas, a oficina deveria dispor também de outras ferramentas variadas para utilização dos alunos (nível, trena, martelo, chaves, lima, etc.).

Os principais recursos disponíveis na Oficina de Protótipos e seus custos de aquisição são mostrados na Tabela 38.

Tabela 38: Custo de equipamentos para Oficina de Protótipos

Recurso	Quantidade	Custo total (R\$)
Computadores	1	4.134
Prototipagem rápida - Z150	1	59.850
Morsa de bancada	12	2.160
Lixadeira	1	630,50
Furadeira comum	2	1.080
Furadeira de bancada	1	560
Serra de Fita	1	744
Serra circular	1	446
Serra tico-tico	1	397
Dobra-deira	1	5.600
Guilhotina	1	6.850
<b>TOTAL</b>		<b>82.451,50</b>

#### 6.2.5.2 *Layout*

Com divisórias simples apenas para demarcar cada área, a oficina contaria com três ambientes relacionados: uma área para prototipagem rápida, uma área para trabalhos com metais e outra para trabalhos com madeira. O layout proposto é ilustrado na Figura 50.

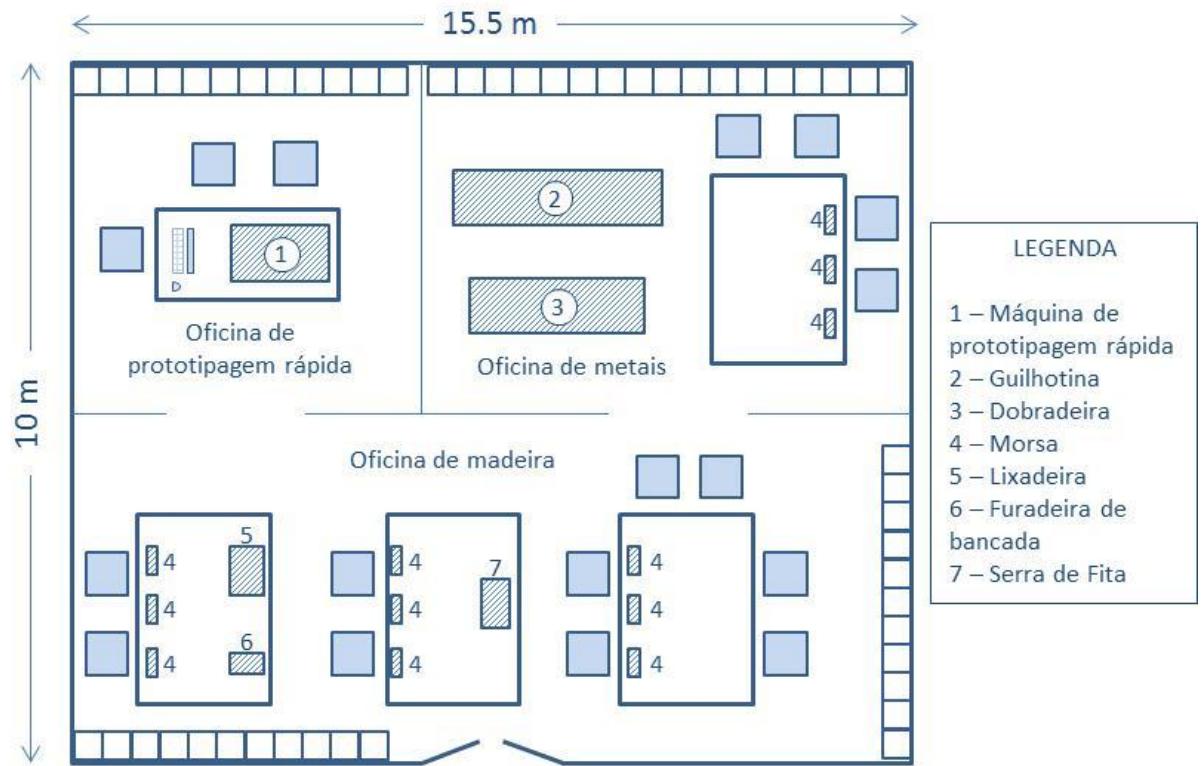


Figura 50: Layout proposto para a Oficina de Protótipos

### 6.2.6 Sala de Realidade Virtual

Com o objetivo de oferecer a utilização de sistemas de realidade virtual no apoio ao desenvolvimento de produtos, o Laboratório de Produtos teria um ambiente específico para a aplicação desta tecnologia, de maneira a facilitar a visualização e a interação das equipes com os produtos sendo projetados e a apresentação dos produtos.

O escopo da aplicação das tecnologias de realidade virtual é muito amplo, mas, neste trabalho, o objetivo principal de seu uso será focado na visualização tridimensional de modelos geométricos. A sala poderia ser usada para realização de apresentações acompanhadas de professores ou, em casos específicos, por grupos de trabalho com horários marcados. A manutenção seria feita pelos técnicos responsáveis pelos recursos de informática dos outros ambientes do Laboratório.

#### 6.2.6.1 Recursos necessários

Os recursos que seriam utilizados no ambiente de realidade virtual do Laboratório de Produtos seriam 1 computador, 1 quadro digital, 1 tela de projeção, 2 projetores com filtros polarizados e óculos polarizados, para visualização tridimensional. Haveria uma mesa para reunião e uma mesa para trabalho em grupo. O computador presente neste ambiente deveria

estar equipado com maior capacidade de processamento e uma placa gráfica mais avançada. A Tabela 39 apresenta os principais recursos da Sala de Realidade Virtual e seus custos de aquisição.

Tabela 39: Custo de equipamentos para a Sala de Realidade Virtual

Recurso	Quantidade	Custo total (R\$)
Computadores	1	4.134
Projetores	2	2.358
Telas de projeção	1	293
Lousa digital	1	5.900
<b>TOTAL</b>		<b>13.042</b>

Os recursos propostos para a Sala de Realidade Virtual se baseiam nos Laboratórios de Realidade Virtual da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LAB3D, 2010) e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (VRL).

#### 6.2.6.2 *Layout*

A Figura 51 apresenta a proposta de layout para a Sala de Realidade Virtual. Além da mesa de reunião para utilização em apresentação de projetos, a sala conta com um espaço para que grupos individuais possam trabalhar em horários marcados.

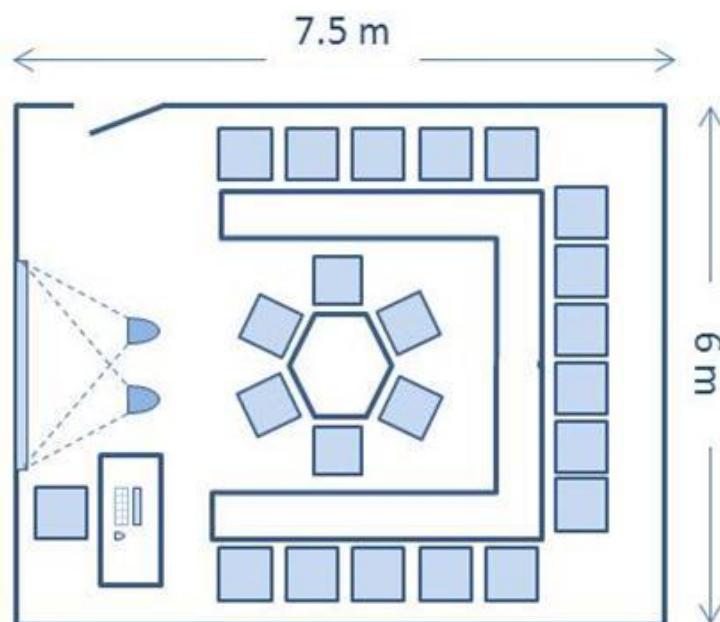


Figura 51: Layout proposto para a Sala de Realidade Virtual

### 6.3 FASES DE IMPLANTAÇÃO

Os módulos do Laboratório de Produtos servem a propósitos diferentes e são independentes entre si. Desta maneira, não seria preciso realizar a implantação de maneira simultânea. Assim, os recursos financeiros necessários à viabilização do laboratório não precisariam ser disponibilizados no mesmo instante.

Este trabalho sugere fases de implantação ao laboratório, em que serão relacionados os módulos sugeridos e os investimentos em recursos associados a cada fase. Os custos se referem apenas aos itens necessários em cada módulo e que constam da listagem apresentada no capítulo 5. Dessa maneira, o mobiliário necessário a cada módulo não é considerado. (explicar que não inclui o mobiliário).

#### 6.3.1 Primeira fase

Na primeira fase do Laboratório de Produtos, seriam implantados dois dos módulos apresentados anteriormente e seriam adquiridas as licenças dos *softwares* listados na seção 6.1.

Os módulos que seriam considerados nesta fase seriam a Sala de Projetos e a Sala de Ergonomia. Ambos os ambientes são de fácil implantação e não exigem recursos muito sofisticados ou de difícil obtenção. Entretanto, os espaços físicos necessários à instalação destes módulos não estão disponíveis no Departamento e precisariam ser obtidos junto ao PRO ou à POLI.

A primeira fase requereria ao menos um funcionário de manutenção, que poderia ficar responsável tanto pela Sala de Projetos quanto pela Sala de Ergonomia. A supervisão dos módulos poderia ser feita por monitores, que se revezariam para permitir o horário de funcionamento planejado. Os investimentos que seriam necessários na primeira fase da implementação do Laboratório de Produtos são expostos na Figura 52.

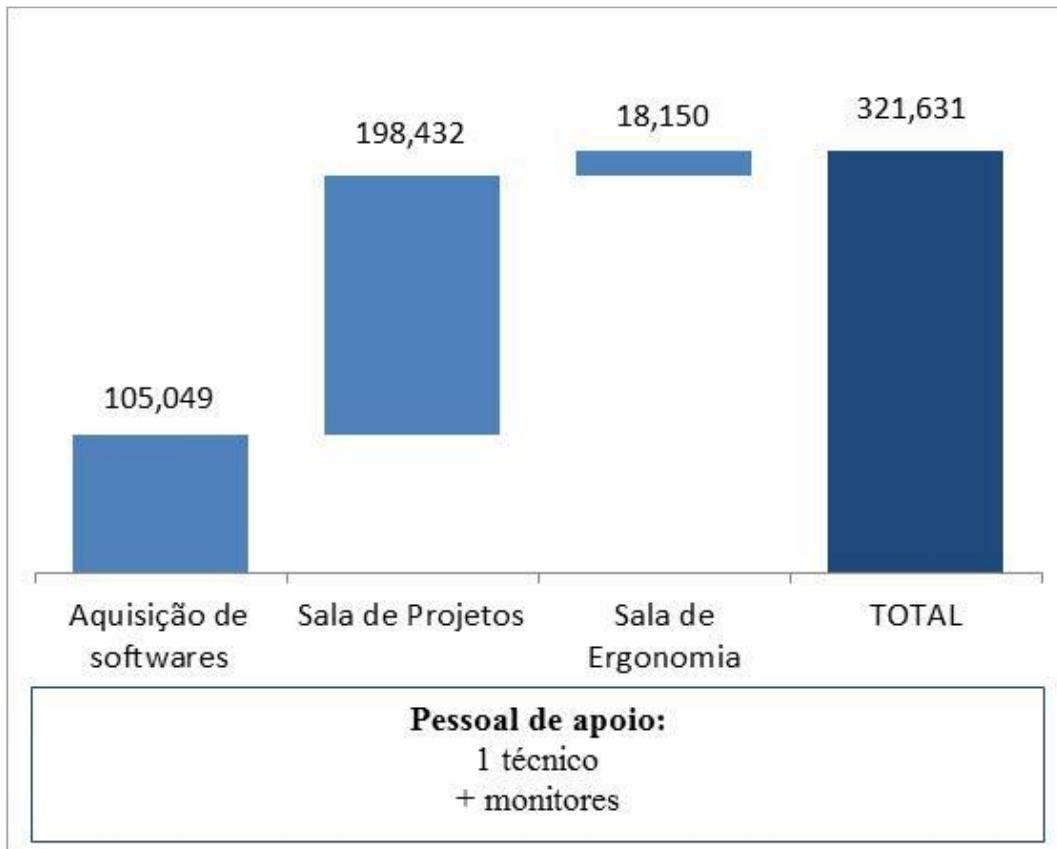


Figura 52: Investimentos na primeira fase do Laboratório de Produtos

Para concretização da primeira fase do Laboratório, o custo inicial total seria de R\$321.631,00 sem considerar os gastos com novos móveis ou adaptação das salas. A partir do segundo ano, além dos custos de manutenção de máquinas e dos ambientes de trabalho, seria necessário incorrer em custos anuais de R\$55.521,00 para renovação das licenças de alguns dos softwares.

Com a viabilização da Sala de Projetos, os alunos já teriam acesso a um espaço para realização das atividades dos trabalhos acadêmicos em que poderiam utilizar diversos *softwares* de apoio.

Apesar da utilização dos *softwares* ser comum aos diferentes módulos do Laboratório de Produtos, eles são essenciais para os objetivos do Laboratório e são alocados na primeira fase, o que não significa que este custo está diretamente relacionado à Sala de Projetos ou à Sala de Ergonomia.

### 6.3.2 Segunda fase

Com a primeira fase já implantada e a Sala de Projetos e a Sala de Ergonomia em funcionamento, os módulos do Laboratório de Produtos que seriam implantados na segunda fase seriam a Sala de Aula e as Salas de Trabalho em Equipe.

Com recursos muito semelhantes aos utilizados na primeira fase, estes dois módulos aprofundariam a proposta do Laboratório de oferecer espaços que favoreçam e incentivem a colaboração e a interação entre os grupos de trabalho. Ao mesmo tempo em que a Sala de Aula permitiria a realização de aulas expositivas e atividades práticas em grupo, acompanhadas por professores, as Salas de Trabalho em Equipe seriam o ambiente para centralizar as atividades de planejamento e discussão dos grupos de trabalho.

Outro funcionário de manutenção dos equipamentos de informática seria necessário, além de um funcionário para a recepção, onde o uso das salas de trabalho seria agendado. O esquema de monitoria também seria utilizado. Os investimentos necessários para os módulos da segunda fase de implantação são ilustrados na Figura 53.

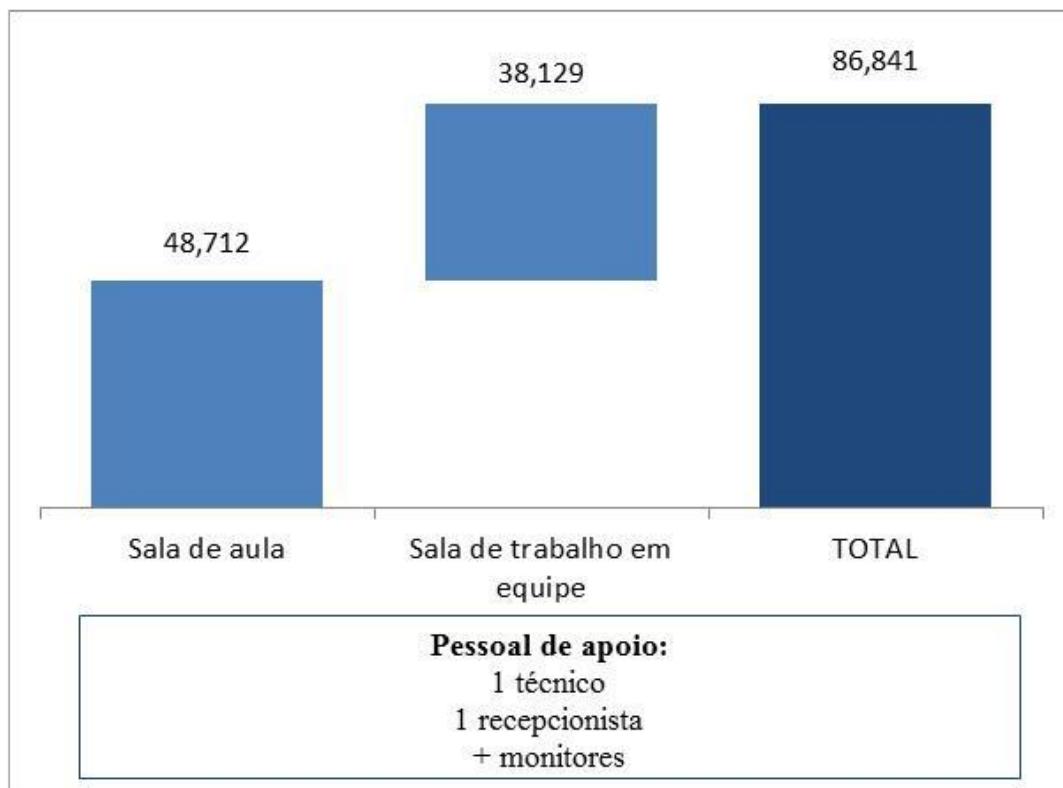


Figura 53: Investimentos necessários na segunda fase do Laboratório de Produtos

O investimento total necessário para aquisição dos recursos da segunda fase seria de R\$86.841,40.

### 6.3.3 Terceira fase

A terceira fase de implantação do Laboratório de Produtos concentraria a Oficina de Protótipos e Sala de Realidade Virtual, módulos que propõem outros tipos de atividades e utilizam recursos diferentes em relação aos módulos da primeira fase e da segunda fase de implantação.

Não haveria necessidade de um novo funcionário para a Sala de Realidade Virtual, uma vez que já estão previstos, nas outras duas fases, dois funcionários para manutenção dos recursos de informática, que poderiam ser responsáveis também por esta sala. Entretanto, o funcionamento da Oficina de Protótipos necessitaria de ao menos dois técnicos para manutenção dos equipamentos e acompanhamento das atividades.

Os investimentos necessários para aquisição dos recursos da Sala de Realidade Virtual e da Oficina de Protótipos são ilustrados na Figura 54.

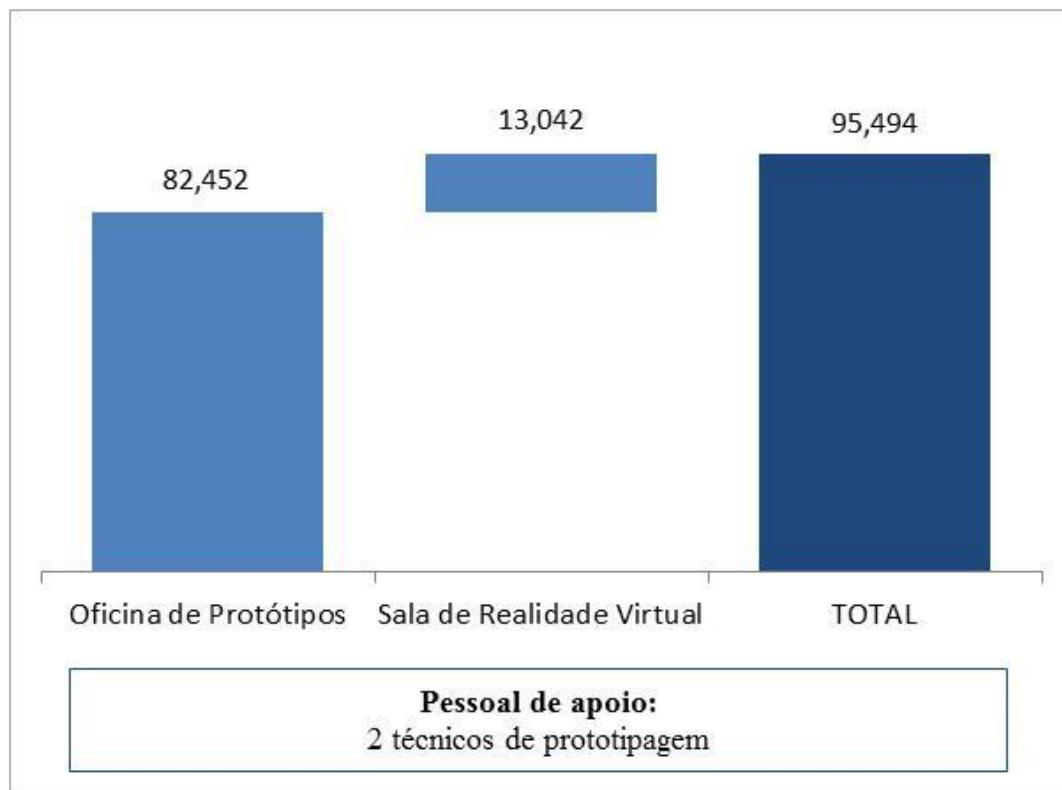


Figura 54: Investimentos necessários na terceira fase do Laboratório de Produtos

O investimento total em recursos na terceira fase de implantação seria de R\$95.493,50 sendo que a máquina de prototipagem rápida representa mais de 60% deste valor.

As três fases de implantação do Laboratório de Produtos representariam, se realizadas no instante inicial, um investimento inicial total de R\$609.014,50, levando-se em consideração os recursos apresentados no capítulo 5. Nestes valores não estão incluídos custos como mão de obra de instalação, adaptação de espaços existentes, construção de novos espaços, mobiliário, entre outros possíveis custos.

Os recursos disponíveis no Laboratório poderiam ser revistos, bem como sua ordem de aquisição e implantação, o que impactaria os investimentos necessários

O valor de investimento em *softwares* proposto é de R\$105.049,00 no primeiro ano do Laboratório. Entretanto, sem nenhum investimento extra em relação à situação atual, seria possível oferecer aos alunos sistemas de PLM, CAD, mapeamento de processos e bibliometria. Da mesma maneira, a aquisição de novos computadores representa cerca de 47% dos investimentos totais, mas a utilização de um computador com menos recursos e capacidade de processamento poderia reduzir os custos do Laboratório.

## 6.4 PRÓXIMOS PASSOS

Além das proposições realizadas neste capítulo, são recomendados outros passos antes da implantação do Laboratório de Produtos. Entre as possíveis revisões das sugestões apresentadas estão:

- Levantamento de orçamentos e informações de *softwares* não encontrados

Não foi possível levantar informações de alguns dos sistemas computacionais mencionados nas entrevistas. Recomenda-se o contato com representantes das aplicações para que o orçamento e a lista de *softwares* contemple todos os sistemas citados.

- Revisão do *layout* e recursos da Sala de Ergonomia

Deveria ser feita uma validação com os professores do PRO relacionados à área de Ergonomia quanto às atividades deste módulo e a configuração desejada. Além disso, outros recursos possíveis, como um sistema de captura e análise de movimentos, não foram considerados neste trabalho.

- Criação de Sala de Projeto de Fábrica

As atividades de Projeto de Fábrica se relacionam com o PDP mas não há, entre os módulos propostos, um espaço específico para esta categoria de recursos. Um espaço de

Projeto de Fábrica poderia oferecer computadores equipados com aplicações CAD/CAE/CAM específicas, sistemas de medição de tempos e métodos, sistemas para simulação de atividades fabris, como os apresentados na Figura 43, entre outros possíveis recursos.

## 7 CONCLUSÕES

Este trabalho busca oferecer uma proposta de criação e implantação de um Laboratório de Produtos no Departamento de Engenharia de Produção da POLI-USP, a partir de requisitos didáticos das disciplinas envolvidas com o Processo de Desenvolvimento de Produtos. A motivação para a realização deste estudo é a crescente importância do Desenvolvimento de Produtos, sua conexão com a Engenharia de Produção e os benefícios trazidos pelo uso de laboratórios e a realização de atividades práticas e projetos em equipe no ambiente acadêmico.

Na revisão bibliográfica deste texto, o Desenvolvimento de Produtos é detalhado, com ênfase na descrição do modelo de referência proposto em 2006 por Rozenfeld et al e os principais recursos aplicados ao PDP. Em seguida, a etapa de levantamento de informações consistiu de visitas e análises de outros laboratórios utilizados no ensino de Engenharia, tanto na POLI-USP quanto em outras universidades, e de entrevistas com os professores do corpo docente do PRO envolvidos em disciplinas relacionadas ao PDP. As entrevistas permitem o mapeamento dos recursos desejados pelos professores para realização das atividades didáticas no Laboratório.

Baseado nas informações levantadas, o Laboratório de Produtos sugerido por este trabalho é composto de seis módulos independentes que servem a propósitos diferentes. Os módulos são a Sala de Aula, a Sala de Ergonomia, a Sala de Projetos, as Salas de Trabalho em Equipe, a Oficina de Protótipos e a Sala de Realidade Virtual. Os recursos necessários a cada um dos módulos do laboratório, entre *softwares*, máquinas e outros equipamentos, são detalhados, bem como o layout proposto para o ambiente e sugestões em relação a seu funcionamento.

Além da proposição dos seis módulos, são sugeridas três fases de implantação do Laboratório de Produtos. Em cada uma das fases, dois módulos seriam disponibilizados. Com a implementação em etapas, nem todos os recursos financeiros seriam necessários no mesmo momento. Além disso, parte do Laboratório poderia ser concretizada mesmo com a existência de outras possíveis limitações, como espaço físico disponível.

O mapeamento de recursos necessários não foi exaustivo e considerou apenas os principais recursos e de maior ligação com o PDP. Não foram considerados itens como materiais de escritório, mobiliário ou ferramentas de apoio. Do mesmo modo, possíveis

investimentos na construção ou adaptação de espaços físicos para a viabilização dos módulos não foram incluídos no escopo deste trabalho.

Na proposição do novo laboratório, não foram consideradas restrições de implantação, tais como tempo, necessidade de espaço físico ou capacidade de investimento. O conjunto completo de sugestões configura o cenário considerado completo e ideal.

As sugestões feitas neste trabalho poderiam ser revistas no momento de implantação do laboratório para incorporar novos requisitos didáticos ou recursos mais modernos ou de escopo mais amplo. A sequência de fases proposta também poderia ser alterada de maneira a facilitar o processo de implantação do Laboratório.

Ressalta-se que grandes melhorias são possíveis em relação à atual utilização dos recursos de informática no PRO, mesmo sem grandes investimentos. A alteração do layout para incentivar a colaboração e o trabalho em equipe e a utilização de *softwares* cuja instalação não traria custos ao Departamento – tais como os sistemas de CAD e de PLM fornecido pela Siemens PLM – são exemplos de iniciativas de baixo esforço, mas de grande benefício.

A implantação do Laboratório de Produtos e a maior presença de atividades de cunho prático trariam grandes benefícios às disciplinas oferecidas pelo PRO, tanto no curso de graduação quanto nas disciplinas do curso de Design e Pós-graduação. Na situação atual, atividades práticas são solicitadas sem o oferecimento de uma estrutura totalmente equipada para sua realização. A presença do Laboratório traria ganhos didáticos e para a qualidade dos trabalhos realizados.

## 8 REFERÊNCIAS

ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=440&s=1&c=417>>, disponível em 10 de outubro de 2010

BAXTER, M., **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.** São Paulo, Edgard Blücher, 1998.

BOOTHROYD DEWHURST, <<http://www.dfma.com>>, disponível em 16 de agosto de 2010

CAY, F.; CHASSAPIS, C. (1997) **An IT view on perspectives of computer aided process planning research**, Computers in Industry, v.34, p.307-337. (t:863)

CIMDATA, <<http://www.cimdata.com>>, disponível em 16 de agosto de 2010

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization, and management in the world auto industry.** Boston: Harvard Business School Press, 1991. 409p.

ECOBILAN, <[https://www.ecobilan.com/uk\\_team.php](https://www.ecobilan.com/uk_team.php)>, disponível em 16 de setembro de 2010

ESPÍNDOLA, D.B. **O Uso da realidade virtual na manufatura da indústria de construção naval offshore.** 2007 Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2007

FAN, I.-S. **The power of PDM.** Manufacturing Engineer, v. 79, n. 6, p. 224-228, 2000.

GABI SOFTWARE, <<http://www.gabi-software.com/international/solutions/life-cycle-assessment/>>, disponível em 16 de setembro de 2010

GUIA DO ESTUDANTE, <<http://guiadoestudante.abril.com.br>>, disponível em 16 de setembro de 2010

INSTANT REALITY, <<http://www.instantreality.org/exhibition>>, disponível em 22 de setembro de 2010.

**IPT, Prototipagem Rápida: Tecnologias, 2010**

LAB3D – LABORATÓRIO DE REALIDADE VIRTUAL,

<<http://lab3d.coppe.ufrj.br/index.php>>, disponível em 1 de novembro de 2010

ME310, <[http://www.stanford.edu/group/me310/me310\\_2010/index.html](http://www.stanford.edu/group/me310/me310_2010/index.html)>, disponível em 4 de outubro de 2010.

MICROSOFT (2010), *Microsoft Enterprise Project Management*.

MTM, <[http://www.mtmdobrasil.com/produkte/software/ticon\\_base\\_funktionen.php](http://www.mtmdobrasil.com/produkte/software/ticon_base_funktionen.php)>, disponível em 11 de outubro de 2010

NOWECO, <<http://www.noweco.com>>, disponível em 16 de agosto de 2010

NUMA:Núcleo de Manufatura Avançada, <<http://www.numa.org.br>>, disponível em 15 de agosto de 2010

ORACLE (2010), *Oracle's Primavera Portfolio Management*

ORACLE, <<http://www.oracle.com/us/products/applications/primavera/index.html>>, disponível em 13 de setembro de 2010.

OTTOSON, S. **Virtual reality in the product development process.** Journal of Engineering Design, v. 13, n. 2, p. 159-172, 2002.

PDPnet: Ambiente de compartilhamento de conhecimentos em Desenvolvimento de Produtos, <<http://www.pdp.org.br>>, disponível em 18 de junho de 2010

PPRC, <<http://www.pprc.org/pubs/epr/dfe.cfm>>, disponível em 10 de setembro de 2010.

PRé Consultants (2008), *Introduction to LCA with SimaPro7*.

PRé Consultants, <<http://www.pre.nl/eco-it/eco-it.htm>>, disponível em 10 de setembro de 2010.

PRO – Site do Departamento de Engenharia de Produção da POLI-USP, <<http://www.pro.poli.usp.br>>, disponível em 15 de outubro de 2010

PRODUCT REALIZATION LAB, <[http://www.stanford.edu/group/prl/prl\\_site/](http://www.stanford.edu/group/prl/prl_site/)>, disponível em 4 de outubro de 2010

PTC (2010), *Relex Brochure*,  
<[http://www.ptc.com/WCMS/files/112905/en/5392\\_Relex\\_Brochure\\_EN.pdf](http://www.ptc.com/WCMS/files/112905/en/5392_Relex_Brochure_EN.pdf)>, disponível em 15 de agosto de 2010

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. S.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K., **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo, Saraiva, 2006. 542p.

SANTOS, F. C.; AMARAL, D.; TARALLO, F.; FERREIRA, L. F. , **Laboratório de Projetos em Engenharia de Produção como apoiador da gestão da graduação por competências**. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília, Brasil, 14 a 17 de setembro de 2004, 2004.

SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION, **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**, 2006.

SELHORST JUNIOR, A. **Análise comparativa entre os processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos: um estudo de caso para determinação do processo mais indicado**. 2008 Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

SIGMAZONE, <<http://www.sigmaxzone.com/qfdxl.htm>>, disponível em 16 de agosto de 2010

SILVA, G.C. **Prototipagem rápida e ferramental rápido aplicados às peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automotivas**. 2008 Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SILVA, G. C., KAMINSKI, P. C. **Prototipagem rápida aplicada às peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automotivas**. In: XVI Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, São Paulo, Brasil, 28 a 30 de novembro de 2007, p.1-9. SAE Technical Paper Series n. 2007-01-2690., 2007.

SORDI, J.; VALDAMBRINI, A. **Aplicabilidade da realidade virtual no desenvolvimento de protótipos: análise de sua utilização na Volkswagen do Brasil**. In: XXVI ENEGEP. Fortaleza, 2006.

STANFORD UNIVERSITY GLOBAL ALLIANCE FOR RESEARCH AND DESIGN,  
**ME310 Corporate Brochure 2010-2011.** 2010.

STAUDINGER GmbH, <<http://www.staudinger-est.de/en/simulation/>>, disponível em 10 de outubro de 2010

TSENG, M.; JIAO, J; SU, C. **Virtual prototyping for customized product development,** Integrated Manufacturing Systems, v. 9, n. 6, 1998

VALERIO NETTO, A.; TAHARA, C.; PORTO, A.; GONÇALVES FILHO, E. **Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto.** Gestão e Produção, v.5, n. 2, p. 104-116, 1998

VRL – LABORATÓRIO DE REALIDADE VIRTUAL, <<http://www.vrl.ufrn.br/index.php>>, disponível em 1 de novembro de 2010

ZANCUL, E. S.: **Análise da aplicabilidade de um sistema ERP no processo de desenvolvimento de produtos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2000.

## 9 ANEXOS

### 9.1 ROTEIRO DE LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES DE LABORATÓRIOS



Visita a laboratórios



Data:

Laboratório visitado:

Contato:

#### Questões Administrativas

- 1) Capacidade do laboratório
- 2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)
- 3) Horário de funcionamento
- 4) Acesso dos alunos
- 5) Quantidade de funcionários

#### Recursos

- 1) Recursos computacionais:
  - a. Hardware
  - b. Software
- 2) Máquinas
- 3) Layout

## 9.2 VISITA AO LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO - LEFA



### Visita a laboratórios



**Data:** 24/09/2010

**Laboratório visitado:** LEFA

**Contato:** Cicero Cirlanio Cruz

### Questões Administrativas

#### 1) Capacidade do laboratório

Geralmente, atende 2 turmas de cerca de 20 alunos simultaneamente

#### 2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)

-

#### 3) Horário de funcionamento

Aberto durante o horário letivo

#### 4) Acesso dos alunos

Acesso aberto, utilização de máquinas acompanhada por técnicos com solicitação de professor

#### 5) Quantidade de funcionários

6 técnicos, 1 almoxarife, 2 funcionários de apoio às atividades de pesquisa

### Recursos

#### 1) Recursos computacionais

-

#### 2) Máquinas

##### a. Laboratório de protótipos

18 bancadas, 6 bancadas de trabalho equipadas com morsa, 5 tornos, 2 serras tico-tico, 1 serra de fita, 1 lixadeira, 1 esmeril, 1 máquina para ensaio de tração, 1 medidor de altura, 3 furadeiras

##### b. Oficina

5 tornos, 1 fresadora universal, 1 fresadora ferramenteira, 1 furadeira coordenada, 1 furadeira de coluna, 1 furadeira de bancada, 1 plainadora, 1 serra de fita vertical para aço, 1 máquina de eletro-erosão, 1 dobradeira, 1 guilhotina, 2 prensas hidráulicas, 1 máquina de solda, 1 torno CNC, 1 retificadora plana, 1 retificadora cilíndrica

#### 3) Outros

O laboratório conta também com uma pequena sala para aulas antes das atividades práticas, para 30 alunos

### 9.3 VISITA AO LABORATÓRIO DIDÁTICO DO PROGRAMA PACE



#### Visita a laboratórios



**Data:** 27/09/2010

**Laboratório visitado:** Laboratório didático do programa PACE (PME)

**Contato:** Professor Marcelo Alves

#### Questões Administrativas

**1) Capacidade do laboratório**

Turmas de cerca de 25 alunos

**2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)**

1 aluno por computador

**3) Horário de funcionamento**

Utilizado apenas durante aulas, a pedido de professores

**4) Acesso dos alunos**

Acesso restrito às aulas que utilizam o laboratório

**5) Quantidade de funcionários**

Não há funcionários dedicados

#### Recursos

**1) Recursos computacionais:**

**a. Hardware**

25 estações de trabalho HP, com monitor LCD

Estação de trabalho para professor (funciona como servidor de licença)

**b. Software**

Sistema operacional Microsoft Windows

Siemens PLM Software NX5

**2) Máquinas**

1 projetor

**3) Layout**

Layout de sala de aula, com mesas de alunos voltadas ao professor

## 9.4 VISITA AO LABORATÓRIO DE PROJETOS DO PROGRAMA PACE



### Visita a laboratórios



**Data:** 27/09/2010

**Laboratório visitado:** Laboratório de projetos do programa PACE (PME)

**Contato:** Professor Marcelo Alves

### Questões Administrativas

**1) Capacidade do laboratório**

Até 4 grupos de alunos

**2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)**

Definido pelos grupos de trabalho

**3) Horário de funcionamento**

Horário livre

**4) Acesso dos alunos**

Aberto a alunos envolvidos em projetos

**5) Quantidade de funcionários**

Não há funcionários dedicados

### Recursos

**1) Recursos computacionais:**

**a. Hardware**

4 estações de trabalho HP, com monitor LCD  
Roteador

**b. Software**

Sistema operacional Microsoft Windows  
Siemens PLM Software NX5  
MSC MD Nastran  
MSC Adams

**2) Máquinas**

1 televisão  
1 terminal para videoconferência

**3) Layout**

Layout para trabalho, com estações independentes e espaço para trabalho em grupo

## 9.5 VISITA AO LABORATÓRIO DE CAD DA UNIMEP



### Visita a laboratórios



**Data:** 17/09/2010

**Laboratório visitado:** Laboratório de CAD da UNIMEP

**Contato:** Prof. Dr.-Ing Klaus Schützer

### Questões Administrativas

#### 1) Capacidade do laboratório

Turmas de até 60 alunos

#### 2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)

2 alunos por computador (no máximo)

#### 3) Horário de funcionamento

Utilizado durante aulas, a pedido de professores

#### 4) Acesso dos alunos

Acesso restrito às aulas que utilizam o laboratório

#### 5) Quantidade de funcionários

6 técnicos, 1 recepcionista (responsáveis também por outros laboratórios)

### Recursos

#### 1) Recursos computacionais:

##### a. Hardware

31 Computadores marca Itautec com processador Intel Core 2 Duo 2.8GHz, 2 GB RAM, HD 300GB, DVD-RW, placa de video 512MB

31 Monitores LCD 19" widescreen

##### b. Software

Windows XP, ANSYS ED 5.2, Aspen ONE 2007, Archicad 12, Autodesk Architectural Desktop, Borland Builder C++ 5, Corel 12, Dev CPP, Force 2.0.8, Google Earth, MatLab 5, MatLab R2007A, Mdesign, Microsoft Office 2007, Microsoft Project 2007, Microsoft Visio 2007, Rhinoceros, Flamingo, Solid Edge 20, Team Center, UG NX5

#### 2) Máquinas

1 projetor

#### 3) Layout

Layout de sala de aula, com mesas de alunos voltadas ao professor

## 9.6 VISITA OS LABORATÓRIOS DE INFORMÁTICA DA UNIMEP



### Visita a laboratórios



**Data:** 17/09/2010

**Laboratório visitado:** Laboratórios de Informática da UNIMEP (3 salas)

**Contato:** Prof. Dr.-Ing Klaus Schützer

### Questões Administrativas

**1) Capacidade dos laboratórios**

60 alunos no lab1, 40 alunos no lab2 e 38 no lab3 (acesso aberto)

**2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)**

2 alunos por computador nos labs 1 e 2, 1 por computador no lab3

**3) Horário de funcionamento**

7:30 – 22:30

**4) Acesso dos alunos**

Acesso aberto a uma sala, outras duas utilizadas preferencialmente em aulas

**5) Quantidade de funcionários**

6 técnicos, 1 recepcionista (responsáveis também por outros laboratórios)

### Recursos

**1) Recursos computacionais:**

**a. Hardware**

52 Computadores marca Itautec com processador Intel Core 2 Duo 2.8GHz, 4 GB RAM, HD 160 GB, DVD RW

15 computadores marca Semp-Toshiba modelo Lince, Pentium III 1 GHz, 512 MB RAM

11 computadores marca HP VL400, pentium III 733 MHz, 512 MB RAM

12 computadores com processador AMD X2 5000 - 2.6GHz, 2GB RAM

**b. Software**

Windows XP, Aspen ONE v7, Batelada, Borland Builder C++5, Cartalinx, CATT 2, Dev CPP, EES32 7.936-3D, Engrenage 2.01, EstatCart, Flamingo, Force 2.0.8, Google Earth, Idrisi Kilimanjaro, Ir Fanview, Maple 8, MatLab 5, MatLab R2007A, Microsoft Office 2007, Microsoft Project 2007, Microsoft Publisher 2003, Microsoft Visio 2007, MultSim 2001 demo, Pascal ZIM 4.0.9, Rhinoceros, Simulador, Solid Edge 20, TeamCenter, Termico (IV TALLER), UG NX5, Viewer AUTOCAD, Visual Studio 2008

**2) Máquinas**

2 projetores, 3 scanner

**3) Layout**

Layout de sala de aula, com mesas de alunos voltadas ao professor

## 9.7 VISITA ÀS SALAS AMBIENTE DA UNIMEP



### Visita a laboratórios



**Data:** 17/09/2010

**Laboratório visitado:** Salas Ambiente da UNIMEP

**Contato:** Prof. Dr.-Ing Klaus Schützer

### Questões Administrativas

**1) Capacidade dos laboratórios**

80 alunos por sala

**2) Quantidade de alunos por computador (se aplicável)**

4 alunos por computador

**3) Horário de funcionamento**

Utilizado em horários de aula, a pedido de professor

**4) Acesso dos alunos**

Restrito às aulas

**5) Quantidade de funcionários**

6 técnicos, 1 recepcionista (responsáveis também por outros laboratórios)

### Recursos

**1) Recursos computacionais:**

**a. Hardware**

42 computadores marca ACER Veriton 5100, Pentium III 866 MHz, 256 MB de memória SDRAM, HD 20 de GB, placa de vídeo AGP marca 3Dlabs modelo Oxygen VX-1 32 MB, placa de rede onboard 100 Mbps

42 monitores coloridos de 17" tela plana

**b. Software**

Windows 2000, ANSYS ED 5.2, Batelada, Borland Builder C++5, CATT 2, DevCPP, EES32 7.936-3D, Elipse E3, Engrenag 2.01, Force 2.0.8, FreeMind, MatLab 5, Maple 8, Microsoft Office 2003, Microsoft Project 2003, Microsoft Publisher 2003, Microsoft Visio 2003, multiSim 2001 demo, Pascal Zim 4.0.9, R 2.5.1, Simulador, Termico (IV TALLER)

**2) Máquinas**

2 projetores, 3 scanner

**3) Layout**

Layout de sala de aula, com mesas de alunos voltadas ao professor

Alunos dispostos em mesas semi-circulares, 4 alunos por mesa

## 9.8 LISTA DE DISCIPLINAS DE GRADUAÇÃO DO PRO

<b>Sigla</b>	<b>Disciplina Obrigatória</b>
PRO2208	Introdução à Economia
PRO2201	Estatística I
PRO2310	Engenharia e Sociedade
PRO2411	Modelagem e Otimização de Sistemas de Produção
PRO2511	Sistemas de Informação I
PRO2611	Contabilidade e Custos
PRO2711	Estatística II
PRO2311	Administração e Organização
PRO2412	Modelagem Probabilística e Simulação de Sistemas de Produção
PRO2512	Automação e Controle
PRO2612	Engenharia Econômica e Finanças
PRO2712	Controle da Qualidade
PRO2312	Organização do Trabalho na Produção
PRO2415	Planejamento, Programação e Controle da Produção
PRO2420	Projeto da Fábrica
PRO2613	Economia de Empresas
PRO2713	Gestão da Qualidade de Produtos e Processos
PRO2715	Projeto do Produto e Processo
PRO2313	Ergonomia, Saúde e Segurança no Trabalho
PRO2416	Logística e Cadeias de Suprimento
PRO2421	Técnicas de Gerenciamento de Operações Industriais
PRO2513	Gestão da Tecnologia da Informação
PRO2714	Gerenciamento de Sistemas da Qualidade
PRO2801	Gestão de Projetos
PRO2314	Gestão de Operações em Serviços
PRO2802	Projeto Integrado de Sistemas de Produção
PRO2803	Gestão Estratégica da Produção

## 9.9 LISTA DE DISCIPLINAS DE PÓS-GRADUAÇÃO OFERECIDAS PELO PRO

Código	Nome da Disciplina
PRO5000	Sistemas Inteligentes, Flexíveis e Integrados de Produção
PRO5742	Gestão da Tecnologia e da Engenharia
PRO5759	Sistemas de Produção I
PRO5760	Sistemas de Planejamento, Programação e Controle da Produção e Estoques
PRO5766	Análise e Projeto da Inovação Organizacional
PRO5767	Aplicação de Métodos Estatísticos Multivariados na Análise de Dados
PRO5768	Sistemas de Informação na Produção
PRO5771	Probabilidade e Estatística Básicas para a Produção
PRO5774	Produtividade: definição, avaliação e melhoria
PRO5775	Análise Econômica de Sistemas de Operações
PRO5777	Análise Estatística da Qualidade
PRO5778	Planejamento e Gestão da Qualidade
PRO5779	Sistemas de Gestão da Qualidade
PRO5800	Estratégia de Operações: Manufatura e Serviços
PRO5801	Concepção Ergonômica do Trabalho
PRO5802	Programação de Produção Intermittente
PRO5803	Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção
PRO5804	Gestão Estratégica da Inovação
PRO5805	Planejamento e Gestão da Tecnologia da Informação
PRO5807	Logística Industrial e Cadeia de Suprimentos
PRO5808	Gestão de Operações Globais
PRO5809	Redes de Cooperação Produtiva
PRO5811	Reestruturação Produtiva e Formação de Competências
PRO5812	Aplicações de otimização em engenharia de produção e finanças
PRO5813	Tópicos Especiais de Controle da Qualidade
PRO5814	Impactos na Engenharia e nos Sistemas de Operação de Aspectos da Legislação
PRO5815	Estratégias de Manufatura
PRO5816	Gerenciamento da Qualidade Total
PRO5817	Ergonomia Aplicada ao Projeto de Produção de Automóveis
PRO5818	Ergonomia Geral
PRO5819	Organização do Trabalho e da Produção na Cadeia Automotiva
PRO5820	Finanças, Orçamento e Custos em Engenharia Automotiva
PRO5824	Organizações orientadas à projetos

## Continuação de 9.9 Lista de disciplinas de pós-graduação oferecidas pelo PRO

<b>Código</b>	<b>Nome da Disciplina</b>
PRO5825	Organização, Trabalho e Novas Tecnologias não Industriais
PRO5826	Estudo de Metaheurísticas para Problemas de Produção
PRO5827	Organização de Operações de Serviços
PRO5828	Projeto do Produto e do Processo
PRO5829	Reestruturação Produtiva na Cadeia Automotiva: Trabalho e Organização
PRO5830	Decisão nas Organizações
PRO5831	Problemas Especiais em Trabalho, Tecnologia e Organização
PRO5832	Problemas Especiais em Gestão da Tecnologia da Informação
PRO5833	Problemas Especiais em Qualidade de Engenharia do Produto
PRO5834	Problemas Especiais em Operações e Logística
PRO5835	Problemas Especiais em Economia da Produção e Engenharia Financeira
PRO5836	Estratégias para a Competitividade
PRO5837	Fundamentos de Finanças para Engenharia de Produção
PRO5838	Microeconomia Aplicada à Engenharia de Produção
PRO5839	Organização Industrial e Desenvolvimento Tecnológico
PRO5840	Resolução de Problemas Complexos e não Estruturados na Engenharia
PRO5841	Medindo a Satisfação do Cliente em Produtos e Serviços
PRO5842	Produção de valor: as relações entre gestão da produção e gestão do negócio
PRO5843	Projeto do trabalho, ergonomia e teorias organizacionais
PRO5845	Gestão Internacional de Organizações
PRO5846	Gestão da Informação e do Conhecimento: Conceitos e Estratégias
PRO5847	Design, Inovação Social e Desenvolvimento Sustentável
PRO5848	Ergonomia, cognição e projetos de sistemas informatizados
PRO5849	Programação Inteira para Problemas de Engenharia de Produção
PRO6001	Decisões Estratégicas em Sistemas Logísticos

**9.10 LISTA DE DISCIPLINAS OFERECIDAS PELO PRO AO CURSO DE DESIGN**

<b>Código</b>	<b>Nome da Disciplina</b>
PRO2718	Projeto e Engenharia do Produto II
PRO2315	Ergonomia I
PRO2317	Ergonomia II
PRO2719	Materiais e Processos de Produção III
PRO2720	Projeto e Engenharia do Produto III
PRO2721	Materiais e Processos de Produção IV
PRO2318	Gestão de Projetos em Design

## 9.11 ROTEIRO DE ENTREVISTAS AOS PROFESSORES



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:**

**Entrevistado:**

**Disciplinas:**

**As questões abaixo se referem à disciplina listada acima**

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R:

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R:

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R:

## 9.12 ENTREVISTA COM A PROFA. DRA. MARLY MONTEIRO DE CARVALHO



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:** 09/09/2010

**Entrevistado:** Profa. Dra. Marly Monteiro de Carvalho

**Disciplinas:** PRO2801 – Gestão de Projetos (graduação) e PRO5824 – Organizações Orientadas a Projetos (pós-graduação)

As questões abaixo se referem à disciplina listada acima

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R: Sim.

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R: Na disciplina de graduação, seriam realizadas as atividades de gestão de portfolio, gerenciamento de projeto, gestão de risco, árvores de decisão, mapeamento de processos, entre outras. Na disciplina de pós-graduação, além destas atividades, poderiam ser realizadas análises qualitativas, mapeamento de redes sociais, bibliometria, referênciação, qualidade.

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R: Os sistemas computacionais, agrupados por categoria seriam:

Gestão de Projetos (MS Project, PRIMAVERA); Gestão de Risco (RiskRadar, Crystal Ball); Árvore de decisão (Decision Program Language, Decision Tree), Gestão de Portfolio e Análise Multicritério (Expert Choice, Decision Lens); Estatística (MINITAB, SPSS); Qualidade (sistemas para EVA); Gerenciamento de requisitos; Mapeamento de Processos (MS Visio); Análise qualitativa (Semantic Knowledge, NVivo, Atlas TI); Bibliometria (Sitkis); Mapeamento de redes sociais (UCINET); Referenciação (EndNotes, Mandalay).

## 9.13 ENTREVISTA COM O PROF. DR. CLOVIS A. ALVARENGA NETTO



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:** 09/09/2010

**Entrevistado:** Prof. Dr. Clovis Armando Alvarenga Netto

**Disciplinas:** Engenharia de Produção: PRO2715 – Projeto do Produto e Processo (graduação); Curso de Design: Projeto e Engenharia do Produto; Materiais e Processos de Produção; Gestão de Projetos em Design

As questões abaixo se referem à disciplina listada acima

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R: Sim, tanto nas disciplinas da Eng. de Produção quanto do curso de Design

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R: Entre as possíveis atividades estão o desenho virtual do produto em desenvolvimento, a avaliação do ciclo de vida (LCA), Engenharia e Análise de Valor e o desenvolvimento dos protótipos físicos.

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R: Softwares de CAD (ex: Rhinoceros) e para realização de LCA; impressora de prototipagem rápida; bancadas de trabalho; materiais diversos (tesoura, régua, trena, balança, etc.)

## 9.14 ENTREVISTA COM O PROF. DR. EDUARDO DE SENZI ZANCUL



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:** 17/09/2010

**Entrevistado:** Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul

**Disciplina:** PRO2715 – Projeto do Produto e Processo

As questões abaixo se referem à disciplina listada acima

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R: Sim

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R: No laboratório poderiam ser realizadas as atividades envolvidas na estruturação de produtos e a gestão dos documentos dos trabalhos em grupo. O laboratório permitiria organizar melhor as entregas de trabalho por meio eletrônico.

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R: Os sistemas computacionais de apoio ao projeto necessários seriam sistemas de Gestão de Projetos, CAD, PLM, QFD, FMEA e DFMA. Seriam necessários recursos físicos para fabricação de protótipos, como material e máquinas de marcenaria, corte e solda de metais, prototipagem rápida e máquinas de usinagem.

## 9.15 ENTREVISTA COM O PROF. DR. ANDRÉ LEME FLEURY



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:** 08/10/2010

**Entrevistado:** Prof. Dr. André Leme Fleury

**Disciplina:** PRO 2720 – Projeto e Engenharia do Produto 3 (Design)

As questões abaixo se referem à disciplina listada acima

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R: Sim.

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R: Atividades de desenho virtual em sistemas CAD, design colaborativo e prototipagem.

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R: Seriam necessários sistemas CAD, como o *CATIA* ou o *Rhinoceros*. Para construção de protótipos, seria interessante utilizar uma máquina de prototipagem rápida, como uma impressora tridimensional. Além disso, há diversos softwares livres que poderiam ser aplicados. O site *SimpleScripts* fornece acesso a diversas aplicações por meio de uma assinatura mensal.

## 9.16 ENTREVISTA COM O PROF. DR. DARIO IKUO MIYAKE



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:** 08/10/2010

**Entrevistado:** Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

**Disciplina:** PRO2420 – Projeto da Fábrica

As questões abaixo se referem à disciplina listada acima

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R: Sim, mas com a ressalva de que não há, na graduação, tempo disponível para treinamentos e familiarização de alunos com possíveis softwares.

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R: Poderiam ser realizadas atividades de simulação de fábricas, por meio de equipamentos didáticos tridimensionais, como células produtivas, esteiras, pontes rolantes, empilhadeiras. Estes equipamentos permitem a simulação e a coleta de dados de operação. Além disso, atividades de cronometragem e otimização de tarefas.

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R: Equipamentos didáticos tridimensionais para simulação, como os fornecidos pela empresa Staudinger, e software para aplicação de técnicas de Tempos e Métodos.

## 9.17 ENTREVISTA COM O PROF. DR. LAERTE IDAL SZNELWAR



### Questionário Levantamento de requisitos



**Data:** 15/10/2010

**Entrevistado:** Prof. Dr. Laerte Idal Sznelwar

**Disciplinas:** PRO2313 – Ergonomia, Saúde e Segurança no Trabalho

As questões abaixo se referem à disciplina listada acima

- 1) Na sua opinião, seria interessante usar de maneira mais intensiva os recursos de um laboratório nesta disciplina?

R: Sim.

- 2) Quais atividades da disciplina poderiam ser realizadas no laboratório?

R: Avaliação de produtos existentes e de situações de trabalho; simulações, construção de mock-ups e protótipos; testes de usabilidade, de esforço, de adequação anatômica, de distinção de informação.

- 3) Quais recursos devem estar presentes no laboratório para permitir o oferecimento das atividades desejadas?

R: Equipamentos: medição de esforço, de frequência cardíaca, direção do olhar, pressão de contato, eletromiografia de superfície; decibelímetro, luxímetro, fotômetro, termômetro, higrômetro, anemômetro, antropômetro, trena eletrônica; equipamento para captura de movimentos; câmera de vídeo, câmera fotográfica; computadores, notebooks, equipamentos para prototipagem, como impressora tridimensional.

Software: Actogram Kronos (para observações comportamentais); RAMSIS (CAE com aplicações em ergonomia); CATIA, Rhino (CAD); software para tratamento de imagens.