



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

ANDREA DE MATOS MACHADO

MÉTODO PARA DOCUMENTAR E COMUNICAR A ESPECIFICAÇÃO
DIMENSIONAL E GEOMÉTRICA DO PRODUTO

Salvador
2014

ANDREA DE MATOS MACHADO

MÉTODO PARA DOCUMENTAR E COMUNICAR A ESPECIFICAÇÃO
DIMENSIONAL E GEOMÉTRICA DO PRODUTO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Suzi Maria C. Mariño

Salvador
2014

M149m Machado, Andrea de Matos

Método para documentar e comunicar a especificação dimensional e geométrica do projeto / Andrea de Matos Machado - Salvador, 2014.

115f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Suzi Maria Carvalho Mariño.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial – GETEC) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia Senai – CIMATEC, Salvador, 2014.

Inclui referências.

1. Especificação dimensional do produto. 2. Tolerâncias dimensionais e geométricas. 3. Gestão do projeto de produto. 4. Comunicação entre equipes multifuncionais. I. Faculdade de Tecnologia SENAI – CIMATEC. II. Beal, Valter Estevão. III. Mariño, Suzi Maria Carvalho IV. Título.

CDD: 658.5752

ANDREA DE MATOS MACHADO

MÉTODO PARA DOCUMENTAR E COMUNICAR A ESPECIFICAÇÃO
DIMENSIONAL E GEOMÉTRICA DO PRODUTO

Dissertação apresentada como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Gestão e
Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia
SENAI CIMATEC.

Banca Examinadora

Valter Estevão Beal – Orientador _____
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, Brasil
Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

Suzi Maria Carvalho Mariño – Coorientadora _____
Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo,
São Paulo, Brasil
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC - Universidade Federal da Bahia

Membro interno – Guilherme Oliveira de Souza _____
Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de
Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Membro externo – Herman Augusto Lepikson _____
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, Brasil
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC - Universidade Federal da Bahia

Membro externo – Cristiano Vasconcellos Ferreira _____
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina,
Joinville, Brasil

Dedico este trabalho à memória de minha mãe Maria José, “Mazé”
pelo exemplo tolerante de gestora e eterna fonte de inspiração profissional.

AGRADECIMENTOS

Quebrando o protocolo: passa um filme! Lembro que ainda ontem, o professor Lucas apertava a minha mão por fazer parte da lista. Um corre-corre só, encaminhar solicitação de bolsa, STD – um incentivo para o desenvolvimento profissional concedido pelo CIMATEC, obrigada SENAI! Beal, sempre objetivo e analítico, traçava os rumos do nosso trabalho sobre ajustes, prioridades e muita “tolerância”. Aos parceiros de elucidação “GuiLerme” e Suzi, muito obrigada. Agradeço ao professor Herman pelo desafio em ter o seu aval e ao professor Cristiano pelas contribuições na reta final.

Agradeço aos professores e aos colegas da turma GETEC pelo companheirismo e por fazer prazeroso cada encontro, aos colegas de trabalho, especialmente pelos minutos cedidos e pela paciência com as interferências na captação de dados, às vezes em “horários de pico”, é impressionante como a presteza de cada um é notória, auxiliando-me na busca de respostas e aperfeiçoamento deste trabalho. Todos os “engs”, os “tec” e os “dino” do DPI, minha líder e exemplo de pessoa e profissional Su, agradeço as exxxxxxxxxxtensões de prazo na biblioteca do quarteto fantástico: Ritinha, Tai, Paulinho e Adri, aos queridos da secretaria Mi, Cris, Sara, Julie, Angélica e Robson, minha pró Raquel pela revisão, Thiago (NRM) pelas dicas na edição das imagens, às empresas parceiras e tantas outras pessoas (é muita gente!) que direta ou indiretamente contribuíram, obrigada pessoal do NEP pelo cafezinho que motivava sempre e no meio de tudo ainda tinha o tal do “curso novo”!

Agradeço a minha família, especialmente painho pelo brilho no olho, Poli pelos finais de semana revisando e pelo apoio incondicional, Ninine com as dicas “the book is on the table!”, à Nolitada e à família Machado.

Acima de tudo, DEUS! Obrigada Senhor por mais esta!

A primeira lei da natureza é a tolerância - já que temos uma porção de erros e fraquezas.
(Voltaire)

Tolerância é paciência concentrada.
(Thomas Carlyle)

A maior precisão exigida pelo nosso trabalho é a tolerância ao erro.
(anônimo)

RESUMO

MACHADO, A. M. **Método para documentar e comunicar a especificação dimensional e geométrica do produto.** Salvador - BA, Brasil - 2014. 107p. - Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, 2014.

Este trabalho apresenta um método para documentar e comunicar a especificação dimensional e geométrica do produto, a partir da sinalização de regiões críticas que exigem um controle dimensional coerente e adequado, e também, de regiões onde a faixa de tolerância pode ser ampliada, sem comprometimento dos requisitos funcionais e de montagem. Na delimitação da abordagem metodológica, foi aplicado um questionário estruturado a profissionais envolvidos no processo de desenvolvimento de produtos e realizada uma análise documental de projetos de produtos. Verificou-se que problemas de comunicação e entendimento do projeto, bem como a falta de capacitação da equipe em áreas específicas, estavam entre as causas mais frequentes de retrabalho, atrasos e não atendimento aos requisitos estabelecidos de projeto. Para dar suporte ao conjunto de procedimentos propostos, foi elaborada uma ferramenta matricial correlacionando as informações sobre função, tipo de controle aplicado, grau de importância e o impacto do não atendimento à especificação estabelecida a partir das áreas sinalizadas. O potencial de utilidade do método foi verificado por intermédio de entrevistas semiestruturadas com profissionais que trabalham no projeto de produto.

Palavras-chaves: Especificação dimensional do produto; Tolerâncias dimensionais e geométricas; Gestão do projeto de produto; Comunicação entre equipes multifuncionais

ABSTRACT

MACHADO, A. M. **Method to document and to communicate the dimensional and geometrical product specification.** Salvador - BA, Brazil - 2014. 107p. - Dissertation (Master in Management and Industrial Technology) - Graduate Program in Management and Industrial Technology. Faculty of Technology SENAI CIMATEC, 2014

This work presents a method to document and to communicate the dimensional and geometrical product specification, signaling critical areas that require a consistent and appropriate dimensional control and also regions where the tolerance range can be expanded without compromising the function and assembly requirements. A survey was applied to professionals involved in the product design and analysis of past projects documents was performed. It was found that communication problems and understanding of the project as well as the lack of staff training in specific areas, were among the most frequent causes of rework, delays and not achieving the requirements off the project. A matrix tools was built to support the procedures proposed to be applied in the product development process. It helps to crosscheck feature function, type of control, importance degree and impact in the product quality. The potential use of this method was verified interviewing professionals that work with product design.

Keywords: Dimensional product specification; Dimensional and geometric tolerances; Product design management; Communication between cross-functional teams

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Funções das tolerâncias aplicadas ao projeto de produto.....	25
Quadro 2. Vantagens do emprego de GD&T	27
Quadro 3. Comparativo entre o sistema cartesiano e a linguagem GD&T	29
Quadro 4. Simbologia para características toleradas segundo NBR 6409:1997	32
Quadro 5. Orientações ao projeto de produtos plásticos por especialistas da área..	38
Quadro 6. Entrevista semiestruturada com profissionais envolvidos no PDP	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Universos do desenvolvimento de um produto	21
Figura 2. Zona de tolerância cartesiana x zona de tolerância do GD&T	29
Figura 3. Exemplo de desenho técnico com linguagem GD&T	30
Figura 4. Definição de um produto acabado - modelo em CAD 3D.....	33
Figura 5. Fatores considerados no projeto de peças injetadas	37
Figura 6. Etapas dos procedimentos metodológicos para análise documental.....	51
Figura 7. Ferramenta de auxílio ao método proposto.....	53
Figura 8. Diagramação do campo 3 da ferramenta de auxílio.....	55
Figura 9. Pontos significativos de aplicação do método dentro do PDP	57
Figura 10. Fluxo das etapas e tarefas do método – 1º momento de aplicação.....	58
Figura 11. Fluxo das etapas e tarefas do método – 2º momento de aplicação.....	61
Figura 12. Componente selecionado para aplicação da ferramenta (botão).....	64
Figura 13. Modelo 3D do componente com sinalização das regiões críticas	65
Figura 14. Aplicação da ferramenta – componente 2 (BOTÃO - Projeto A).....	66
Figura 15. Produto analisado (a); produto anterior utilizado como referência (b).....	92
Figura 16. Vista explodida do produto.....	94
Figura 17. Componentes da 1ª submontagem	95
Figura 18. Componentes da 2ª submontagem	96
Figura 19. Componentes da 3ª submontagem	97
Figura 20. Montagem final do produto.....	97
Figura 21. Ponto crítico para fixação do componente 1	98
Figura 22. Pontos críticos - componente 2 (botão).....	99
Figura 23. Análise do engate do componente 3 (lente).....	100
Figura 24. Análise da montagem do componente 4 (máscara).....	100

Figura 25. Pontos críticos da geometria do produto no projeto A.....	101
Figura 26. Análise das superfícies de contato - porta-bateria e base do produto....	102
Figura 27. Montagem para diferentes tipos de trafo.....	102
Figura 28. Área crítica para montagem da placa metálica	103
Figura 29. Fixação das rodas na base do produto	104
Figura 30. Posicionamento do estabilizador.....	105
Figura 31. Vista explodida do produto B	107
Figura 32. Posicionamento dos conectores no painel traseiro do estabilizador	107
Figura 33. <i>Snap</i> s laterais da base (A) e da tampa (B)	108
Figura 34. Vista em corte - fechamento do <i>snap</i> da tampa com a base	108
Figura 35. Aletas para montagem de peça e contrapeça do estabilizador.....	109
Figura 36. Modificações na tampa para travamento efetivo do produto.....	109
Figura 37. Modificações na base para travamento efetivo do produto	110
Figura 38. Detalhe do alojamento da PCI	111
Figura 39. Torres PCI Antena e RJ45	111
Figura 40. Criticidade nas torres de fixação da PCI	111
Figura 41. Detalhes do friso do estabilizador	112
Figura 42. Posicionamento <i>led</i> , painel <i>touch</i> e infravermelho	112
Figura 43. Castelos para fixação do trafo.....	113
Figura 44. As setas indicam o alojamento para o trafo na base.....	113
Figura 45. Vista superior da base com o trafo montado.....	114
Figura 46. Vista em corte - fechamento base e tampa com trafo montado.....	114
Figura 47. Alojamento Botão/Lente	114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Taxas de retorno dos investimentos nos diferentes estágios do PDP	21
Gráfico 2. Formação profissional dos entrevistados.....	41
Gráfico 3. Tempo de experiência com desenvolvimento de produtos	41
Gráfico 4. Capacitação em cursos de metrologia e especificação dimensional	42
Gráfico 5. Percentual de etapas do PDP gerenciadas e executadas na mesma empresa	42
Gráfico 6. Ferramentas utilizadas para traduzir os requisitos de produto	43
Gráfico 7. Mapeamento funcional do produto.....	43
Gráfico 8. Formas de comunicação para sinalizar os pontos críticos do produto.....	44
Gráfico 9. Especificação dimensional e geométrica adotados nos projetos.....	44
Gráfico 10. Frequência da atividade de revisão ou análise das tolerâncias	45
Gráfico 11. Indicação de cotas críticas no projeto de produto.....	45
Gráfico 12. Tolerâncias analisadas no projeto de produto	46
Gráfico 13. Frequência de modificações do projeto com o produto já em produção.	46
Gráfico 14. Frequência de interpretação ambígua do projeto	47
Gráfico 15. Frequência de atendimento aos prazos acordados	47
Gráfico 16. Fatores que comprometem a entrega do produto nos prazos acordados	48

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE QUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE GRÁFICOS	vi
SUMÁRIO	vii
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
1.2 Organização da dissertação.....	18
2 PROJETO DE PRODUTOS E ESPECIFICAÇÃO DIMENSIONAL	20
2.1 Especificação dimensional aplicada ao projeto de produto.....	23
2.1.1 <i>Dificuldade da aplicação GD&T em projeto de produtos</i>	33
2.2 Projeto de produtos plásticos moldados por injeção.....	36
3 ABORDAGEM METODOLÓGICA	39
3.1 Tipo de pesquisa.....	39
3.2 Instrumentos para coleta de dados.....	39
3.2.1 <i>Questionário estruturado</i>	39
3.2.2 <i>Análise documental</i>	49
4 ESTRUTURA DO MÉTODO	53
4.1 Ferramenta de auxílio à aplicação do método.....	53
4.1.1 <i>Campos de preenchimento da ferramenta</i>	54
4.2 Primeiro momento de aplicação do método – etapas e tarefas.....	58
4.2.1 Etapa 1 – Planejamento da especificação dimensional.....	59
4.2.2 <i>Etapa 2 – Preenchimento dos campos da ferramenta</i>	59
4.2.3 <i>Etapa 3 – Aprovação das informações inseridas e encaminhamento para etapa de projeto detalhado</i>	60
4.3 Segundo momento de aplicação do método – etapas e tarefas.....	61
4.3.1 <i>Etapa 1 – Análise da especificação dimensional (GD&T) aplicada</i>	62
4.3.2 <i>Etapa 2 – Preenchimento dos campos da ferramenta</i>	62

4.3.3	<i>Etapa 3 – Aprovação das informações inseridas e encaminhamento para etapa de preparação da produção</i>	62
5	APLICAÇÃO DO MÉTODO	64
5.1	Verificação da utilidade da ferramenta.....	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
6.1	Desdobramentos da pesquisa	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICE A - Questionário estruturado	77
	Respostas ao questionário - questões 01 a 06.....	81
	Respostas ao questionário - questões 07 a 12.....	85
	Respostas ao questionário - questões 13 a 17.....	88
	APÊNDICE B - Análise documental	91
	Projeto A: Nobreak	91
	Projeto B: Estabilizador.....	105

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos de forma empírica, a dificuldade em conduzir os projetos com foco na qualidade funcional e metrológica são fatores que contribuem para o desconhecimento de como traduzir requisitos de produto em especificações de projeto, voltados ao atendimento das necessidades do cliente final. As especificações de projeto devem assegurar a qualidade de um produto considerando as variações dos processos de fabricação, assim, o estabelecimento de tolerâncias dimensionais e geométricas assume papel importante para garantir a qualidade dos requisitos de forma, tamanho e posição, seu correto emprego deve partir da premissa das análises funcionais do produto.

O GD&T, acrônimo para *Geometric Dimensioning and Tolerancing*, é uma forma de especificação dimensional, que utiliza simbologia específica para adequar tolerâncias dimensionais e geométricas às reais necessidades de funcionamento e montagem para que o produto esteja conforme, isto é, dentro dos padrões estabelecidos no projeto. Devido à complexidade e o número cada vez maior de informações inseridas no detalhamento técnico do produto quando o GD&T é aplicado, os times envolvidos no processo de desenvolvimento apresentam dificuldades de leitura e interpretação do projeto de produto. Escolas técnicas e universidades abordam o assunto de maneira superficial, fazendo com que as empresas busquem alternativas no mercado para capacitação de seus profissionais, no entanto, nem sempre é possível capacitar toda a equipe. Dentro desse contexto, não compreender as especificações técnicas a partir do que foi estabelecido no projeto de produto para detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes, dificulta a preservação e o atendimento aos requisitos dimensionais e geométricos ao final do ciclo de desenvolvimento.

De acordo com Colosimo (2011), a representação do grau de controle geométrico para cada recurso da peça ainda é um obstáculo para os projetistas. Enquanto esta dificuldade pode ser superada com formação e experiência, continua a ser difícil para um projetista raciocinar sobre a análise combinatória das relações de montagem e requisitos de projeto de um produto complexo. Na tentativa de

minimizar esses obstáculos, são cada vez mais frequentes publicações técnicas e literatura específica sobre procedimentos guiados, práticas e casos de aplicação do controle dimensional e geométrico, colaborando com a formação e prática no desenvolvimento de projeto de produtos. Ainda assim, entender e cumprir a especificação dimensional estabelecida para os produtos depende da interpretação feita por toda a equipe envolvida no projeto para definir a prioridade de atendimento aos requisitos do produto.

A sinalização das características que necessitam de um controle dimensional preciso e rigoroso para registro, entendimento dos requisitos do produto, além da revisão e acompanhamento das variações dimensionais, por intermédio de um conjunto específico de procedimentos, pode facilitar a compreensão, adequação e atendimento às tolerâncias dimensionais e geométricas do produto estabelecidas sem comprometer a qualidade.

O presente estudo visa responder à questão:

“Como facilitar o entendimento da especificação dimensional do produto, de maneira documentada, para que equipes multifuncionais envolvidas no projeto e fabricação do produto possam compreender, conduzir a revisão das especificações e preservar estas informações ao final do ciclo de desenvolvimento, sem retrabalho e sem necessariamente comprometer a qualidade do produto?”

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é elaborar um método para documentar e comunicar a especificação dimensional e geométrica do produto, a partir da sinalização de regiões críticas que exigem um controle dimensional coerente e adequado, e também de regiões onde a faixa de tolerância pode ser ampliada, sem comprometimento dos requisitos funcionais do produto.

Os objetivos específicos são:

- Mapear causas de retrabalhos em projeto de produto, para determinar como pode ser filtrada a especificação dimensional e geométrica que deve ser sinalizada, cujo não atendimento comprometa a função, a montagem e a qualidade desejada;
- Descrever as etapas e atividades do método proposto;
- Elaborar um instrumento ou ferramenta de suporte ao método, para registro e correlação das informações, a partir das áreas sinalizadas, considerando função, tipo de controle aplicado, grau de importância e o impacto do não atendimento à especificação estabelecida;
- Aplicar o método a um produto desenvolvido;
- Verificar o potencial de utilidade do método apresentado.

1.2 Organização da dissertação

Além deste capítulo introdutório que apresenta o contexto, a problemática e os objetivos desta pesquisa, o trabalho é organizado em mais cinco capítulos, descritos a seguir.

O capítulo 2 desdobra o referencial teórico sobre o processo de desenvolvimento de produtos – etapa de projeto, considerações e vantagens da aplicação de GD&T na especificação dimensional do produto e uma abordagem generalizada a respeito da dificuldade de interpretação da especificação dimensional de produtos utilizando GD&T. Apresenta, também, orientações padronizadas e particularidades que devem ser aplicadas ao projeto de produtos plásticos moldados por injeção, uma vez que como exemplo de aplicação do método, utilizou-se o projeto de um componente injetado.

O capítulo 3 aborda a metodologia adotada e o detalhamento dos instrumentos utilizados para coleta de dados: questionário estruturado e análise documental dos projetos selecionados durante o período da pesquisa, bem como os resultados obtidos.

O capítulo 4 descreve o método, as etapas e atividades envolvidas no registro, entendimento e acompanhamento da especificação dimensional para ajudar a equipe de projeto a comunicar e preservar as informações sobre os requisitos dimensionais do produto ao final do ciclo de desenvolvimento.

O capítulo 5 apresenta uma aplicação do método e verificação do seu potencial de utilidade em que foi selecionado um componente plástico, parte integrante do subsistema de um dos produtos da análise documental dos projetos selecionados no período da pesquisa. Para verificação do potencial de utilidade do método explicitado, aplicou-se uma entrevista semiestruturada com profissionais de áreas variadas, envolvidos no processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa de projetos do mesmo segmento.

O capítulo 6 conclui este trabalho apresentando as considerações finais.

2 PROJETO DE PRODUTOS E ESPECIFICAÇÃO DIMENSIONAL

Este capítulo apresenta um panorama geral sobre a etapa de projeto dentro do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), vantagens da especificação de tolerâncias dimensionais e geométricas com GD&T, abordando, de maneira generalizada, a dificuldade de leitura, interpretação do projeto de produto com aplicação de GD&T, que pode gerar uma comunicação deficiente entre equipes envolvidas no projeto e na fabricação de produtos multicomponentes. São apresentadas, também, considerações consensuais que orientam o projeto de produtos, dentro do segmento de peças plásticas injetadas, para uma especificação dimensional posterior mais adequada.

Motivado por uma necessidade de mercado, o PDP compreende um conjunto de atividades cujo propósito é transformar uma ideia em um produto acabado tangível. Para a construção do produto, três operações categorizadas e sucessivas podem ser evidenciadas: o projeto do produto, o planejamento do processo de fabricação e o projeto do sistema de manufatura. O sucesso de um novo projeto de desenvolvimento de produto está condicionado ao gerenciamento destas atividades de maneira organizada no que diz respeito à organização, coordenação e controle de todo o processo. Na comunidade acadêmica, são disponibilizados diversos modelos de representação e gestão de todo o processo de desenvolvimento de produtos. Estas abordagens, apesar de apresentarem variações quanto à nomenclatura, número de operações e classificação de suas etapas, mantém uma estrutura básica de aplicação a diferentes tipos de produto (MACHADO e TOLEDO, 2008; ROMANO, 2003).

Para Baxter (2011), as fases iniciais do processo de desenvolvimento de novos produtos são as mais relevantes. A partir da captação das informações referentes ao produto até a definição do projeto conceitual, muitas decisões foram tomadas e um considerável volume de recursos financeiros, alocados, todavia, os esforços financeiros com o desenvolvimento ainda são relativamente baixos. Mudanças em etapas posteriores como engenharia de produção e manufatura podem acarretar retrabalho e aumento elevado nos custos, como mostra o gráfico 1.

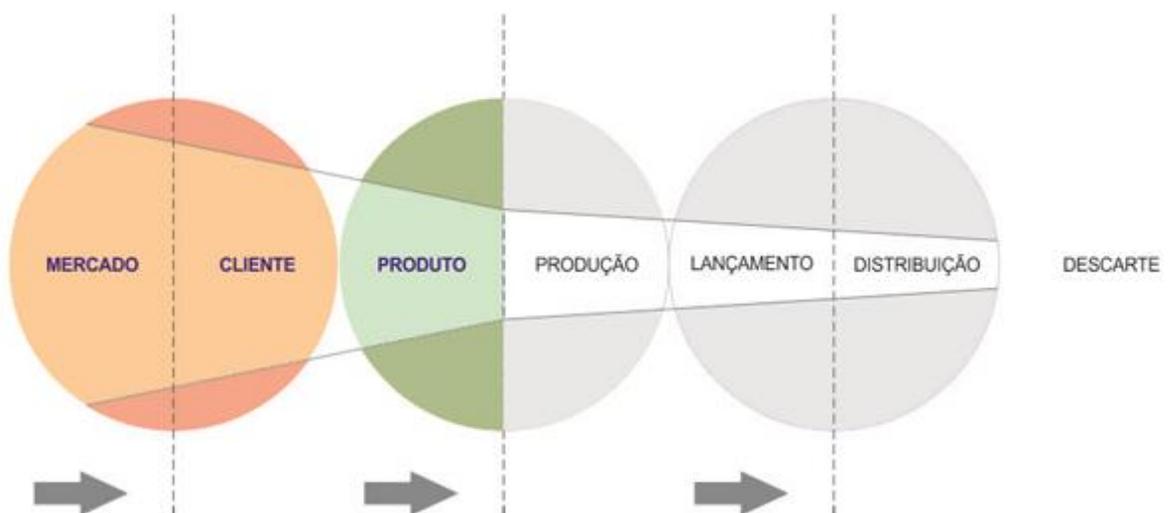
Gráfico 1. Taxas de retorno dos investimentos nos diferentes estágios do PDP



Fonte: Baxter (2011)

Rotondaro *et al* (2010) segmentam o desenvolvimento de produtos em universos com aspectos particulares e semelhantes. O primeiro universo é o do mercado, cujas atividades propõem firmar a ideia de um produto, garantindo que esta seja direcionada para o mercado. O segundo é o do cliente, onde se procura aperfeiçoar a percepção do cliente, suas necessidades, solicitações e expectativas. O terceiro universo é o do projeto de produto, onde é convertida a ideia conceito em especificações do produto para fabricação. A figura 1 apresenta o desdobramento dos universos com destaque para as fases iniciais do PDP.

Figura 1. Universos do desenvolvimento de um produto



Fonte: Rotondaro *et al*, 2010

Kaminski (2011) considera o projeto do produto como fase principal do PDP e apresenta com uma das características gerais, o critério de projeto. Este, por sua vez, corresponde ao equilíbrio entre os vários requisitos, dentre eles as exigências e expectativas do consumidor, bem como os da equipe de fabricação.

Sobre a gestão do desenvolvimento de produto, Pina (2011) ressalta que:

[...] para um projeto bem-sucedido, a equipe precisa selecionar os processos adequados para atender aos objetivos do projeto, usar uma abordagem definida para adaptar planos e especificações do produto, atender aos requisitos para satisfazer necessidades, expectativas e desejos das partes interessadas, balancear as demandas conflitantes para produzir um produto de qualidade.

As etapas de projeto e fabricação nem sempre acontecem na mesma empresa. Outras vezes são segmentadas na própria organização e as equipes trabalham de forma sequencial e dissociada. A comunicação deficiente entre design, engenharia e fabricação de um produto e também a ambiguidade na interpretação do projeto, aumentam o tempo e os custos de desenvolvimento, acarretando retrabalho e comprometendo a qualidade final do produto. É mandatório que a variabilidade do processo de manufatura seja considerada no projeto no momento em que são definidas as tolerâncias dimensionais e geométricas, ajustando e facilitando a interpretação dessas especificações à cadeia que vem a seguir. Estabelecer tolerâncias de fabricação, correlacionando-as com a aplicação da peça, considerando o que é aceitável de variação, é imprescindível para que esta peça esteja funcional e atenda aos requisitos esperados do produto. A interpretação única do detalhamento técnico do produto, a partir das considerações sobre as variações decorrentes do processo de fabricação da peça, é fator determinante para atingir a qualidade desejada do produto final. Isto é facilitado quando há integração entre o projetista e os profissionais responsáveis pela fabricação e montagem do produto. (PINA, 2011; ROZENFELD *et al*, 2006; MACHADO e TOLEDO, 2008; ROTONDARO *et al*, 2010).

Rotondaro *et al* (2010) reforçam que garantir a qualidade desejada ao produto é uma questão de sobrevivência para as empresas. Afirma ainda que a equipe de

projeto deve despende um esforço considerável para estabelecer um sistema robusto para controlar a qualidade do produto e que pode ser estruturado em seis passos:

1. Definir as características da qualidade a serem controladas;
2. Definir como medir cada característica da qualidade;
3. Estabelecer padrões de qualidade;
4. Controlar a qualidade;
5. Detectar e atacar as causas de possíveis desvios;
6. Criar uma dinâmica contínua de melhorias e aperfeiçoamento do sistema de controle e garantia da qualidade.

Um ponto crucial no PDP é o controle do fluxo das informações de projeto, que permitirá a produção do produto desejado. Neste processo, dois pontos primordiais são firmados: a documentação referente aos requisitos do produto e a documentação para a manufatura. Uma parte do mercado conduz o processo de desenvolvimento de produtos de forma empírica, e atualmente ainda existem empresas que apresentam dificuldade em gerenciar seus projetos com foco na qualidade funcional, sacrificando-se para atender aos requisitos do produto e, também, desconhecem como traduzir tais requisitos em especificações de projeto. (MACHADO e TOLEDO, 2008; ROPION, 1974).

Um projeto mal especificado tende a comprometer as características e particularidades do produto, uma vez que as etapas posteriores (fabricação do ferramental, por exemplo) dependem do detalhamento técnico do componente. A especificação da variação dimensional nos projetos de engenharia, aplicando tolerâncias com precisão além do necessário, pode acarretar problemas na obtenção destas tolerâncias e comprometer o atendimento aos requisitos funcionais e de montagem do produto.

2.1 Especificação dimensional aplicada ao projeto de produto

No desenvolvimento de um produto, o desenho é o principal meio de comunicação entre o projetista, o fabricante e o metrologista. Deve-se prestar

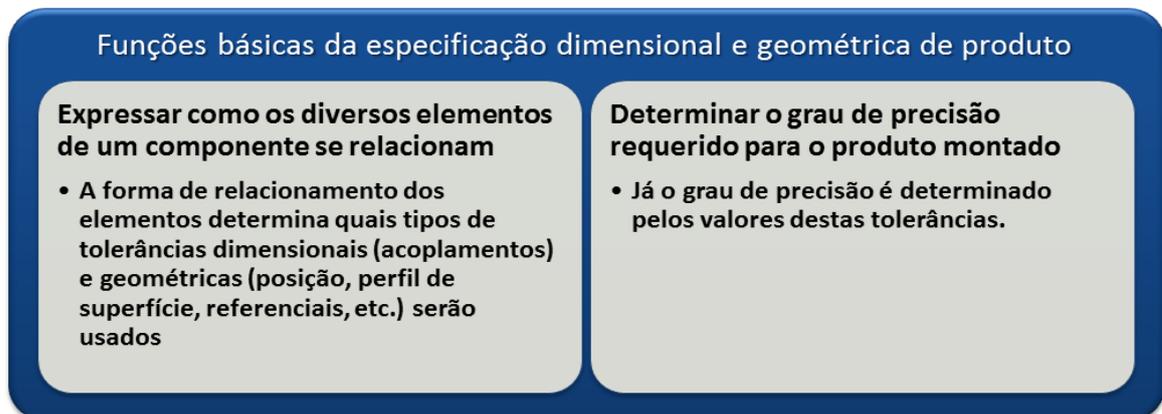
atenção às variações e planejamento do processo de fabricação para iniciar o detalhamento técnico dos componentes, montagem dos subsistemas, os sistemas em si e o produto final, a fim de gerar uma interface mais eficaz no que se refere à minimização de possíveis perdas, riscos e retrabalho, numa etapa posterior à definição do conceito do produto. Problemas como inadequação dimensional, especificação insuficiente e desatualizada do detalhamento técnico que comprometem a funcionalidade, são revelados apenas na fabricação e montagem e fatores como desgaste da ferramenta e máquinas, instrumentos de medição descalibrados e processos de medição incorretos causam dificuldades para obtenção de peças com as dimensões desejadas (ROZENFELD *et al*, 2006; MAZIERO *et al*,1997).

O dimensionamento técnico do produto deve ser realizado a partir da função da peça, transformando desenhos de produto em desenhos de processo, e devem ser baseados no tamanho da série a produzir e do maquinário disponível para finalmente projetar as ferramentas, dispositivos de usinagem e de controle dimensional. A escolha das tolerâncias dimensionais e geométricas deve ser feita para cada par de peças, conjuntos e subconjuntos a serem acoplados ao produto, compatível obviamente com a função desejada do mesmo. É importante considerar o montante de regras e normas técnicas relativas às tolerâncias, necessárias para elaborar um projeto que, além de compatível com a função da peça, seja coerente com as restrições de manufatura, limitações de montagem e inspeção. Tais condições determinarão essencialmente a economia da indústria na fabricação das peças. Sugere-se a prática do uso de tolerâncias por função, onde estas tolerâncias são o suporte para o projeto e etapas posteriores, abrangendo todo o processo de manufatura. Dos diversos procedimentos de cotação dimensional empregados na indústria, os mais frequentes são as cotações feitas com base nas necessidades dos processos de fabricação e controle de qualidade das peças. Tais procedimentos, por não levarem em consideração os requisitos funcionais do produto final, acabam, apesar de facilitarem a manufatura e a inspeção dos componentes, comprometendo o desempenho esperado do produto. São, portanto, chamados de “cotação peça a peça” e devem ser evitados, substituídos pelo processo de “cotação funcional”, ou seja, baseado na função (SOUSA e WANDECK, 2004; ROPION,1974; WEILL *et al*, 1988; MAZIERO *et al*,1997).

Zhang (1992) defende que faixas de tolerâncias amplas podem aumentar o desperdício e problemas de montagem do produto, enquanto que o uso de tolerâncias apertadas podem aumentar os custos de produção. Esses problemas quando não solucionados durante a fase de projeto resultam em modificações tardias e que, muitas vezes, são percebidos somente na fase de fabricação, gerando retrabalho e, conseqüentemente, aumento do tempo de desenvolvimento.

Para Wandeck e Sousa (2008), as tolerâncias estabelecidas no projeto de produto e representadas nos desenhos de engenharia têm duas funções básicas, como ilustradas pelo quadro 1.

Quadro 1. Funções das tolerâncias aplicadas ao projeto de produto



Fonte: Baseado em Wandeck e Sousa (2008)

Henzold (2006) reforça que é impossível fabricar peças sem desvios dos valores nominais expressos nos desenhos, as peças geralmente apresentam variação de tamanho, forma, orientação e localização. Quando esses desvios são muito grandes, a funcionalidade da peça pode ser prejudicada. A utilização de tolerâncias apertadas, durante as tentativas de fabricação da peça, deve ser estabelecida para manter tais desvios tão pequenos quanto possível, de modo a evitar o comprometimento da função. Mas isto, em geral, faz com que a produção se torne muito dispendiosa e o produto com custo final mais elevado. Num contexto generalizado, a concorrência força o uso de todas as possibilidades de produção econômica, incluindo possibilidades decorrentes de progressos e tecnologias atuais. Diante disso, é imperativo que as tolerâncias expressas no detalhamento técnico definam completamente a peça, isto é, definam cada propriedade (tamanho, forma, orientação e localização) e devem prever limites de variação compatíveis com a

capabilidade do processo sem prejudicar os requisitos funcionais. Só então o fabricante é capaz de escolher o método de produção mais econômico, por exemplo, dependendo do número de peças a serem produzidas em consonância com os métodos de produção disponíveis. Desenhos com tolerâncias mal definidas podem resultar em:

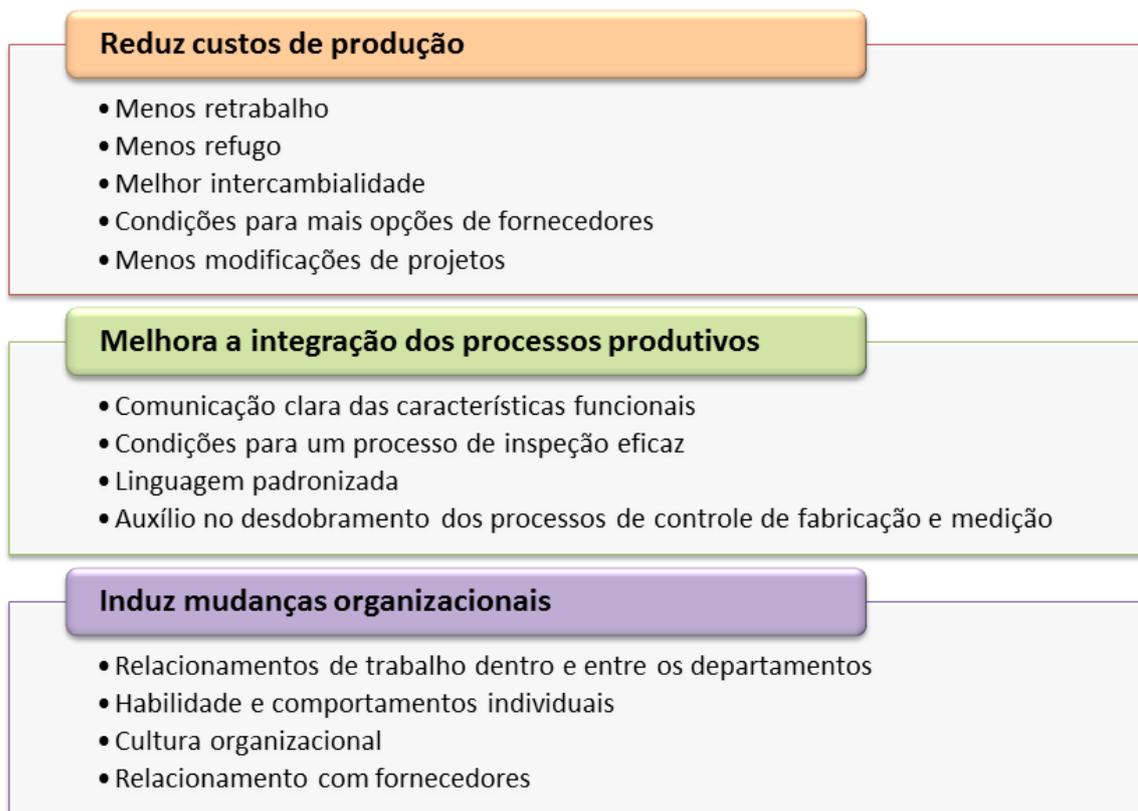
- Dúvidas no planejamento da produção;
- Interpretações equivocadas pela engenharia de produto;
- Dificuldade de inspeção;
- Retrabalho – defeitos e danos.

Reforçado pela literatura vigente, ratifica-se que o GD&T é um forte aliado no estabelecimento das tolerâncias dimensionais e geométricas do produto. Trata-se de um princípio para determinação destas tolerâncias em projetos, expressas por uma linguagem gráfica de engenharia, baseada em simbologias universais de padrão internacional, considerando os aspectos funcionais das peças ao contato de suas interfaces e à montagem de seus elementos. Tem o objetivo de garantir uma interpretação do projeto de produto sem ambiguidade, além de estabelecer um detalhamento técnico por intermédio de representações gráficas em desenhos de engenharia. Também deve ser entendida como uma filosofia de projeto, cujo requisito funcional da peça define a forma de especificação dimensional das informações referentes à forma, ao tamanho e à posição das peças, além do valor da tolerância de fabricação para cada dimensão. As tolerâncias estabelecidas refletem a quantidade de variação permitida para que os requisitos dos clientes sejam garantidos (CERTI, 2012; FOSTER, 1994).

É sabido que o GD&T expressa o desdobramento dos requisitos funcionais do produto estabelecidos no projeto, uma vez que o sistema típico cartesiano não reflete completamente estes requisitos a partir do projeto do produto. Ao interpretar um desenho baseado em GD&T, para organizar e definir a especificação de forma e posição geométrica do produto é mandatório entender boa parte das necessidades das aplicações funcionais do produto. (STRAFACCI, 2009).

O quadro 2 apresenta um panorama que justifica o emprego do GD&T como fator de agregação de valor ao produto.

Quadro 2. Vantagens do emprego de GD&T



Fonte: próprio autor

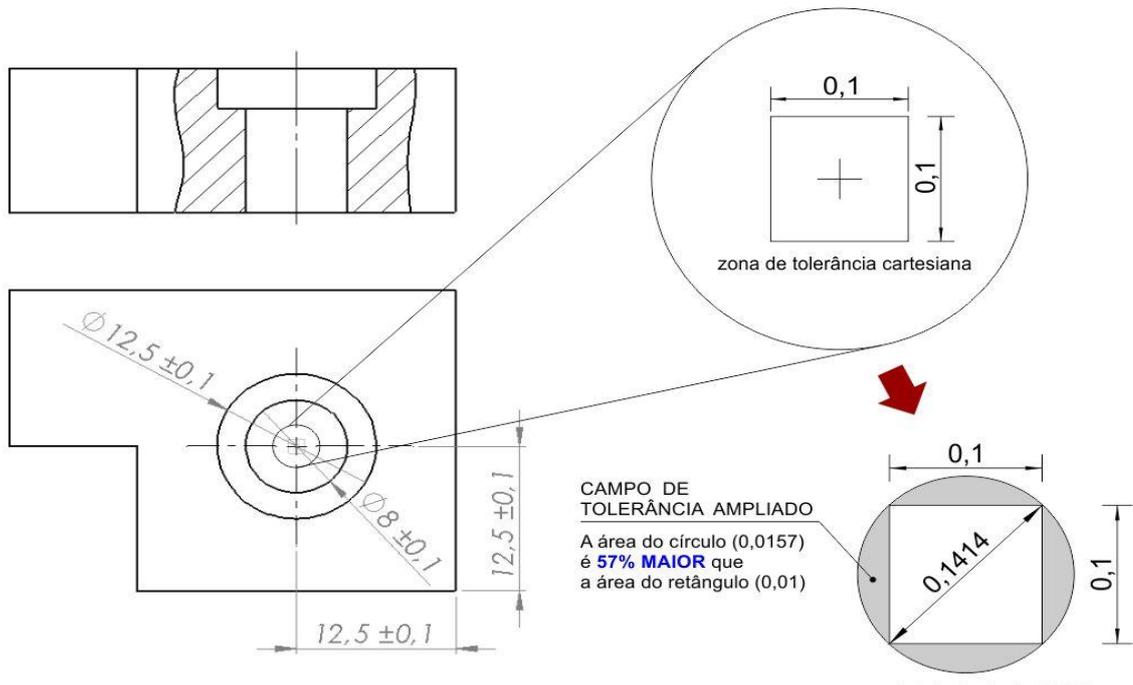
Para Drake (1999), esta forma de representação (GD&T) é uma poderosa ferramenta para a engenharia de produto, auxiliando designers, engenheiros, projetistas, técnicos, processistas e metrologistas na interpretação correta das definições de forma, orientação, posição e batimento de uma peça. Ratifica-se, também, que esta linguagem gráfica universalmente aceita, respaldada por normas nacionais e internacionais, melhora a comunicação, design de produto e qualidade do projeto. Assim sendo, a especificação dimensional e geométrica com GD&T é aceita como a linguagem da gestão dimensional e deve ser entendida por todos os membros da equipe de especificação dimensional. Além de garantir a montagem e intercambialidade dos componentes, apresenta mais algumas vantagens:

- Elimina ambiguidade utilizando aplicação de símbolos e sintaxe universalmente aceitos;
- Utiliza referencial e sistemas de referências para definir os requisitos dimensionais com relação às interfaces de peças;
- Especifica dimensões e tolerâncias relacionadas com base na funcionalidade da peça;
- Expressa requisitos de tolerância dimensional usando métodos que diminuem o acúmulo de tolerância;
- Fornece informação que pode ser utilizada para controlar as interfaces de ferramentas e de montagem.

Por conta disso, relativo ao controle de aspectos geométricos e dimensionais do produto sem comprometimento da função, a aplicação do sistema cartesiano, tipo de cotação que determina apenas tolerâncias dimensionais, propicia uma reprovação de peças boas. O GD&T, por sua vez, além de proporcionar os recursos necessários para que o projeto possa informar as características dimensionais e geométricas dentro do PDP, leva em consideração os processos de fabricação, o controle dimensional e a montagem, estabelecendo-se como uma linguagem única para determinar a variação dimensional do produto (SOUSA, 2003).

No sistema cartesiano, a tolerância de posição de um furo é delimitada por um retângulo. No exemplo da figura 2, considerando a zona de tolerância cartesiana, para uma peça estar aprovada, deve ter o centro do furo posicionado dentro de um quadrado de $0,1 \times 0,1 \text{ mm}$, sendo que o centro da zona de tolerância deve estar a $12,5 \pm 0,1 \text{ mm}$ da lateral direita e a $12,5 \pm 0,1 \text{ mm}$ da face inferior da peça, cujo diâmetro do furo deverá estar entre 7,9 e 8,1mm. De acordo com normas internacionais, o desenho de uma peça com aplicação de GD&T permite um alargamento da zona de tolerância, como mostra a figura 2, e um aumento significativo dos desvios (57%) sem comprometimento da função, onde a posição de um furo não é especificada por uma área quadrada e sim por um círculo cujo diâmetro é igual à diagonal do quadrado da zona especificado pelo sistema cartesiano. Com isso, possibilita-se uma redução no custo de fabricação e no número de peças rejeitadas, além da garantia de intercambialidade.

Figura 2. Zona de tolerância cartesiana x zona de tolerância do GD&T



Fonte: próprio autor

O quadro 3 apresenta um paralelo entre o dimensionamento utilizando o sistema cartesiano e utilizando a linguagem GD&T.

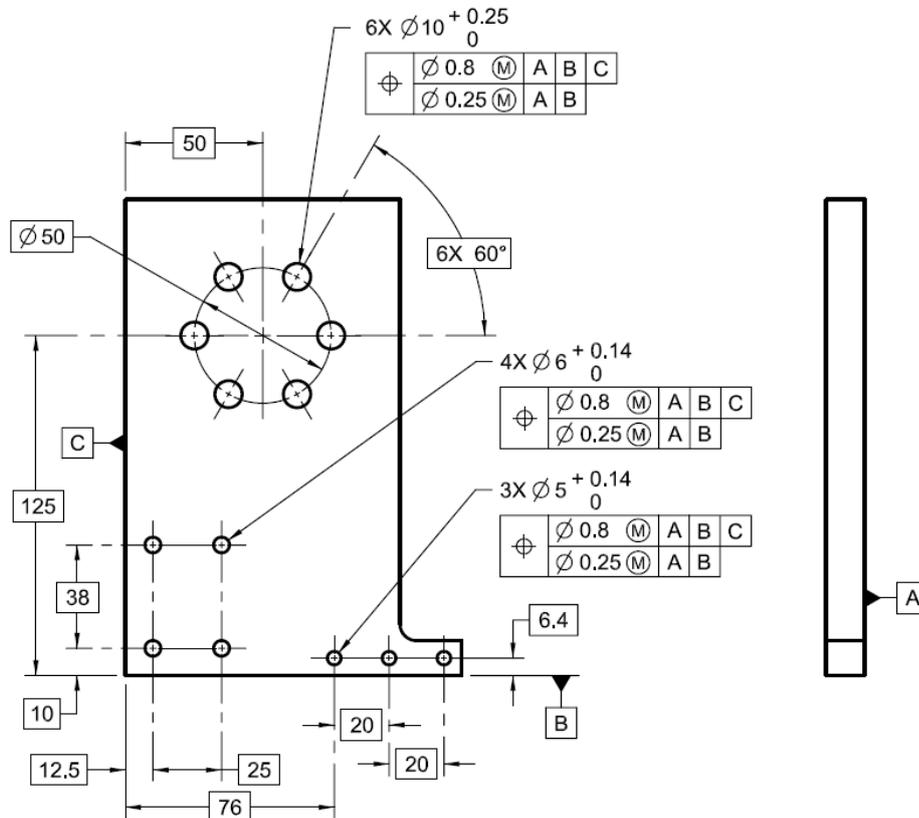
Quadro 3. Comparativo entre o sistema cartesiano e a linguagem GD&T

PROCEDIMENTOS DE COTAÇÃO DIMENSIONAL E GEOMÉTRICA	
SISTEMA CARTESIANO	LINGUAGEM GD&T
Diversas alternativas de interpretação do desenho	Não deixa margem para ambiguidades no desenho
Tolerâncias dimensionais especificadas separadamente das geométricas	Amarra as tolerâncias dimensionais com as de forma e posição
Zona de tolerância quadrada	Zona de tolerância cilíndrica
Reprovação de peças cujos centros dos elementos se localizavam na zona fora do círculo	Maior aprovação de peças devido à área do círculo que é 57% maior
Peças consideradas fora da especificação eram ainda funcionais	Uso de tolerâncias mais abertas de forma e posição que possam ser aceitas
Aumento dos custos de produção pela reprovação de peças "boas"	Ganhos significativos na fabricação

Fonte: próprio autor

Um exemplo de desenho técnico com aplicação de GD&T é apresentado na figura 3, onde constam cotas de tolerâncias dimensionais e especificação de tolerâncias geométricas de posição.

Figura 3. Exemplo de desenho técnico com linguagem GD&T



Fonte: ASME (2009)

Para a leitura de um desenho com aplicação de GD&T é exigível que as aplicações funcionais do produto sejam interpretadas sem ambiguidades. A escolha da tolerância aplicada a um produto depende de três critérios: a finalidade da peça, pois interfere no seu desempenho; o método de produção, que determina a tolerância permitida; e o custo de produção, que aumenta a depender da exigência de maior precisão. A principal condição para a garantia da intercambialidade, funcionalidade, segurança e estética de um produto é a definição de uma geometria adequada às variações permitidas, ou seja, adequada à especificação das tolerâncias. Estas, por sua vez, quando mal definidas, perdem em desempenho e possibilitam aumento nos custos de desenvolvimento e produção. Ratifica-se que a especificação das tolerâncias exerce um papel decisivo para o sucesso do produto e

para a redução dos custos de produção. (STRAFACCI, 2009; LOSEKANN e FERROLI, 2006; WANDECK e SOUSA, 2008).

Quando todas as tolerâncias, necessárias para definir a peça completamente, são indicadas individualmente, o desenho torna-se sobrecarregado por indicações e torna-se difícil de interpretar. A aplicação do GD&T, considerando peça e contra peça, é uma forma de elucidar a interpretação do desenho. Com a globalização e a competitividade cada vez mais acirrada, é mandatório que as empresas sigam e se apropriem de procedimentos internacionais e padronizados (HENZOLD, 2006; WANDECK e SOUSA, 2008).

O GD&T também é regido por um conjunto de normas elaborado por instituições de reconhecimento mundial, dentre elas a ISO (*International Organization for Standardization*) e a ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Segundo Strafacci (2009), preferencialmente esta última, tem boa aceitabilidade mundial devido à ênfase na obtenção do produto, definição matemática e tradução para vários idiomas. Aqui no Brasil, a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é responsável pela elaboração de normas referentes ao controle dimensional e geométrico de peças. A seguir, estão identificadas organizações padronizadoras, responsáveis pela elaboração e atualização, correlacionadas com as respectivas normas que trazem explicações sobre GD&T. Mais informações sobre as normas, consultar as referências deste trabalho.

- **ASME – American Society of Mechanical Engineers**

As normas americanas da ASME revestem-se de considerável importância no âmbito internacional, em especial a ASME Y14.5-2009 – *Geometric Dimensioning and Tolerancing*, referente ao GD&T.

- **ISO – International Organization for Standardization**

Existem mais de 40 normas ISO que descrevem minuciosamente os diferentes símbolos e regras aplicáveis ao GD&T, dentre elas a ISO/TC 10 – *Technical Product Documentation*, ISO/TC 213 – *Dimensional and Geometrical Product Specifications and Verification* e ISO 10303-1 – *Industrial Automation Systems and Integration*.

- **ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas**

A norma brasileira – NBR 6409 (1997) foi elaborada pela ABNT para definição da simbologia referente às características toleradas de peças e produtos, como mostra o quadro 4.

Quadro 4. Simbologia para características toleradas segundo NBR 6409:1997

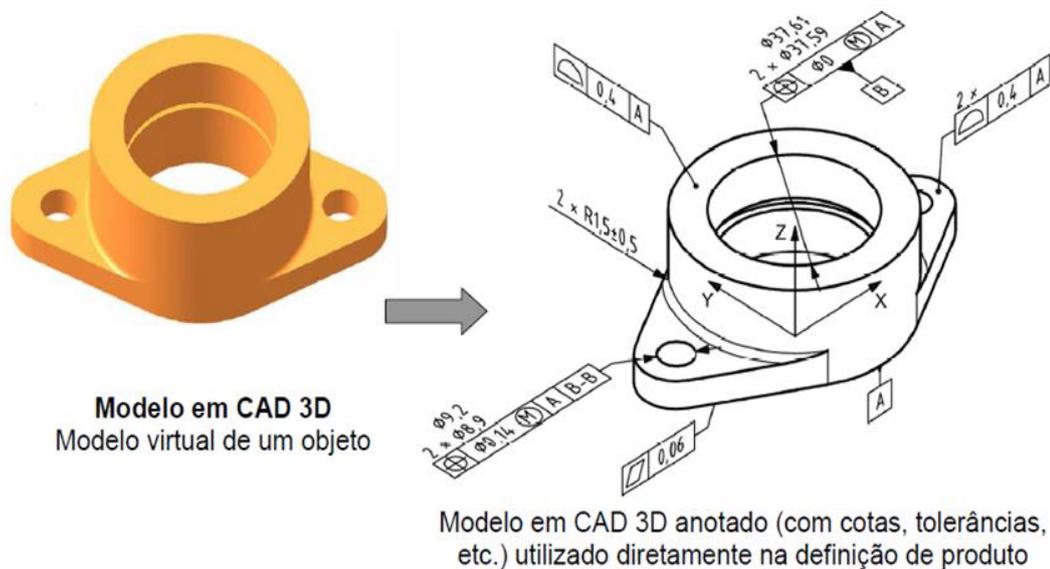
CARACTERÍSTICA TOLERADA		SÍMBOLO	
Para elementos isolados 	FORMA	Retitude	—
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
		Perfil de linha qualquer	
		Perfil de superfície qualquer	
Para elementos isolados ou associados Para elementos associados	ORIENTAÇÃO	Paralelismo	//
		Perpendicularidade	
		Inclinação	
	POSIÇÃO	Posição	
		Concentricidade	
		Coaxialidade	
		Simetria	
	BATIMENTO	Circular	
		Total	

Fonte: ABNT (1997)

Impulsionado pelas indústrias automobilística e aeroespacial, já foram disponibilizados procedimentos que permitem inscrever dimensões, tolerâncias e anotações em modelos geométricos tridimensionais (3D) nos projetos de engenharia. Em sistemas de produção integrados, os desenhos de detalhamento bidimensional (2D) podem ser eliminados, uma vez que para fundamentar esta tendência, a ASME publicou em 2003 a norma ASME Y14.41 – *Digital Product Definition Data Practices*, servindo de referência para a posterior norma ISO 16972:2006 (mesmo título) cujo objetivo é especificar os requisitos necessários à preparação, vistoria e apresentação de informações para o estabelecimento digital de produtos, e também, o emprego destes dados em modelos gerados em 3D como referência para os processo de fabricação e inspeção de produtos. Com a

popularização de softwares de projeto tridimensionais (3D), ao eliminar a necessidade de geração de desenhos com detalhamento bidimensionais, os custos de desenvolvimento do produto e os atrasos poderão ser reduzidos, melhorando e acelerando o ciclo de entrega do produto. No sentido de ampliar as possibilidades e potencializar a capacidade de especificação dos produtos num ambiente de engenharia, a utilização de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) é um diferencial importante dentro do PDP (Almacinha, 2013; Zilio *et al*, 2014). A figura 4 ilustra um modelo CAD 3D com a inserção dos requisitos de forma e posição tolerados numa peça em conformidade com as especificações.

Figura 4. Definição de um produto acabado - modelo em CAD 3D



Fonte: adaptado de ISO 16972 (2006)

2.1.1 Dificuldade da aplicação GD&T em projeto de produtos

Há tempos, a indústria admitia que erros dimensionais só fossem percebidos durante a fabricação do produto. Consequentemente alterações no projeto já na produção eram inevitáveis, o que ocasionava atrasos e custos elevados. Atualmente, apesar de ainda considerar os problemas com a obtenção das tolerâncias dimensionais adequadas, para a indústria, é nítida a preocupação em gerenciar o desenvolvimento do projeto de produto orientado à montagem e à fabricação, para garantir a funcionalidade requerida a custos menores. No Brasil, a aplicação e interpretação de projetos com GD&T são abordadas de maneira

insuficiente, superficial e repleta de erros conceituais em cursos técnicos e de engenharia. Uma maneira de suprir essa carência é a qualificação em cursos específicos de curta duração, presenciais e à distância, na tentativa de suprir a deficiência dos cursos de formação regulares (Sousa e Wandeck, 2004; 2009).

De acordo com o que desdobra Zilio *et al* (2014), apesar dos softwares de engenharia facilitarem as tarefas cotidianas dos projetistas com o uso de funções e barras de ferramentas na interpretação e solução dos problemas de projeto, os desenhos são cada vez mais complexos e com inúmeras especificações agregadas. A existência de muitas variáveis torna a quantidade de especificações relativamente elevada, sendo que tal condição não necessariamente culmina em um projeto claro e consistente e que “podem sem dúvida apresentarem-se como possíveis complicadores na manufatura de determinado produto”. Sinaliza também, a dificuldade de manter as especificações geradas pelas áreas de engenharia ao longo do processo, para que as mesmas supram as funções estabelecidas no projeto.

Como sinaliza Sousa e Wandeck (2009):

[...] No Brasil percebem-se deficiências no entendimento e correta aplicação do GD&T em departamentos de engenharia e em salas de metrologia. O conhecimento superficial das normas de especificação geométrica de produtos e a pouca experiência na extrapolação desses conhecimentos para a definição de boas práticas de medição estão dentre as principais deficiências encontradas.

Segundo Massarani (2001) os problemas de comunicação ocorrem pela necessidade de completar as informações no modelo mental da realidade, e os filtros individuais devem ser evitados, pois conduzem a interpretações diferentes de uma mesma realidade e força a mente a escolher o conjunto de informações que parece ser mais adequado. Em projeto de produto deve-se haver interpretação única e esta compreendida por toda a equipe.

Conforme Sousa e Wandeck (2009), a capacitação em GD&T de todo o pessoal envolvido no PDP é uma alternativa para reduzir problemas gerados pela interpretação equivocada da especificação dimensional, tais como:

- Erros no entendimento de referências e tolerâncias;
- Desconhecimento ou entendimento errado de recursos de cotação mais avançados;
- Dificuldade em analisar o desenho de forma crítica, identificando inconsistências de cotação;
- Definição de procedimentos de medição incompatíveis com referências e tolerâncias;
- Geração de resultados com nível de incerteza incompatível com a tolerância especificada.

Como ressalta Sousa *et al* (2004):

[...] a implantação da garantia da qualidade no projeto começa pelo aprendizado do GD&T, pois o aspecto fundamental para o sucesso de um projeto é a comunicação, por intermédio do GD&T, dos requisitos de engenharia. Neste sentido, o treinamento não só de projetistas, mas de todos os elos da cadeia produtiva afetados pela variação dimensional, incluindo aí parceiros e subcontratados, é um requisito fundamental para o sucesso na aplicação destas ferramentas.

Na aplicação de GD&T ao detalhamento dos componentes, do ponto de vista do mapeamento funcional do produto para estabelecer as tolerâncias necessárias para sua fabricação, faz-se necessário considerar regras e convenções aplicáveis ao projeto de produtos e estabelecer uma especificação preliminar para planejar o detalhamento dos componentes. Em um contexto específico – projeto de produtos plásticos injetados, por exemplo, procura-se atingir uma simplificação máxima na concepção do produto. Esta compatibilização pode facilitar a viabilidade das etapas posteriores como o planejamento da fabricação dos componentes e possibilitar uma melhoria na qualidade final do produto. A seguir são apresentadas considerações aplicáveis ao projeto de peças plásticas moldadas por injeção.

2.2 Projeto de produtos plásticos moldados por injeção

A moldagem por injeção é um processo complexo em função do número de variáveis a considerar, que interferem na qualidade das peças injetadas. A obtenção dos componentes, processados por injeção plástica, é realizada a partir da extração do produto de um sistema mecânico complexo e multicomponente: o molde de injeção. Este conjunto é derivado do projeto do produto que, por consequência das variações de processo para sua confecção, acaba comprometendo os requisitos de produto estabelecidos pela equipe de engenharia. É cada vez mais frequente o uso de termoplásticos no processo de fabricação em configurações estéticas mais complexas, pois facilita a adequação morfológica. Desta forma, informações específicas sobre o material, processo de injeção e características de projeto de molde são relevantes para que o projeto de produto seja eficiente e atenda os parâmetros do mercado. É substancial que o projetista correlacione parâmetros específicos e adeque-os ao projeto de peças plásticas, atentando para as restrições de projeto. Para que este processo torne-se eficiente e eficaz, o produto deve ser configurado em consonância com a modelagem funcional estabelecida pela engenharia e os parâmetros técnicos de fabricação dos moldes (ROTONDARO *et al*, 2010; HARADA, 2004; SANTOS, 2012).

Referente às considerações aplicáveis ao projeto de produto, Manrich (2005) sinaliza que o peso do produto é bastante relevante, pois pode interferir tanto nos custos como na praticidade de utilização. É recomendável, portanto, que a espessura das paredes de peças plásticas não ultrapasse quatro milímetros. Para aumentar a resistência mecânica e diminuir o nível de empenamento do produto, a utilização de nervuras é uma alternativa propícia para esta finalidade. A mudança brusca de espessura deve ser evitada, pois pode provocar diferença no resfriamento da peça e conseqüentemente empenamento dela. O sentido do fluxo deve correr preferencialmente da região mais grossa para a região mais fina da peça. As nervuras devem ser menos espessas que a parede principal da peça, evitando assim, a formação de área com grande volume de massa. Para projetar componentes plásticos, é imprescindível adequar a geometria do produto a características inerentes ao material plástico injetado. Num segundo momento, o projeto da peça plástica vai originar o projeto e fabricação de moldes e são esses

moldes que vão para a cadeia de injeção. A equipe de fabricação do molde tende a priorizar a viabilidade de fabricação. Nesse momento, há uma desconexão e uma diferença de prioridades entre a peça plástica produzida e o que foi estabelecido no projeto para atender aos requisitos do produto.

As tolerâncias aplicadas a peças plásticas, além de garantir o desempenho funcional, devem estender-se a uma série de fatores em consonância com a moldagem, apontados na figura 5, destacando-se três deles: a) variações de contração, indicados pelos fabricantes do material; b) ângulo de saída do molde, avaliando a conicidade na ferramenta para facilitar a extração da moldagem e, c) as tolerâncias do ferramental, que devem prever o sobremetal, permitindo ajustes necessários. (GLANVILL e DENTON, 1989; HARADA, 2004).

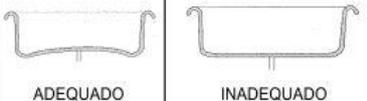
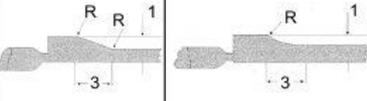
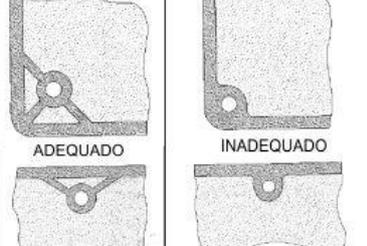
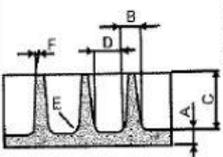
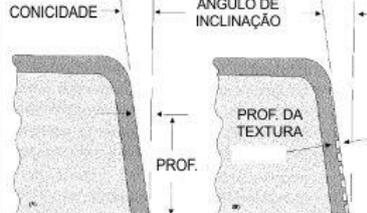
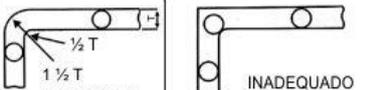
Figura 5. Fatores considerados no projeto de peças injetadas



Fonte: baseado em Harada (2004)

No quadro 5 a seguir, são apresentados elementos estruturais aplicados a peças plásticas, orientações ao projeto de produto segundo profissionais especialistas da área, que devem ser considerados na análise preliminar do produto.

Quadro 5. Orientações ao projeto de produtos plásticos por especialistas da área

ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ORIENTAÇÕES AO PROJETO DE PRODUTO	
BASES	Definir a mesma espessura de parede do ponto de injeção até as laterais. O desenho ondulado minimiza as tensões internas das bases.	
LATERAIS	Manter espessura uniforme em paredes planas. Em caso de mudança de espessura recomenda-se suavizar a transição, evitando mudanças bruscas no fluxo do termoplástico fundido	
BORDAS	Inseridas na parte superior das peças, contribuem para aumentar a resistência mecânica neste ponto. Suas espessuras não devem exceder as espessuras das laterais da peça.	
ORIFÍCIOS OLHAIS CASTELOS	Facilitam montagem mecânica de duas ou mais superfícies. Não devem ser projetados encostados às paredes e sim afastados, pois o acúmulo de material provocará tensões internas e deformações que, no momento da introdução de parafusos podem quebrar-se; não devem ser projetadas sobre superfícies grossas, pois no ponto de contato pode ocorrer chupagem.	
NERVURAS	Contribuem para melhorar a capacidade de sustentação de carga nas peças, construídas perpendicular às paredes. Permite reduzir a espessura de uma parede suportando a mesma carga que suportaria uma parede mais grossa.	 <p style="font-size: small;"> A = Espessura da parede B = 0,5 A C = 3 x B ou mais D = 2 x B E = 0,10 a 0,15 mm F = 2° a 2,5° </p>
CONICIDADE (ÂNGULOS DE SAÍDA)	Facilita a extração do molde, e determinada em função da altura da peça e do ângulo de inclinação. De acordo com SENAI (2004), ângulos de inclinação entre 0,5° e 2° apresentam bons resultados. Peças com paredes texturizadas, o ângulo de inclinação deverá ter 1° a mais para cada 0,025 mm de profundidade da textura.	
FUROS	Devem ser posicionados a uma distância mínima de nervuras equivalente à metade ou pelo menos um terço do seu diâmetro	
CANTOS VIVOS	Acarretam maior custo na confecção dos moldes, a inserção de raios de arredondamento é uma solução que deve ser considerada	
CURVAS	Eliminam concentrações de tensões e ajudam a eliminar peças «torcidas»	
PONTOS DE INJEÇÃO	Não localizar os pontos de injeção, nem deixar linhas de emenda em zonas altamente solicitadas. Evitar ou minimizar as linhas de emenda. Evitar o aprisionamento de ar, prevendo saídas de gases adequadas	

Fonte: SENAI (1998); Manrich (2005); Harada (2004); Glanvill e Denton (1989)

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Nesse capítulo, é apresentada a proposta metodológica que tem por base pesquisa quali-quantitativa sobre os problemas referentes à compreensão das especificações dimensionais do produto, envolvendo o fluxo de informações entre equipes diversas no processo de desenvolvimento. Foram apresentados os instrumentos para coleta de dados utilizados cujos resultados foram subsídios para a construção do método. Foi realizada análise documental de projetos de gabinetes plásticos e mapeadas algumas causas de retrabalho e falhas na sinalização de áreas críticas dos produtos estudados, cujo não atendimento compromete a função, montagem e qualidade desejada.

3.1 Tipo de pesquisa

Do ponto de vista de sua natureza, esta é uma pesquisa aplicada. Como descrevem Silva e Menezes (2001): “a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

3.2 Instrumentos para coleta de dados

Para entendimento do PDP dentre os pesquisados, os instrumentos escolhidos foram o questionário estruturado e a análise documental. O objetivo foi levantar informações, identificar problemas relacionados ao atendimento da especificação dimensional do produto, bem como analisar as atividades referentes ao desdobramento sistemático dos projetos do componente, em etapas subsequentes e a devida correlação das informações de projeto repassadas a outras equipes (projeto e fabricação do molde, fabricação do produto, por exemplo) envolvidas no processo de desenvolvimento.

3.2.1 *Questionário estruturado*

Primeiramente, foi utilizado um questionário – ver apêndice A, direcionado a ferramentarias, escritórios de projetos, empresas fabricantes de produtos plásticos e

especialistas do segmento. O questionário foi composto por questões mistas (objetivas, abertas e de múltipla escolha), possibilitando ao respondente liberdade de resposta.

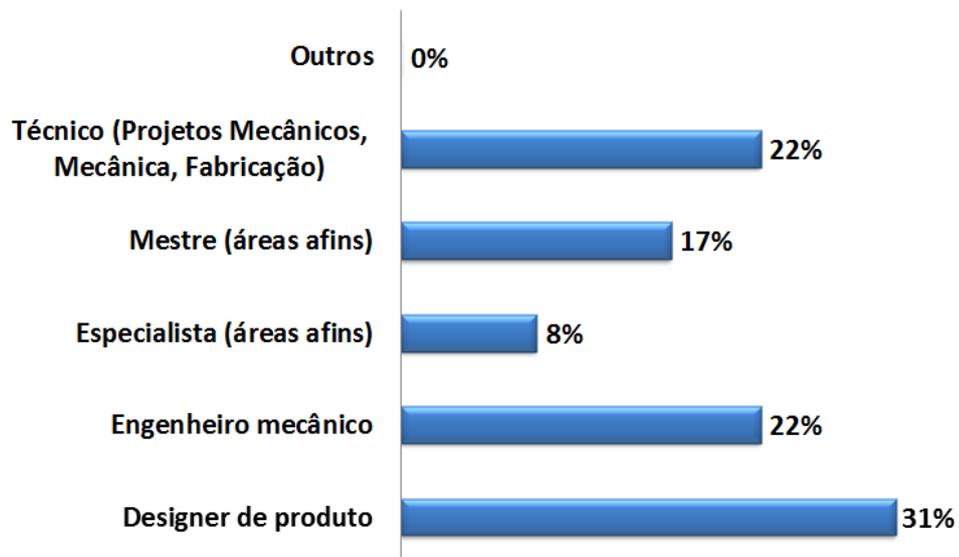
A partir dos resultados obtidos, foi possível compreender o cenário do desenvolvimento do projeto de peças plásticas das empresas pesquisadas.

O questionário teve por objetivo:

- a) Conhecer o gerenciamento e o fluxo das informações do processo de desenvolvimento de produtos plásticos injetados dos pesquisados;
- b) Identificar as falhas de comunicação entre equipes de projeto e fabricação do produto, referentes à gestão das informações sobre características dimensionais e geométricas, que exigem especificação mais criteriosa para atendimento à função e montagem dos produtos;
- c) Verificar se o GD&T foi utilizado na especificação dimensional do produto;
- d) Verificar se as especificações de projeto do produto foram compreendidas, priorizadas e atendidas ao final do ciclo de desenvolvimento, e se houve retrabalho ocasionado pela dificuldade de interpretação do projeto de produto.

O questionário foi encaminhado a 120 profissionais, dentre eles, colaboradores de empresas nacionais e internacionais, que possuem unidades filiadas nas imediações de Salvador e Região Metropolitana da capital baiana. Do universo pesquisado, foi obtida uma taxa de retorno de 30%, cujas respostas constam nos apêndices deste trabalho. Pelos dados apresentados, observou-se que o PDP é permeado por profissionais com habilidades, características e competências multifuncionais, com formação específica em design, engenharia e formação técnica, conforme demonstra o gráfico 2.

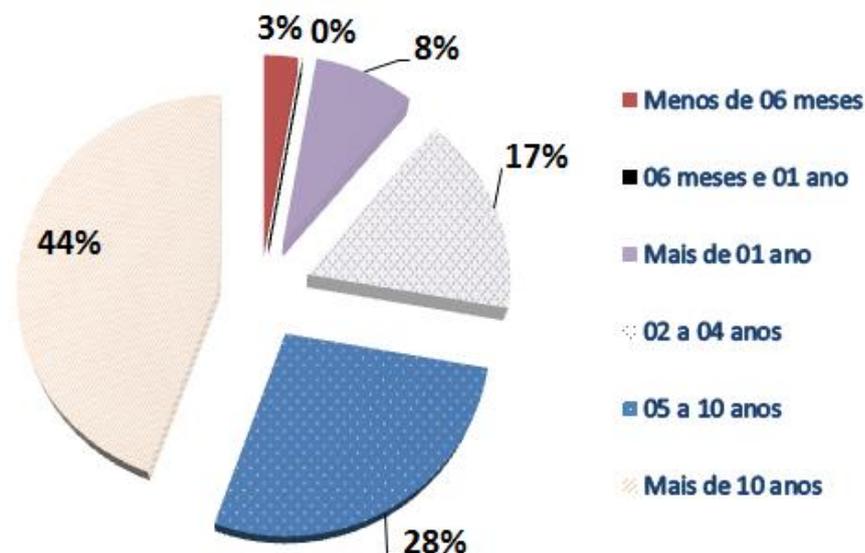
Gráfico 2. Formação profissional dos entrevistados



Fonte: próprio autor

Os dados revelaram que os times envolvidos no desenvolvimento de produtos englobam, na maioria, um universo de profissionais que possuem experiência de mais de dez anos, como ilustra o gráfico 3.

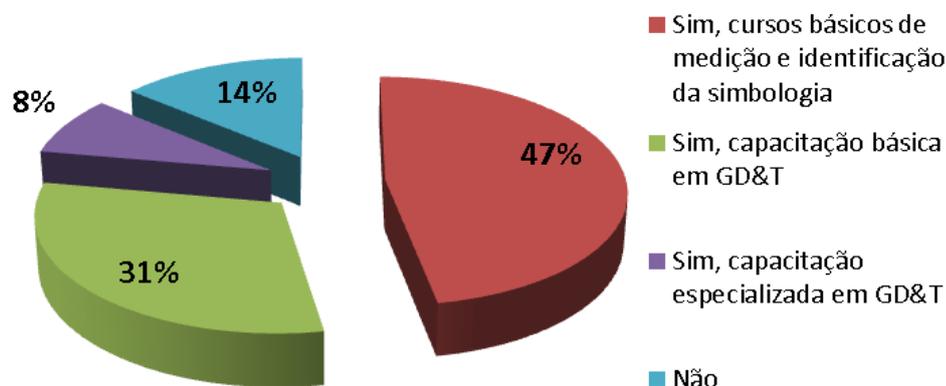
Gráfico 3. Tempo de experiência com desenvolvimento de produtos



Fonte: próprio autor

Quanto à capacitação em especificação dimensional e geométrica do produto, a pesquisa aponta que a maioria dos respondentes tem formação básica em metrologia, seguidos dos que tem conhecimento elementar em GD&T, conforme ilustrado pelo gráfico 4.

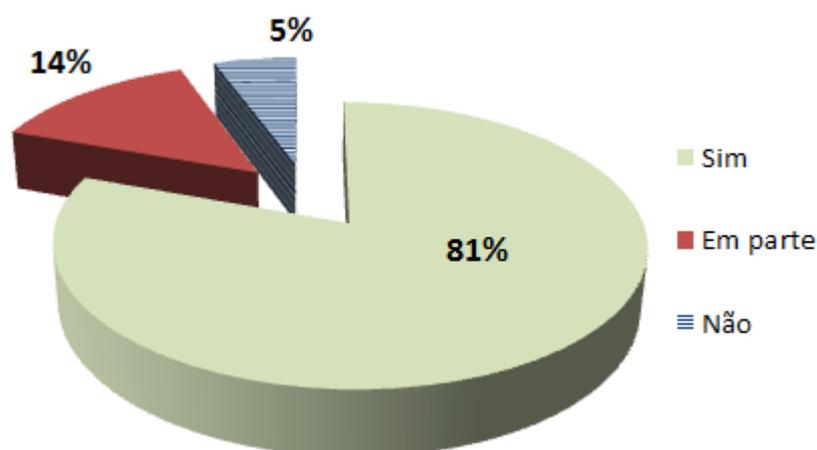
Gráfico 4. Capacitação em cursos de metrologia e especificação dimensional



Fonte: próprio autor

Os dados indicam ainda que, dentre os pesquisados, é predominante a concentração e execução das etapas do desenvolvimento de produto (desde o escopo até a fabricação da peça piloto) na mesma empresa como ilustra o gráfico 5.

Gráfico 5. Percentual de etapas do PDP gerenciadas e executadas na mesma empresa

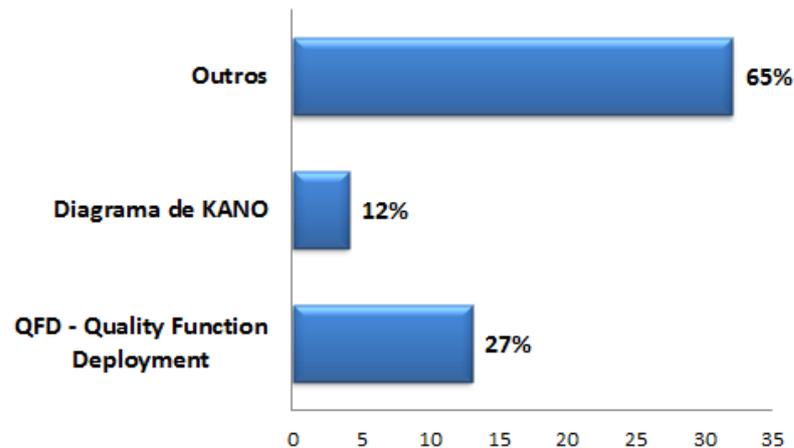


Fonte: próprio autor

Na pesquisa, para traduzir as necessidades do cliente em requisitos de produto, além da análise paramétrica e pesquisa de similares, duas ferramentas foram citadas: o QFD e o diagrama de Kano. De acordo com Miguel (2008), o QFD (*Quality Function Deployment*) é uma ferramenta de planejamento e gestão da qualidade para conhecer as necessidades, expectativas e anseios dos clientes e garantir que estes dirijam o processo de projeto e produção de um produto. Rozenfeld *et al* (2006) descrevem o diagrama de Kano como uma ferramenta para determinar o grau de satisfação do cliente em relação ao desempenho de um determinado requisito do produto. Considerando o aspecto do uso de ferramentas de

apoio ao projeto, para captar as solicitações dos clientes e transformá-las em requisitos de produto, observou-se que existe uma utilização predominante (65%) de outros tipos de recursos e ferramentas, cujos mais citados foram a análise paramétrica e a análise de similares. Na pesquisa, o QFD tem utilização considerável, representando 27% de aplicação nos projetos dentre os pesquisados, seguido do diagrama de Kano com 12%, conforme ilustra o gráfico 6.

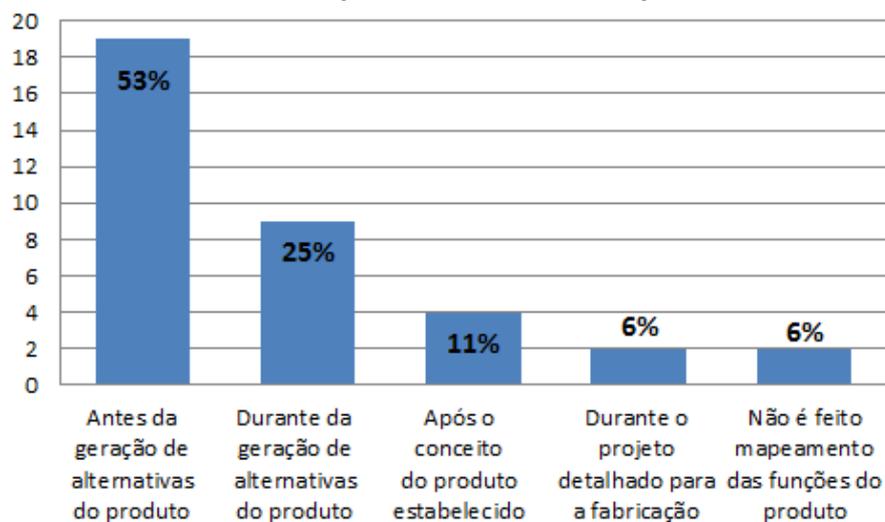
Gráfico 6. Ferramentas utilizadas para traduzir os requisitos de produto



Fonte: próprio autor

De acordo com o gráfico 7, a pesquisa aponta que o mapeamento funcional é uma atividade importante dentro do PDP, e que a maioria dos entrevistados (53%) o executam antes da geração de alternativas ou configurações físicas do produto.

Gráfico 7. Mapeamento funcional do produto

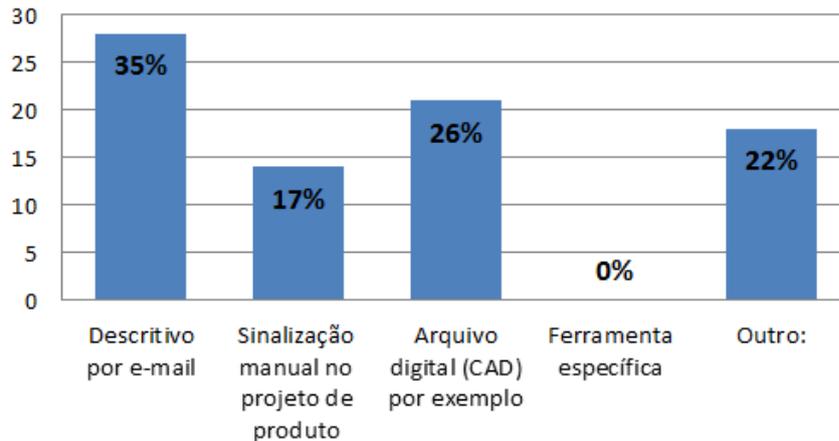


Fonte: próprio autor

Como instrumento ou forma de comunicação utilizada para sinalizar os pontos críticos entre as equipes participantes do desenvolvimento do produto, a maior parte

dos pesquisados (35%) fazem uso do e-mail, seguidos de 26% que utilizam o próprio arquivo CAD para registro dos pontos críticos, 22% usam outras formas não explicitadas, 17% fazem suas observações na própria documentação impressa. Nenhum dos pesquisados informou utilizar ferramenta específica para comunicar os pontos críticos, conforme apresenta o gráfico 8.

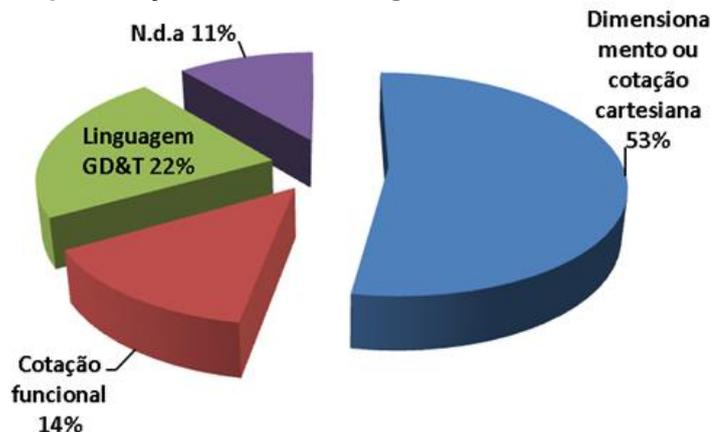
Gráfico 8. Formas de comunicação para sinalizar os pontos críticos do produto



Fonte: próprio autor

Ainda que a linguagem GD&T seja conhecida e aplicada em boa parte dos projetos, a cotação cartesiana é a forma de especificação dimensional com maior percentual de utilização dentre os pesquisados. O gráfico 9, a seguir, trata da especificação dimensional aplicada nos projetos de produto, cujos números mostram que o maior percentual (53%) utiliza cotação cartesiana, ao passo que um número relativamente menor (22%) usa a linguagem GD&T. A cotação funcional (tipo de cotação cartesiana que prioriza a função) é utilizada por 14% dos pesquisados e 11% disseram não utilizar nenhuma das especificações correlacionadas.

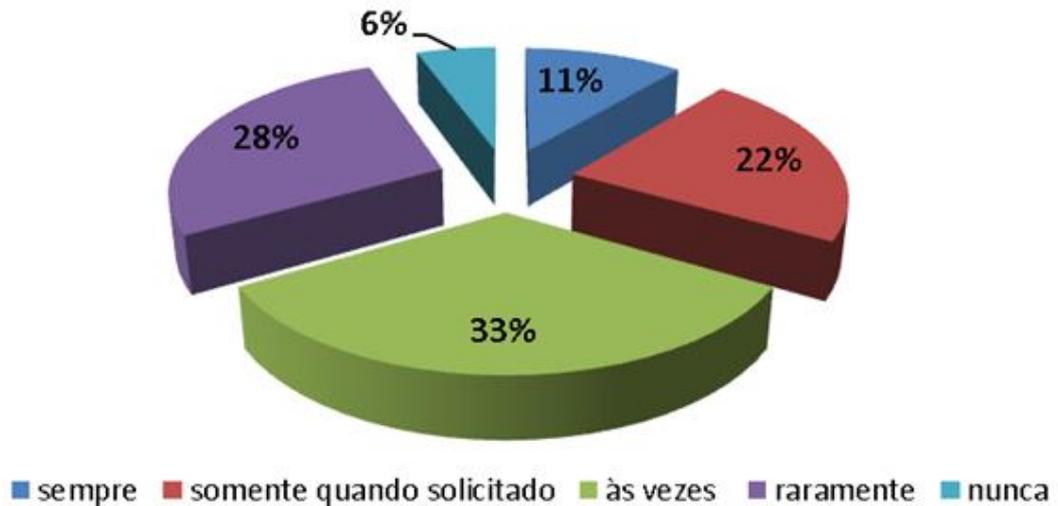
Gráfico 9. Especificação dimensional e geométrica adotados nos projetos



Fonte: próprio autor

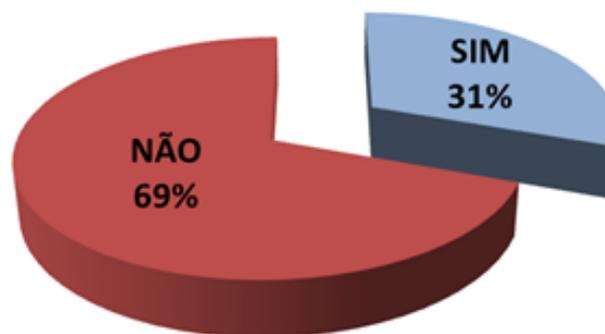
Referente à etapa de análise e revisão das tolerâncias dimensionais aplicadas ao projeto, como pode ser observado nos gráficos 10 e 11, a pesquisa apontou que somente 11% executam a revisão e análise da especificação dimensional. Os números apresentados indicam uma falta de gerenciamento das tolerâncias, o que pode convergir para problemas de atendimento aos requisitos do produto. A maioria (69%) dos pesquisados informou que as cotas críticas não são evidenciadas no projeto.

Gráfico 10. Frequência da atividade de revisão ou análise das tolerâncias



Fonte: próprio autor

Gráfico 11. Indicação de cotas críticas no projeto de produto

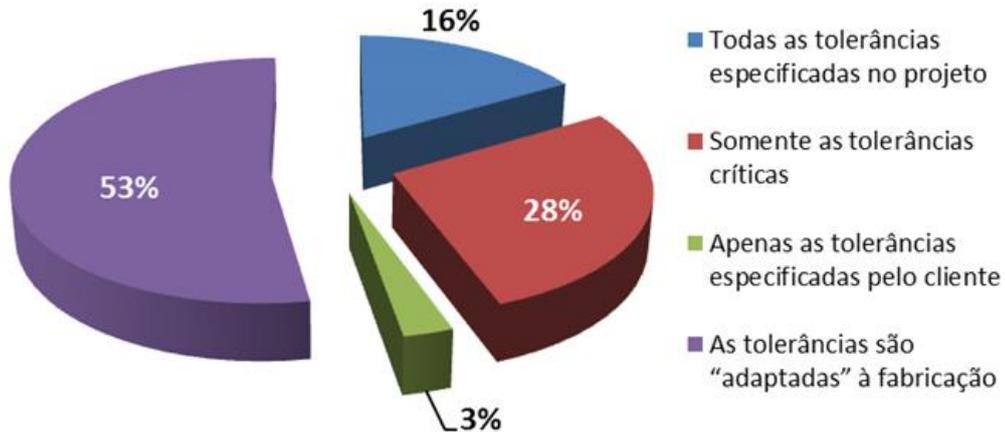


Fonte: próprio autor

No gráfico 12, os dados revelam que a maioria (53%) do público pesquisado faz adaptação das tolerâncias especificadas no projeto, visando à compatibilidade com os recursos e possibilidades de fabricação da empresa, 28% consideram somente as tolerâncias críticas do projeto, 16% fazem uma análise de todas as tolerâncias especificadas e apenas 3% analisam de acordo com as solicitações do

cliente. Isso evidencia que há uma preocupação com a análise das tolerâncias nos projetos desenvolvidos, no entanto, não foi relatado um “tratamento específico” para análise destas tolerâncias.

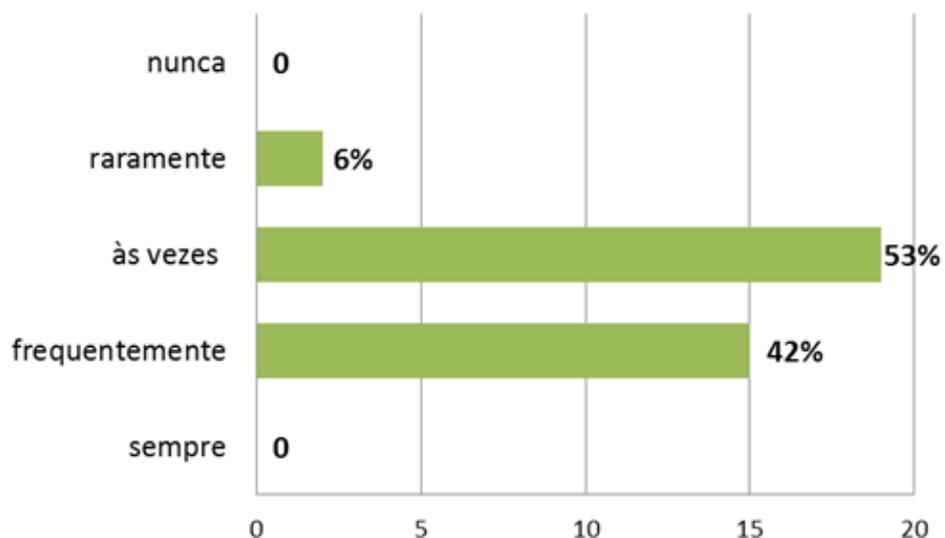
Gráfico 12. Tolerâncias analisadas no projeto de produto



Fonte: próprio autor

As modificações tardias do projeto foram apontadas com uma das possíveis causas para elevação nos custos e retrabalho. De acordo com o gráfico 13, a pesquisa evidencia que a maior parte dos pesquisados informou que ocasionalmente modificam o projeto numa fase em que o produto já está em produção. Ao mesmo passo que um número não tão distante (42%) afirma que são frequentes as modificações durante esta etapa do PDP. Somente 6% dos respondentes relataram que raramente isso acontece.

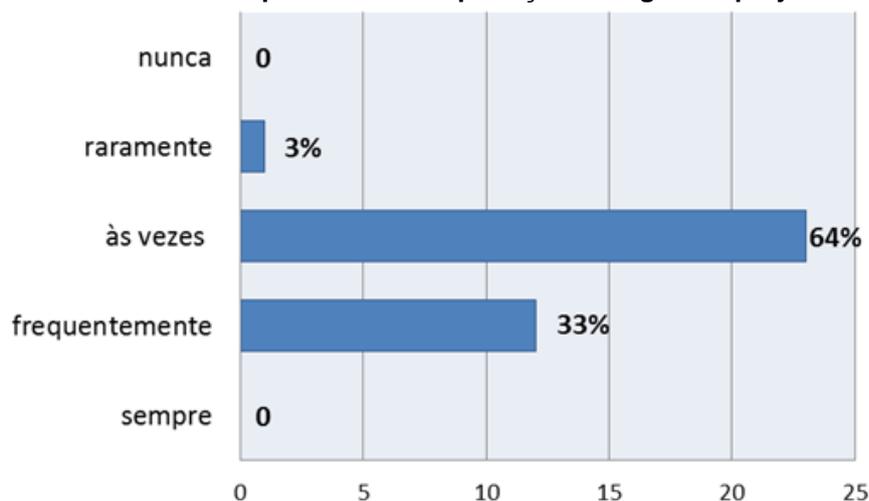
Gráfico 13. Frequência de modificações do projeto com o produto já em produção



Fonte: próprio autor

Quanto à frequência de interpretação equivocada do projeto, conforme é demonstrado no gráfico 14, os dados apontam que 55% dos entrevistados ocasionalmente tem dúvidas em relação à interpretação do projeto, outros 33% afirmaram que frequentemente isso acontece e apenas 3% relataram que raramente leem e interpretam com dúvidas o projeto de produto.

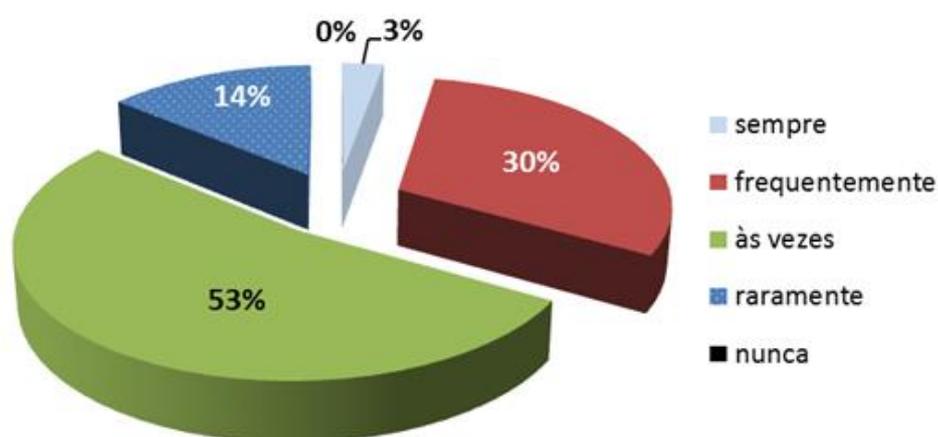
Gráfico 14. Frequência de interpretação ambígua do projeto



Fonte: próprio autor

Os dados revelados no gráfico 15 trazem uma preocupação quanto ao cumprimento dos prazos referentes às atividades de projeto. Os números indicam que a maioria dos entrevistados (53%) atendem aos prazos estipulados ocasionalmente, 30% afirmaram que frequentemente atendem aos prazos definidos, 14% raramente cumprem os prazos acordados e somente 3% sempre alcançam o tempo estipulado para o projeto.

Gráfico 15. Frequência de atendimento aos prazos acordados

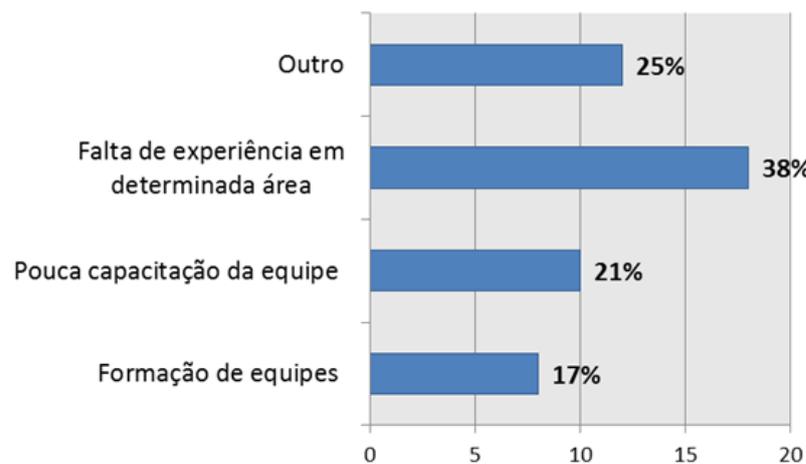


Fonte: próprio autor

De acordo com o gráfico 16, observou-se que os entrevistados declararam que a falta de experiência em determinada área (38%) é o que mais impacta no cumprimento dos prazos acordados, sendo apontadas também a formação da própria equipe envolvida no PDP (17%) e a pouca capacitação da equipe (21%). Além desses fatores, uma boa parte dos entrevistados (25%) responsabilizam outros fatores, quanto à entrega nos prazos estipulados, dentre eles:

- “Interferências do cliente”
- “Modificações no Projeto”
- “Mudança no escopo”
- “Mudanças por parte do cliente”
- “Falta de análise da gestão do desenvolvimento do produto com foco em projeto”
- “Burocracia e comunicação”
- “Solicitações extras, aprovações tardias do cliente”
- “Retorno e aprovações do cliente”
- “Retorno do cliente e de algumas áreas envolvidas no projeto”
- “Alteração de escopo após início de projeto”

Gráfico 16. Fatores que comprometem a entrega do produto nos prazos acordados



Fonte: próprio autor

Quanto ao percentual de retrabalhos envolvendo a etapa de desenvolvimento do produto, a maioria (89%) dos pesquisados afirmou que existe retrabalho. Vale salientar que, dentre o percentual de retrabalhos, os pesquisados relataram que as dúvidas na leitura e interpretação do projeto e alterações no produto foram os motivos mais frequentes, como pode ser constatado pelas afirmações dos mesmos, descritas a seguir:

- “Não adequação ao solicitado pelo cliente”
- “Alterações no escopo e especificações no decorrer do projeto”
- “Mudanças eventuais do produto”
- “Mudanças e adequações”
- “Eventuais modificações no projeto”
- “Falta de ferramenta eficiente de análise crítica da consistência e qualidade da informação”
- “Mudança de escopo”
- “Mudanças de escopo, correção de defeitos de fabricação, mudança de componentes”
- “Mudanças por parte do cliente, adequações da engenharia, refeitura do molde”
- “Mudanças ou má interpretação do escopo”
- “Dúvidas na leitura e interpretação”
- “Alterações formato e função do produto”
- “Alteração no produto”
- “Compatibilidade com a fabricação”
- “Modificações tardias, alterações do produto”
- “Modificações no projeto”
- “Melhorias”
- “Falta de metodologia e procedimentos, treinamentos aliados a capacitacao tecnica, profissional e comportamental”
- “Diversas”
- “Muitos problemas de comunicação, interpretação equivocada.”
- “Falta de comunicação inequívoca e unívoca”
- “Possivelmente, pela falta de procedimentos de verificação sistemáticos mais claros, objetivos e simples.”
- “Falta de cotas e de detalhamento.”
- “Alteração de escopo após início de projeto”
- “Falta de experiência e disciplina”
- “Solicitação do cliente, falhas detectadas no lote piloto”
- “Alinhamento entre Design e Engenharia”

3.2.2 *Análise documental*

A metodologia de pesquisa utilizada nesta etapa envolveu a análise do conteúdo de projetos de gabinetes plásticos moldados por injeção, disponibilizados por uma empresa desenvolvedora de produtos, que executa desde a concepção e projeto do produto à fabricação da “peça teste”, isto é, produto obtido pelo teste funcional ou ajuste do molde ao processo de injeção (*try out*). Para manter o sigilo

das informações, as imagens dos produtos analisados serão referenciadas por “empresa de projetos” (vide Apêndice B).

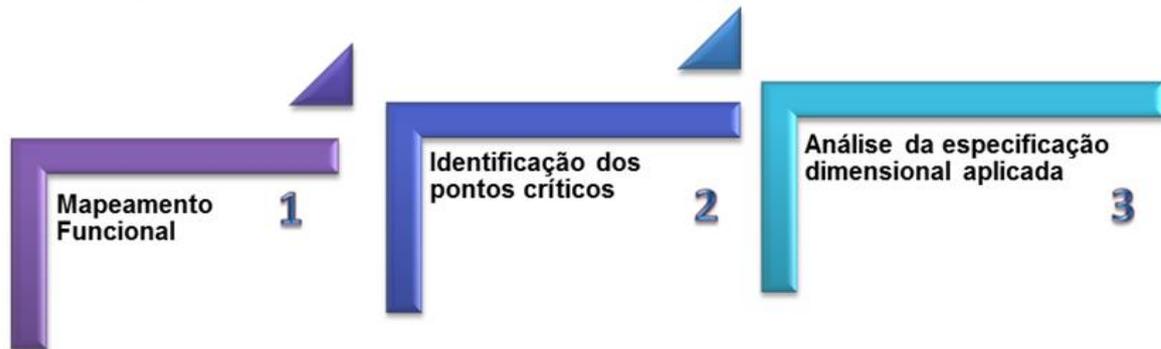
Foram selecionados dois projetos de produto de gabinetes plásticos injetados que constam nos anexos desta pesquisa:

- Projeto A (*nobreak*);
- Projeto B (estabilizador).

Como ratificado em capítulos anteriores, as características dos produtos, quando não sinalizadas pela engenharia de produto, podem ocasionar retrabalho e modificações tardias no projeto e fabricação do produto. De acordo com a documentação disponibilizada, os projetos iniciais dos produtos selecionados neste estudo foram criados e desenvolvidos por uma equipe encarregada do projeto conceitual, culminando em modelos tridimensionais simplificados, elaborados em softwares CAD. Em seguida, este modelo CAD foi repassado a uma segunda equipe encarregada de elaborar a engenharia do produto, inserir os elementos estruturais e analisar a viabilidade de fabricação. Posteriormente, o modelo tridimensional (arquivo CAD) foi encaminhado a uma terceira equipe, responsável pelo projeto de molde, dando continuidade a etapas posteriores de fabricação do molde e fabricação da peça piloto. Vale salientar que os arquivos CAD encaminhados às equipes (de projeto conceitual a engenharia de produto; da engenharia de produto a projeto do molde; do projeto do molde à de fabricação do molde) não acompanhavam informações detalhadas sobre as regiões críticas, ou seja, não foram explicitadas nem registradas, observações indicando o controle rigoroso para garantir o funcionamento e montagem do produto e que necessitavam de uma especificação dimensional mais cuidadosa, um acompanhamento e revisão dos requisitos dimensionais e geométricos planejados pela equipe que gerou a solução de projeto validado pela equipe de engenharia de produto. Considerando a continuidade do PDP por equipes e/ou empresas distintas, os projetos analisados possibilitaram diversas interpretações do detalhamento do produto, no qual as equipes podem priorizar a capacidade do processo em detrimento do que foi determinado como requisito crítico de produto.

A figura 6 apresenta a sequência de procedimentos para realização da análise documental dos projetos de produtos selecionados no período da pesquisa.

Figura 6. Etapas dos procedimentos metodológicos para análise documental



Fonte: Próprio autor

1. **Mapeamento funcional** – verificação das funções dos elementos estruturais do produto (nervuras, torres, castelos, furos), bem como a análise das relações e interfaces necessárias para que o produto cumpra os requisitos de projeto;
2. **Identificação dos pontos críticos do produto** – listagem das características, componentes e aspectos conflitantes que aumentam a complexidade do projeto e fabricação do produto, podendo gerar retrabalho. Referente aos pontos críticos identificados, foi realizada a avaliação dos encaixes, alojamentos e dos sistemas de fixação (para montagem) dos componentes;
3. **Análise da especificação dimensional e geométrica** – identificação dos procedimentos de cotação dimensional empregados no detalhamento do componente.

Após execução das etapas 1 e 2 da análise documental, verificou-se que a especificação dimensional planejada para os produtos, dos projetos selecionados no período desta pesquisa, não determina a prioridade de atendimento dos requisitos dimensionais e geométricos do produto. Isso propicia interpretação ambígua do projeto, fazendo com que as equipes (projeto e fabricação) priorizem a fabricação do

produto em função da capacidade do processo e não em consonância com os requisitos do produto, principalmente quando o projeto é segmentado dentro da empresa ou encaminhado a terceiros para continuidade do PDP.

Foi verificado que não há aplicação de GD&T, como também não existe um detalhamento técnico das tolerâncias dimensionais e geométricas do produto, apenas o modelo virtual CAD tridimensional é encaminhado para outras equipes envolvidas em etapa posteriores (projeto de molde, por exemplo). Com isso, é grande a possibilidade de leitura e interpretação ambígua das características de forma, tamanho e posição do produto, diferenças de prioridades relacionadas às características dimensionais críticas, comprometendo o tempo de desenvolvimento, o atendimento aos requisitos do produto e a entrega nos prazos acordados, por conta de retrabalhos em partes funcionais críticas que não foram sinalizados em etapas anteriores ou não foram compreendidas por todos os envolvidos no PDP.

4 ESTRUTURA DO MÉTODO

O método foi organizado a partir dos resultados obtidos com os instrumentos de coleta de dados utilizados, onde foi possível identificar falhas na comunicação sobre a especificação dimensional do produto e que podem ser gerenciadas com a aplicação de um conjunto de procedimentos específico.

4.1 Ferramenta de auxílio à aplicação do método

A partir da fundamentação teórica que abordou especificação dimensional com GDT, dificuldade de seu entendimento e princípios básicos que devem ser considerados no projeto, foi desenvolvida uma ferramenta matricial para dar suporte ao método que possui campos para o preenchimento das informações dimensionais relevantes do produto, que devem ser utilizadas, registradas e validadas pelos envolvidos no processo de desenvolvimento do produto. A seguir, na figura 7, é ilustrada a ferramenta de suporte ao método proposto neste trabalho. A numeração inscrita em círculo identifica os campos de preenchimento das informações para compreensão da especificação dimensional aplicada ao produto.

Figura 7. Ferramenta de auxílio ao método proposto

Imagem do componente com áreas críticas identificadas	Cliente	Empresa														
	Produto	Nobreak														
	Componente	Botão (componente para análise documental)														
	Norma utilizada = ABNT 6403 (1997)															
Características Geométricas	Reduções															
	Forma															
SIMBOLOGIA	Orientação															
	Posição															
Batimento																
Elemento Estrutural	Identificação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TORRE (ponto de acionamento do botão liga)	A										A10					
TORRE (ponto de acionamento do botão desliga)	B										B10					
ORELHA / ABA (centro de furo para o lado esquerdo)	C										C10					
ORELHA / ABA (centro de furo para o lado direito)	D										D10					
NERVURA (ligação entre as torres)	E															
Lista de pontos críticos a considerar no projeto de produto / Acompanhamento (ferramentaria)																
Especificação pretendida	Código(s)	Função	Grau de Importância	Referência	Descritivo técnico											
	CT	ACIONAMENTO	CT	Distância entre o eixo do furo (C-D) e a face superior (A) da torre	Controle de posição da altura da torre para garantir a função de acionamento											
	CT	ACIONAMENTO	CT	Distância entre o eixo do furo (C-D) e a face superior (B) da torre	Controle de posição da altura da torre para garantir a função de acionamento											
	D10	ENCAIXE	SG	Distância do eixo C e D	Controle de posição para o encaixe dos pinos da articulação nos furos das orelhas, para o alinhamento adequado dos comandos liga/desliga											
	E	ENCAIXE	NSG	Distância entre as faces superiores dos furos (C-D)	Controle de posição para o encaixe dos pinos da articulação no base do botão e a retenção do mesmo nos pinos da articulação											
	---	---	---	Irrelevante	Para reforçar a ligação entre as torres. Obs.: o furo inserido na nervura é apenas uma estratégia para reduzir custos de fabricação (uma gaveta)											
Obs.: Legenda de criticidade = CT (CRÍTICO) SG (SIGNIFICATIVA) NSG (NÃO SIGNIFICATIVA)																

Fonte: próprio autor

4.1.1 Campos de preenchimento da ferramenta

Foram definidos onze campos para preenchimento das informações sobre os requisitos dimensionais e geométricos do produto, que devem ser registrados e compreendidos pelas equipes envolvidas no processo de desenvolvimento, os quais estão descritos a seguir.

1. Imagem do componente

Neste campo é inserida a imagem do componente com as sinalizações e identificações das arestas, superfícies e/ou regiões críticas que possuem interface com outros componentes para análise e detalhamento referentes à funcionalidade e montagem do produto.

2. Identificação (cliente / produto / componente)

São identificados o cliente do projeto, o produto (sistema ou subsistema) e o componente em questão, que segue para análise, detalhamento e descritivo técnico.

3. Características geométricas e simbologia

São listadas as características geométricas de forma, orientação, posição e batimento de acordo com a norma aplicada no projeto. Cada característica corresponde a um código numérico. São descritas a seguir.

- Retitude (código 1);
- Planeza (código 2);
- Circularidade (código 3);
- Cilindricidade (código 4);
- Perfil de linha qualquer (código 5);
- Perfil de superfície qualquer (código 6);
- Paralelismo (código 7);
- Perpendicularidade (código 8);

- Inclinação (código 9);
- Posição (código 10);
- Concentricidade (código 11);
- Coaxialidade (código 12);
- Simetria (código 13);
- Batimento circular (código 14);
- Batimento total (código 15).

É disponibilizada a simbologia correlacionada às características geométricas de forma, orientação, posição e batimento, em consonância com a norma aplicada ao projeto. A figura 8 mostra as áreas correspondentes ao campo 3 – características geométricas e simbologia aplicada de acordo com a norma adotada no projeto.

Figura 8. Diagramação do campo 3 da ferramenta de auxílio

Norma utilizada = ABNT 6409 (1997)															
Características Geométricas	Retitude	Planeza	Circularidade	Cilindricidade	Perfil de linha qualquer	Perfil de superfície qualquer	Paralelismo	Perpendicularidade	Inclinação	Posição	Concentricidade	Coaxialidade	Simetria	Circular	Total
	Forma				Orientação				Posição				Batimento		
SIMBOLOGIA	—	▭	○	⊘	⌒	⌒	//	⊥	∠	⊕	⊗	⊗	≡	↗	↗

Fonte: próprio autor

4. Codificação (dos elementos estruturais) e associação com as características geométricas

Esta área é destinada à correlação alfanumérica dos elementos constituintes do componente analisado e visualizados no campo 1 (imagem do componente). As letras identificam os elementos e a numeração (1 a 15) corresponde às características geométricas.

5. Elementos estruturais constituintes do componente

Neste campo, são detalhados e identificados por letras os elementos estruturais que fazem parte do componente. Dentre eles, podem-se destacar: nervuras, furos, pinos, olhais, torres, abas, castelos, perfis, entre outros.

6. Especificação pretendida

Este campo destina-se ao preenchimento da especificação técnica ou requisitos do produto que devem ser atendidos.

7. Código(s)

É o campo destinado ao registro da combinação alfanumérica das letras que identificam os elementos estruturais do componente com os números que identificam as características geométricas. Ex.: A10, E5 etc.

8. Função

Neste campo, é descrita a função do elemento tolerado identificado por codificação alfanumérica.

9. Grau de importância

Define o grau de importância das características sinalizadas do componente ou produto sendo: “CRÍTICO”, “SIGNIFICATIVO” ou “NÃO SIGNIFICATIVO”.

10. Referência (*datum*)

Neste campo, é descrito o *datum* ou referencial relacionado ao elemento crítico analisado, cujo não atendimento pode comprometer a função ou montagem do componente.

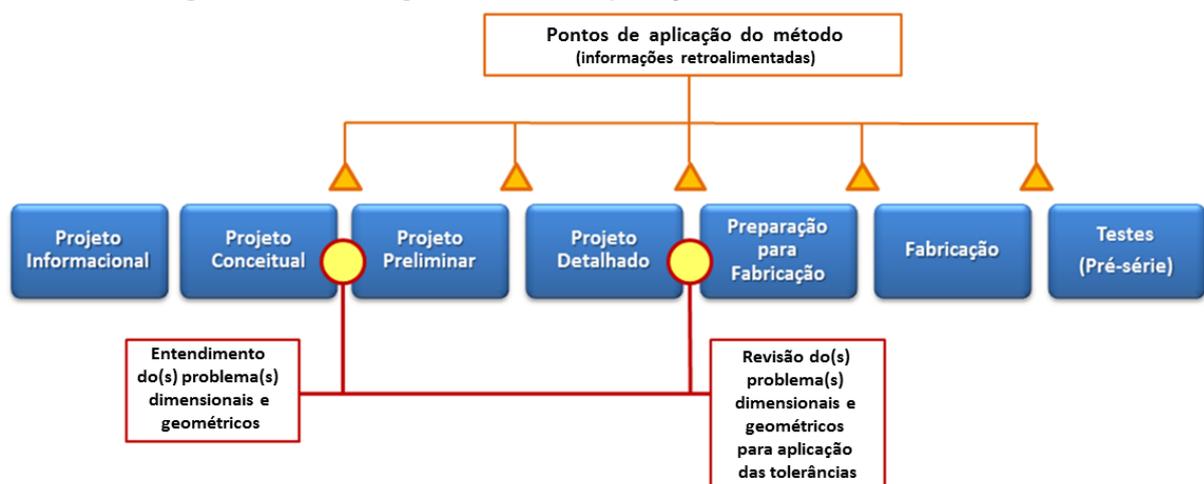
11. Descritivo técnico

Lista o descritivo técnico detalhado relatando o impacto ao projeto pelo não atendimento da especificação, o tipo de controle dimensional e geométrico para a região sinalizada e a relação com a característica afetada conjugado com suas interfaces.

Com os dados obtidos com o preenchimento da ferramenta matricial, possibilita-se a compreensão de quais informações a equipe relacionada ao projeto quer transmitir, para que seja considerada no momento em que são definidas as tolerâncias dimensionais e geométricas pela equipe de engenharia de produto. Num segundo momento, essas informações balizam a revisão e acompanhamento da especificação dimensional determinada pela engenharia de produto que deve ser respeitada e atendida pelas equipes de fabricação (molde e produto).

Inicialmente, o método pode ser aplicado em diversas etapas do desenvolvimento do produto, preferencialmente, aplicado após o “Projeto Informacional”, que, segundo Rozenfeld *et al* (2006), é a etapa onde são obtidas as especificações técnicas. No entanto, dentro do PDP, dois pontos são significativos, conforme ilustra a figura 9.

Figura 9. Pontos significativos de aplicação do método dentro do PDP



Fonte: próprio autor

4.2 Primeiro momento de aplicação do método – etapas e tarefas

O primeiro ponto de aplicação do método foi estabelecido entre a finalização da configuração do produto (projeto conceitual) e o início do projeto para detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes (projeto preliminar). Nesta fase, é realizada a sinalização das regiões críticas do produto e entendimento dos problemas dimensionais e geométricos para estabelecer uma especificação de tolerâncias adequada. A figura 10 apresenta o fluxo dos procedimentos para aplicação do método no primeiro momento, cujas etapas e tarefas foram detalhadas mais adiante.

Figura 10. Fluxo das etapas e tarefas do método – 1º momento de aplicação



Fonte: próprio autor

As informações inseridas na ferramenta orientam os esforços da equipe de projeto, referentes ao entendimento dos problemas dimensionais e geométricas, definidos no conceito do produto, para transmitir estas informações a etapas posteriores (engenharia de produto / projeto detalhado), sejam elas desenvolvidas na mesma organização ou, principalmente, se a continuidade do projeto é feita por outras empresas.

4.2.1 Etapa 1 – Planejamento da especificação dimensional

São estabelecidas as informações sobre os parâmetros e possibilidades de variação associados à dimensão, forma e posição das peças, respeitando os limites determinados de maneira que as condições de funcionamento do conjunto não sejam comprometidas.

Neste sentido, três tarefas são desenvolvidas:

- Tarefa 1.1 – Verificação dos requisitos dimensionais e geométricos estabelecidos no projeto conceitual;
- Tarefa 1.2 – Mapeamento funcional do produto
 - Análise dos pontos críticos que afetam a condições de montagem e funcionalidade do produto, baseado na identificação da qualidade requerida para que este atenda de maneira satisfatória os requisitos pretendidos;
- Tarefa 1.3 – Identificação dos problemas dimensionais (interfaces críticas) do produto.

4.2.2 Etapa 2 – Preenchimento dos campos da ferramenta

Nesta etapa, foi utilizada a ferramenta de auxílio desenvolvida e executadas nove tarefas correspondentes ao preenchimento dos campos editáveis, descritas a seguir.

- Tarefa 2.1 – Inserção da imagem do componente analisado;
- Tarefa 2.2 – Identificação do cliente, produto e componente;
- Tarefa 2.3 – Listagem dos elementos estruturais que serão analisados;
- Tarefa 2.4 – Codificação dos elementos estruturais;
- Tarefa 2.5 – Definição das características geométricas empregadas;
- Tarefa 2.6 – Codificação alfanumérica;
- Tarefa 2.7 – Descrição das características geométricas que serão empregadas;
- Tarefa 2.8 – Descrição da função da região codificada no elemento estrutural;
- Tarefa 2.9 – Descritivo técnico da especificação.

4.2.3 Etapa 3 – Aprovação das informações inseridas e encaminhamento para etapa de projeto detalhado

Esta é uma etapa de validação das informações entre os envolvidos no processo de desenvolvimento. São executadas três tarefas:

- Tarefa 3.1 – Verificação do atendimento às etapas anteriores;
- Tarefa 3.2 – Validação e aprovação das informações inseridas na ferramenta;
- Tarefa 3.3 – Liberação das informações inseridas na ferramenta para definir a especificação dimensional e geométrica do produto com GD&T.

4.3 Segundo momento de aplicação do método – etapas e tarefas

Esta segunda aplicação consiste em uma base de informações, preferencialmente documentada, como ilustra a figura 11, oriunda da análise das etapas e tarefas detalhadas a seguir. O objetivo neste ponto de aplicação do método é auxiliar e revisar o atendimento da especificação dimensional e geométrica estabelecida.

Figura 11. Fluxo das etapas e tarefas do método – 2º momento de aplicação

SEGUNDO MOMENTO DE APLICAÇÃO	
MÉTODO PARA COMUNICAR A ESPECIFICAÇÃO DIMENSIONAL E GEOMÉTRICA DO PRODUTO	
ETAPA 1	Análise da especificação dimensional (GD&T) aplicada
	Tarefa 1.1 - Verificação das características dimensionais e geométricas sinalizadas que devem ser atendidas
	Tarefa 1.2 - Interpretação GD&T
	Tarefa 1.3 - Sinalização das regiões/interfaces críticas a serem acompanhadas
ETAPA 2	Preenchimento dos campos da ferramenta
	Tarefa 2.1 – Inserção da imagem do componente analisado
	Tarefa 2.2 – Identificação do cliente, produto e componente
	Tarefa 2.3 – Listagem dos elementos estruturais que serão analisados
	Tarefa 2.4 - Codificação dos elementos estruturais
	Tarefa 2.4 - Definição das características geométricas que serão empregadas
	Tarefa 2.5 - Codificação alfa-numérica
	Tarefa 2.6 - Descrição da função da região codificada no elemento estrutural
	Tarefa 2.7 - Definição do grau de criticidade da região
	Tarefa 2.8 - Descrição da referência ou datum relacionado
	Tarefa 2.9 – Descritivo técnico da especificação
ETAPA 3	Aprovação das informações inseridas e encaminhamento para etapa de preparação da produção
	Tarefa 3.1 - Verificação do atendimento às etapas anteriores
	Tarefa 3.2 - Validação e aprovação das informações inseridas na ferramenta
	Tarefa 3.3 - Liberação do projeto detalhado para o planejamento da fabricação do produto.

Fonte: próprio autor

As informações inseridas orientam os esforços das equipes (projeto e fabricação do molde / fabricação do produto) referentes à revisão dos problemas

dimensionais e geométricos definidos no detalhamento técnico do produto, para que os envolvidos possam compreender o impacto do não atendimento em relação à funcionalidade e montagem do produto, sejam elas desenvolvidas na mesma organização ou, principalmente, se o projeto das contra-peças, do molde e a fabricação do produto e molde são feitos por outras empresas. Realiza-se a aplicação da ferramenta para traduzir descritivamente a aplicação de GD&T. São estabelecidos os parâmetros de acompanhamento e revisão da especificação estabelecida no projeto de maneira que as condições de funcionamento do conjunto não sejam comprometidas. Diferente do 1º momento, é importante elaborar o descritivo das características dimensionais e geométricas que devem ser controladas e que afetam as peculiaridades do produto, baseado no acompanhamento dos requisitos dimensionais e geométricos do produto estabelecidos.

4.3.1 Etapa 1 – Análise da especificação dimensional (GD&T) aplicada

Registro da interpretação da especificação dimensional com GD&T, executada por especialista. Tarefas executadas:

- Tarefa 1.1 – Verificação das características dimensionais e geométricas sinalizadas que devem ser atendidas;
- Tarefa 1.2 – Interpretação GD&T;
- Tarefa 1.3 – Sinalização das regiões/interfaces críticas a serem acompanhadas.

4.3.2 Etapa 2 – Preenchimento dos campos da ferramenta

Idem à etapa 2 executada no primeiro momento de aplicação do método.

4.3.3 Etapa 3 – Aprovação das informações inseridas e encaminhamento para etapa de preparação da produção.

Etapa de validação das informações entre os envolvidos no processo de desenvolvimento. São executadas três tarefas:

- Tarefa 3.1 – Verificação do atendimento às etapas anteriores;
- Tarefa 3.2 – Validação e aprovação das informações inseridas na ferramenta;
- Tarefa 3.3 – Liberação do projeto detalhado para o planejamento da fabricação do produto.

Do ponto de vista da gestão, visando à melhoria constante do processo, o método pode ser aplicado em etapas intermediárias da fase de projeto dentro do PDP, cujas informações, oriundas da análise, avaliação, especificação e revisão das equipes, podem ser retroalimentadas, consultadas, preenchidas, novamente revisadas e validadas pelos times envolvidos no desenvolvimento.

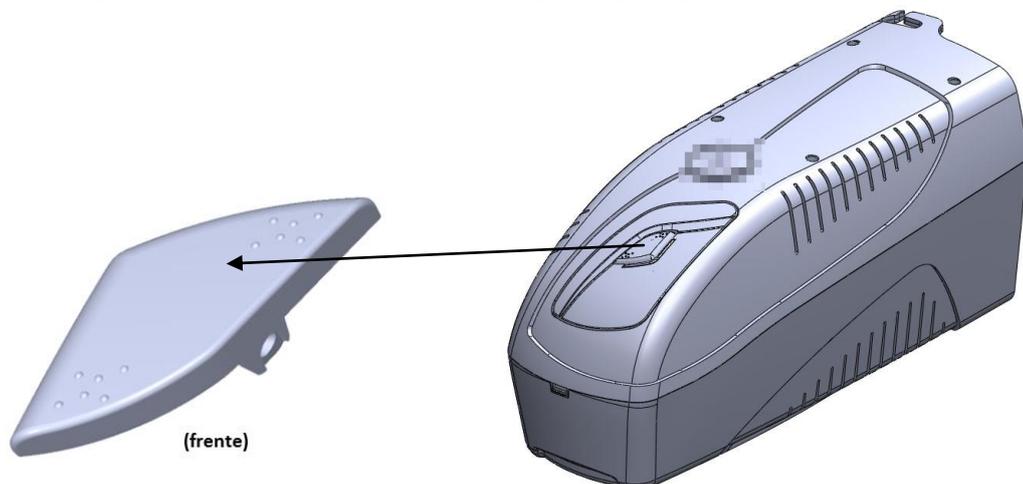
5 APLICAÇÃO DO MÉTODO

A seguir, é apresentada a aplicação do método proposto, utilizando um exemplo de um componente fabricado por injeção plástica, peça integrante de um dos produtos examinados na análise documental.

O objetivo é demonstrar como as informações sobre as características relevantes do produto podem ser gerenciadas e repassadas a equipes de continuidade do projeto, para que todos os profissionais inseridos no processo possam compreender e assim facilitar a comunicação entre as diversas e distintas equipes envolvidas no PDP. Na aplicação do método, foram necessárias reuniões de alinhamentos (presenciais, por e-mail ou videoconferência) entre as equipes (projeto e fabricação), para análise e definição das características relevantes do produto, que serão empregadas no preenchimento das informações. Esta é uma ação frequente que pode ser realizada em qualquer etapa ou fase do PDP para a estruturação, retroalimentação e atualização das informações que devem ser gerenciadas pela ferramenta.

Dos projetos de produto analisados no período da pesquisa, foi selecionado o projeto do nobreak, cujo componente utilizado como exemplo de aplicação da ferramenta foi o botão, conforme ilustra a figura 12. A aplicação segue o fluxo de procedimentos do “primeiro momento”, ou seja, antes de estabelecer a especificação dimensional.

Figura 12. Componente selecionado para aplicação da ferramenta (botão)



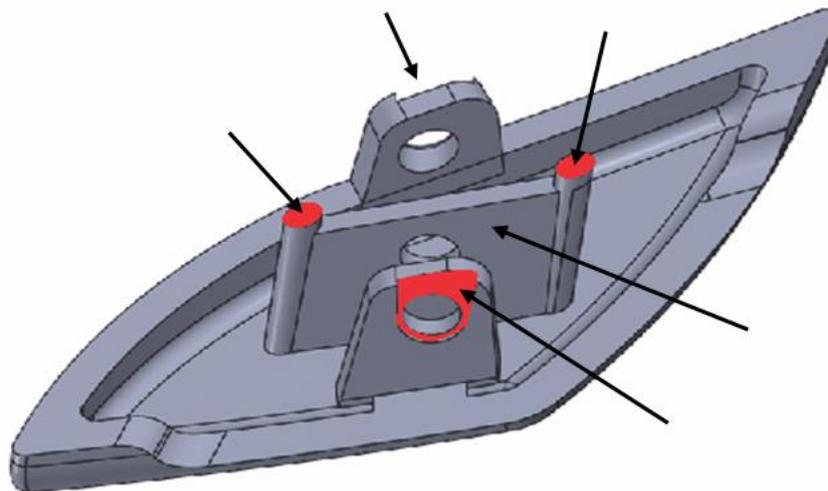
Fonte: próprio autor

A aplicação da ferramenta foi executada da seguinte maneira:

1. Foi analisada a configuração física ou solução de projeto para o componente, quando os profissionais da área relacionados ao projeto detalhado do componente definiram as características críticas para funcionamento e montagem do produto, em consenso com a equipe que executou o projeto conceitual;
2. Foram preenchidos os campos da ferramenta para auxiliar a tomada de decisão referente às estratégias de detalhamento e aplicação de GD&T;
3. As informações foram validadas e encaminhadas para etapas posteriores, dando continuidade ao PDP.

A figura 13 ilustra as regiões que possuem interfaces com outros componentes do produto cujas partes críticas devem ser identificadas e acompanhadas com auxílio da ferramenta proposta.

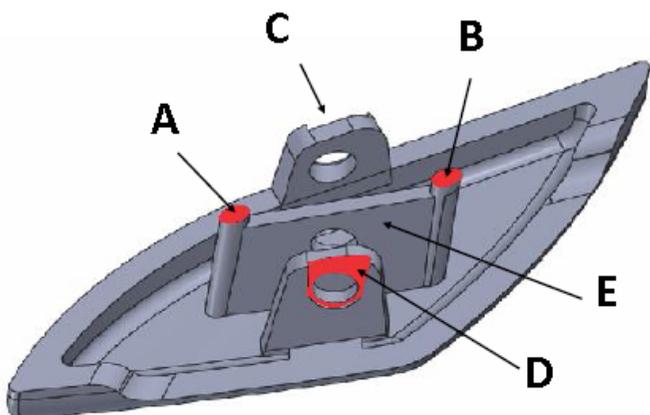
Figura 13. Modelo 3D do componente com sinalização das regiões críticas



Fonte: próprio autor

Em seguida, na figura 14, é ilustrada a aplicação da ferramenta. O componente analisado é parte do produto correspondente ao Projeto A da análise documental (Apêndice B).

Figura 14. Aplicação da ferramenta – componente 2 (BOTÃO - Projeto A)

	Cliente	Empresa de Projetos														
	Produto	Nobreak														
	Componente	Botão (componente 2 - vide análise documental)														
	Norma utilizada = ABNT 6409 (1997)															
Características Geométricas	Retitude	Planeza	Circularidade	Cilindricidade	Perfil de linha qualquer	Perfil de superfície qualquer	Paralelismo	Perpendicularidade	Inclinação	Posição	Concentricidade	Coaxialidade	Simetria	Circular	Total	
	Forma						Orientação			Posição				Batimento		
SIMBOLOGIA	—	▭	○	⊘	⌒	⌒	//	⊥	∠	⊕	⊙	⊘	≡	↗	↗↗	
Elemento Estrutural	Identificação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TORRE (ponto de acionamento do botão liga)	A										A10					
TORRE (ponto de acionamento do botão desliga)	B										B10					
ORELHA / ABA (centro de furo para articulação)	C										C10					
ORELHA / ABA (centro de furo para articulação)	D										D10					
NERVURA (ligação entre as torres)	E															
Lista de pontos críticos a considerar no projeto de produto / Acompanhamento (ferramentaria)																
Especificação pretendida	Código(s)	Função	Grau de importância	Referência				Descritivo técnico								
Acionamento do painel touch	A10	ACIONAMENTO	CRÍTICO	Distância entre o eixo do furo (C-D) e a face superior (A) da torre				Controle de posição da altura da torre para garantir a função de acionamento								
Acionamento do painel touch	B10	ACIONAMENTO	CRÍTICO	Distância entre o eixo do furo (C-D) e a face superior (B) da torre				Controle de posição da altura da torre para garantir a função de acionamento								
Montagem do componente no subsistema	C10	ENCAIXE	CRÍTICO	Distância do eixo C-D para o plano A-B				Controle de posição para garantir o encaixe dos pinos da articulação nos furos das orelhas e permitir o acionamento adequado dos comandos liga/desliga								
Montagem do componente no subsistema	D10	ENCAIXE	CRÍTICO	Distância entre as faces externas dos furos (C-D)				Controle de posição para garantir o encaixe do botão e a retenção do mesmo nos pinos da articulação								
Reforço estrutural para evitar quebra das torres	E	REFORÇO ESTRUTURAL	NÃO SIGNIFICATIVO	Irrelevante				Para reforçar a ligação entre as torres. Obs.: o furo inserido na nervura é apenas uma estratégia para reduzir custos de fabricação (uma gaveta)								
...								

Fonte: próprio autor

5.1 Verificação da utilidade da ferramenta

Para fundamentar e avaliar o método e a contribuição do mesmo dentro do PDP, foi executada uma entrevista semiestruturada com profissionais de projeto e fabricação envolvidos nas diversas etapas do desenvolvimento de peças plásticas, para validação desta pesquisa.

Foram entrevistados 13 profissionais de uma empresa de grande porte, desenvolvedora de moldes de injeção, que executa desde o projeto conceitual à fabricação do lote piloto. Em obediência ao sigilo estipulado, não será mencionada a empresa em questão. Dentre os profissionais entrevistados, 06 são engenheiros mecânicos, 02 são técnicos, 03 são designers de produto e 02 são ferramenteiros. Inicialmente, solicitou-se que o entrevistado analisasse a ferramenta e interpretasse as informações sem auxílio, nem explicação. Após verificação do entendimento do respondente, foram explicitados os objetivos, a forma de utilização (preenchimento dos campos da ferramenta) e que tipo de informação poderia ser inserida na ferramenta. As questões da entrevista semiestruturada estão descritas a seguir.

1. Qual a sua profissão?
2. Qual seu nível de conhecimento em GD&T?
 - a. Não tenho conhecimento.
 - b. Conhecimento Básico.
 - c. Sou Especialista.
3. Dentro do PDP, em que etapas você atua na empresa?
 - a. Projeto Informacional.
 - b. Projeto Conceitual.
 - c. Projeto Detalhado.
 - d. Preparação da Produção.
 - e. Fabricação do Produto.
4. A ferramenta é útil para o desenvolvimento de produto? Justifique.

Os pesquisados relataram que o método é uma oportunidade de melhoria do processo e que contribui positivamente para elucidação e atendimento das questões dimensionais e geométricas críticas obrigatórias do produto que devem ser atendidas na fabricação. O quadro 6 apresenta a tabulação da entrevista realizada.

Quadro 6. Entrevista semiestruturada com profissionais envolvidos no PDP

Empresa: atua no segmento de moldes de injeção (do projeto ao lote piloto)					
Público: profissionais envolvidos no desenvolvimento do produto					
Profissão	Nível de conhecimento GD&T	Atuação dentro do PDP	Pertinência	Depoimento (justificativa)	
P1	Engenheiro Mecânico	Especialista	Projeto Informacional; Projeto Conceitual; Projeto Detalhado; Preparação da Produção.	sim	"Elucida inequivocamente os aspectos mais críticos e requerentes de especial atenção durante todo o processo de desenvolvimento, desde a concepção até a fabricação".
P2	Designer	Não tem conhecimento	Projeto Informacional; Projeto Conceitual.	sim	"A ferramenta se apresenta, no primeiro momento como auxiliadora no processo de registro e, conseqüentemente, no processo de desenvolvimento do produto. AS informações são registradas de forma prática, resumida e esquemática, podendo ser discutida posteriormente a partir de um referencial. Porém, é importante que fique claro que, todo e qualquer processo está sujeito a variações e especificidades que podem comprometer sua eficiência, devendo ser resolvido e aperfeiçoado, bem como as ferramentas".
P3	Engenheiro Mecânico	Conhecimento Básico	Projeto Conceitual; Projeto Detalhado.	sim	"Acredito ser uma ferramenta útil, desde que aplicada corretamente, porque ajuda a aplicação do controle GD&T em peças plásticas e seus postigos de injeção, assim como ajuda a evitar interpretações duplicadas ou com excesso de rigor".
P4	Engenheiro Mecânico	Especialista	Lançamento do Produto.	sim	"Produz um documento com indicações gerais, a priori, de possíveis incompatibilidades e pontos críticos a serem observados durante o processo de projeto. Este documento pode ser consultado a qualquer momento, como forma de verificar o pré-especificado, e garantir, antes da fabricação, que as características serão reproduzidas como no design. Após simulações, prevê uma lista de itens mínimos a verificar".
P5	Designer	Conhecimento Básico	Projeto Informacional; Projeto Conceitual.	sim	"Facilita o entendimento do projeto, reduzindo problemas na fabricação das ferramentas".

Empresa: atua no segmento de moldes de injeção (do projeto ao lote piloto)					
Público: profissionais envolvidos no desenvolvimento do produto					
Profissão	Nível de conhecimento GD&T	Atuação dentro do PDP	Pertinência	Depoimento (justificativa)	
P6	Engenheiro Mecânico	Especialista	Projeto Informacional; Projeto Conceitual.	sim	"Muito útil, porque traduz de maneira textual e coloquial os pré-requisitos de funcionalidade e qualidade d produto cruciais para o projeto, de maneira universal a todos os envolvidos do desenvolvimento do produto. Mesmo que estes não possuam conhecimentos aprofundads no GD&T, colabora para a diminuição de queixas de entendimento quanto às concexões das etapas consequentes ao desenvolvimento da parte analisada em específico".
P7	Designer	Conhecimento Básico	Projeto Conceitual.	sim	"A princípio a ferramenta é útil. Seria interessante um teste piloto para detectar possíveis oportunidades de melhorias. Talvez conter o registro de quem alimentou a ferramenta".
P8	Engenheiro Mecânico	Especialista	Projeto Informacional; Projeto Conceitual; Projeto Detalhado; Preparação da Produção.	sim	"Funciona como ferramenta de mitigação de riscos, pois fornece um método científico para comuncar as diferentes equipes de desenvolvimento de produto, engenharia e fabricação".
P9	Técnico	Especialista	Projeto Conceitual; Projeto Detalhado.	sim	"A metodologia é importante para definir de forma clara e objetiva os elementos críticos que por sua vez devem ser controlados para o sucesso global do projeto".
P10	Engenheiro Mecânico	Especialista	Projeto Detalhado.	sim	"A ferramenta é importante porque define os atributos dimensionais significativos que devem ser controlados".
P11	Técnico	Conhecimento Básico	Preparação da Produção; Fabricação do Produto	sim	"Facilita a visualização na área da peça se é crítica ou não. Se acontecer algum o problema, temos como verificar se a peça "morreu" ou não".
P12	Técnico	Conhecimento Básico	Preparação da Produção; Fabricação do Produto; Fabricação do lote piloto	sim	"É útil pois quem vai projetar tomará mais cuidado com partes críticas do produto. Isso diminui as chances de retrabalho no final do produto. As partes não críticas podem ter o custo de fabricação diminuído. A interação entre design e fabricação fica mais clara".
P13	Técnico	Conhecimento Básico	Preparação da Produção; Fabricação do Produto	sim	"É importante para que se tenha um processo bastante "amarrado" focando nos pontos mais críticos, evitando perda de tempo e desta forma, evitando ruídos de comunicação, fazendo com que o produto final funcione da forma requerida no projeto".

Fonte: próprio autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um método para planejar, facilitar o entendimento e preservação das informações referentes à especificação dimensional de produtos. Em resposta à problemática que foi: “Como facilitar o entendimento da especificação dimensional do produto, de maneira documentada, para que equipes multifuncionais envolvidas no projeto e fabricação do produto possam compreender, acompanhar, revisar e preservar estas informações ao final do ciclo de desenvolvimento, sem retrabalho e sem necessariamente comprometer a qualidade do produto?”, o método é uma possibilidade de aprimorar a gestão das informações relativas às atividades de projeto e planejamento da especificação dimensional dos produtos correlatos, para auxiliar projetistas no processo de desenvolvimento do produto.

Com base em informações coletadas por intermédio dos instrumentos de pesquisa utilizados e também em publicações disponíveis que retrataram principalmente, a dificuldade de capacitação de pessoal e entendimento do GD&T, pode-se averiguar que boa parte dos problemas referentes ao atendimento à especificação dimensional envolve o entendimento da especificação e o acompanhamento da mesma ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto. Os projetos disponibilizados para análise documental apresentaram deficiências na comunicação das características críticas, cuja informação deveria ser preservada ao final da cadeia de desenvolvimento. A análise documental serviu como direcionadora para compreensão dos problemas de projeto, cujo planejamento da especificação dimensional pode ser facilitado, com a aplicação de um método que identifique as características funcionais críticas dos elementos estruturais do produto e auxilie o trabalho de projetistas na transcrição da especificação dimensional em etapas que permeiam o projeto e detalhamento do produto. Foi proposta uma sistemática para assegurar que as informações sobre os requisitos críticos do produto (componentes moldados por injeção plástica) fossem considerados, sinalizados e atendidos em etapas posteriores (projeto e fabricação do molde; fabricação do produto, por exemplo).

A utilização de um conjunto de procedimentos para registro descritivo das informações sobre a especificação dimensional e geométrica do produto foi um suporte, para que times distintos envolvidos no PDP pudessem compreender a intenção do projeto, sem necessariamente especializar-se na aplicação GD&T. Uma vez que permite o conhecimento prévio das características críticas para fabricação do produto, o método apresentado facilita a comunicação interna, conduz a definição de ações de melhoria e, fundamentalmente, dissemina a cultura da qualidade na empresa.

A contribuição do método está na possibilidade de sistematização e registro das atividades de diagnóstico, gestão, acompanhamento e revisão da especificação dimensional e geométrica aplicada aos produtos. Contribui para a diminuição do ciclo de desenvolvimento, para uma interpretação única do projeto, eliminação de retrabalho, geração de conhecimento e conseqüentemente, atendimento às especificações técnicas e solicitações dos clientes.

6.1 Desdobramentos da pesquisa

Como sugestões para trabalhos futuros de pesquisa, indicam-se os seguintes desdobramentos:

- Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para definição de superfícies de referências de acordo com o grau de criticidade do conjunto mecânico, definindo e correlacionando o tipo de tolerância e a variação necessária;
- Avaliar como a utilização do método impacta no custo do desenvolvimento do produto e como são gerenciadas as alterações no projeto realizadas pelo cliente entre as fases de pré-projeto e projeto;
- Analisar como a experiência e a formação acadêmica influenciam no entendimento da especificação dimensional e o atendimento aos requisitos do produto em fabricação.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6409:1997 – Tolerâncias geométricas – Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997

ALMACINHA, J. A. – **A modelação em CAD 3D e a especificação técnica no desenvolvimento de produtos. Parte 1: Visão geral sobre a evolução da documentação técnica para a definição e a especificação de produtos.** Porto: NOS-INEGI. 2013, 23 p. [em linha]. [consultado em 26 jan. 2014] Disponível em: http://www.inegi.up.pt/instituicao/ons/pdf/23_jasa-5.pdf>.

ASME Y14.5M: 2009, **Dimensioning and tolerancing – Engineering Drawing and Related Documentation Practices**, ASME: American Society of Mechanical Engineers, New York, USA, 2009.

ASME Y14.41: 2003, **Digital Product Definition Data Practices**. ASME: American Society of Mechanical Engineers, New York, USA, 2009.

AULETE, Caldas. **Dicionário Caldas Aulete da língua portuguesa.** 2 ed. Rio de Janeiro: Lexikon Editora Digital, 2008; Porto Alegre, RS: L&PM, 2008.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 342 p. ISBN 9788521206149

CERTI, Fundação. **GD&T 3 - Especificação de tolerâncias geométricas – projetistas.** Apostila de treinamento. Santa Catarina, 2012

COLOSIMO, Bianca M., Senin, Nicola (Eds). **Impact on Product Design, Quality Inspection and Statistical Process Monitoring** 2011, XVIII, 336 p.

DRAKE JR, Paul J. **Dimensioning and Tolerancing Handbook.** McGraw-Hill, New York, 1999.

FOSTER, Lowell W. **Geometrics III**. Massachusetts : Addison-Wesley, 1994.

GLANVILL, A. B.; DENTON, E.n. **Moldes de injeção: princípios básicos e projetos**. São Paulo: Edgar Blucher, 1989.

HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos**. São Paulo: Artliber Editora, 2004.

HENZOLD, Georg. **Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection**. Segunda Edição, Elsevier, Oxford, UK, 2006.

ISO 10303-1 - International Organization for Standardization - **Industrial automation systems and integration – Product Data Representation and Exchange-Part 1: Overview and fundamental principles**. 1994.

ISO 16792 – **Technical product documentation — Digital product definition data practices**. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.

KAMINSKI, Paulo Carlos. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. ISBN 9788521612001

LOSEKANN, Claudio Roberto; FERROLI, Paulo Cesar Machado. **Fabricação para designers: uma abordagem de integração projeto/manufatura**. Itajaí (SC): Univale, 2006. 230 p. (Raízes 8) ISBN 8576960117

MACHADO, Marcio Cardoso; TOLEDO, Nilton Nunes. **Gestão do processo de desenvolvimento de produtos: uma abordagem baseada na criação de valor**. São Paulo: Atlas, 2008.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber Editora, 2005

MASSARANI, Marcelo. **"A qualidade da comunicação no desenvolvimento de produtos."** CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO. Vol. 3. 2001.

MAZIERO, N. L.; FERREIRA, J. C. E.; GUBERT, E. **Desenvolvimento de um banco de dados de tolerâncias, visando à integração com um sistema CAD,** Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Bauru, SP, 1997. Disponível em <<http://www.grima.ufsc.br/papers/PaperCobem97CAD.pdf>>. Acesso em: 26 de julho de 2013.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Implementação do QFD para o desenvolvimento de novos produtos.** São Paulo: Atlas Editora, 2008

PINA, Suzana Angélica da S. M. **Avaliação do uso de recursos tecnológicos na etapa de concepção de produtos industriais em um escritório de projetos.** Dissertação – (Mestrado em Gestão e Tecnologia industrial) SENAI CIMATEC, Salvador, 2011. 159 f.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Florianópolis, 2003. Tese de doutorado – PPGEM - UFSC.

ROPION, R. **Cotação Funcional dos Desenhos Técnicos.** São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1974.

ROTONDARO, Roberto Gilioli; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick; GOMES, Leonardo Augusto de Vasconcelos. **Projeto do produto e do processo.** São Paulo: Atlas, 2010.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, Rodrigo Luz. **Ferramenta de auxílio ao designer no processo de escolha de elementos de fixação em produtos termoplásticos injetados.**

Dissertação – (Mestrado em Gestão e Tecnologia industrial) SENAI CIMATEC, Salvador, 2012. 112 f.

SENAI. **Injeção de plásticos**. SENAI-DR/CETIND/NIP: [s.n.], 1998. 122p. (Série Plástico; 2)

SILVA, Edna L. da; MENEZES Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** – 3. ed. rev. Atual – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121p.

SOUSA, A. R. **Engenharia Dimensional de Produtos**. CEFET-SC, 2003. Material didático de aula.

SOUSA, A. R.; WANDECK, M; SILVA, D. C. **O Uso do GD&T Aliado ao Cálculo Computacional de Tolerâncias**. Revista Máquinas e Metais, São Paulo: Aranda Editora Técnica Cultural, n. 463, p. 56-75, Ago. 2004.

SOUSA, A. R.; WANDECK, M. **Deficiências da metrologia industrial no Brasil no correto entendimento do GD&T e na definição de estratégias de medição consistentes para o seu controle geométrico**. In: Proceedings of the V Congresso Brasileiro de Metrologia, Salvador, Brazil. 2009.

STRAFACCI, G. **How Brazilian Industries Apply GD&T?** Banas Qualidade Magazine, abr/2009.

WANDECK, Maurício; SOUSA, A. R. **Análise funcional e metrológica dos princípios de Taylor e da Independência na especificação e controle geométrico de produtos**. In: Anais do I CIMMEC-Congresso Internacional de Metrologia, ID. 2008.

WEILL, R., CLÉMENT, A., HOCKEN, R., FARMER, L.E., GLADMAN, C.A., WIRTZ, A., BOURDET, P., FRECKLETON, J.E., KUNZMANN, H., HAM, I., TRUMPOLD, H., MATHIAS, E. **Tolerancing for Function** , Annals of the CIRP, VOL. 37/2, pp. 603-610, 1988.

ZHANG, H.C., HUQ, M.E. **Tolerancing techniques**: the state-of-the-art. INT. J. PROD. RES., VOL. 30, No 9, pp. 2111-2135, 1992.

ZILIO, Tiago Muner; VIERO, Carlos Frederico; WALBER, Marcio. **GD&T – aspectos relacionados ao desenvolvimento de produtos**. Revista CIATEC-UPF, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2014.

APÊNDICE A - Questionário estruturado

As informações apresentadas a seguir integram o estudo da dissertação cujo tema é **Ferramenta de auxílio à engenharia do conhecimento para gerar, analisar e comunicar a especificação dimensional e geométrica do produto**, apresentada ao Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial (Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC). O objetivo é coletar dados sobre as experiências, o fluxo de comunicação dos projetos e processos executados por equipes de desenvolvimento de produtos moldados por injeção plástica. Envolve critérios de tempo, qualidade, engenharia de produto e validação do produto para planejar a fabricação do mesmo.

Este questionário foi aplicado a empresas do segmento, escritórios de projetos, profissionais envolvidos no projeto e fabricação de produtos plásticos moldados por injeção.

1. Qual sua formação acadêmica?

- Designer
- Engenheiro Mecânico
- Especialista
- Mestre
- Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)
- Outro:

2. Há quanto tempo trabalha com desenvolvimento de produtos?

- Menos de 06 meses
- Entre 06 meses e 01 ano
- Mais de 01 ano
- 02 a 04 anos
- 05 a 10 anos
- Mais de 10 anos

3. Os profissionais envolvidos no projeto de produto possuem cursos na área de metrologia e/ou tolerâncias dimensionais e geométricas?

- Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia
- Sim, capacitação básica em GD&T
- Sim, capacitação especializada em GD&T
- Não

4. Quais etapas do desenvolvimento do produto (termoplástico injetado) são gerenciadas pela empresa?

Assinale uma ou mais alternativas.

- Descrição do escopo do produto
- Descrição das especificações técnicas do produto
- Conceito do produto
- Detalhamento técnico do produto
- Fabricação do produto
- Projeto do molde
- Fabricação do molde
- Fabricação do lote piloto
- Outro:

5. Essas etapas são executadas na mesma empresa?

- Sim
- Não
- Em parte

6. Quais das ferramentas de apoio ao projeto, descritas abaixo, são empregadas para captação das necessidades do cliente e geração dos requisitos do produto?

- Diagrama de Kano
- Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade
- Nenhuma das alternativas anteriores
- Outro:

7. Quando é feito o mapeamento funcional do produto pelo time de desenvolvimento?

- Antes da geração de alternativas do produto
- Durante a geração de alternativas do produto
- Após o conceito do produto estabelecido
- Durante o projeto detalhado para a fabricação
- Não é feito mapeamento das funções do produto

8. De que forma são sinalizados os pontos críticos do produto para a equipe de engenharia?

- Descritivo por e-mail
- Sinalização manual no projeto de produto
- Arquivo digital (CAD, por exemplo)
- Ferramenta específica
- Outro:

9. No detalhamento dos SSCs (sistemas, subsistemas e componentes), quais procedimentos para especificação dimensional e geométrica são adotados nos projetos?

- Dimensionamento ou cotação cartesiana
- Cotação funcional
- Linguagem GD&T
- Nenhuma das alternativas anteriores

10. A empresa executa análise prévia ou revisão dos documentos quanto à especificação das tolerâncias dimensionais e geométricas aplicadas no projeto?

- Sempre
- Somente quando solicitado
- Às vezes
- Raramente
- Nunca

11. Os desenhos do produto possuem referências ou cotas críticas?

- Sim
- Não

12. Que tolerâncias (dimensionais e geométricas) do projeto de produto são analisadas, consideradas e medidas pela empresa?

- Todas as tolerâncias especificadas no projeto
- Somente as tolerâncias críticas
- Apenas as tolerâncias especificadas pelo cliente
- As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação

13. Existem modificações nos desenhos de engenharia quando o produto já está em produção?

- Sempre
- Frequentemente
- Às vezes
- Raramente
- Nunca

14. Qual a frequência de interpretação ambígua do projeto de produto pelas equipes envolvidas no processo?

- Sempre
- Frequentemente
- Às vezes
- Raramente

Nunca

15. Os prazos para execução das atividades de projetos são atendidos?

- Sempre
- Frequentemente
- Às vezes
- Raramente
- Nunca

16. Em sua opinião o que compromete a entrega no prazo?

- Formação de equipes
- Pouca capacitação da equipe
- Falta de experiência em determinada área
- Outro:

17. Existem retrabalhos no processo de projeto?

- sim
- não

Se positivo, quais as causas?

Respostas ao questionário - questões 01 a 06

1. Qual sua formação acadêmica?	2. Há quanto tempo trabalha com desenvolvimento de produtos?	3. Os profissionais envolvidos no projeto de produto possuem cursos na área de metrologia e/ou tolerâncias dimensionais e geométricas?	4. Que etapas do desenvolvimento do produto (termoplástico injetado) são gerenciadas pela empresa?	5. Essas etapas são executadas na mesma empresa?	6. Quais das ferramentas de apoio ao projeto, descritas abaixo, são empregadas para captação das necessidades do cliente e geração dos requisitos do produto?
Mestre	Mais de 10 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Outro
Designer	Menos de 06 meses	Não	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Outro
Mestre	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Em parte	Outro
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	2 a 4 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Análise Pessoal
Engenheiro Mecânico	2 a 4 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Try out	Em parte	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise pessoal
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	Mais de 1 ano	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Análise pessoal
Engenheiro Mecânico	5 a 10 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro
Engenheiro Mecânico	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Em parte	Outro
Designer	2 a 4 anos	Não	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação de tryouts	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise paramétrica

1. Qual sua formação acadêmica?	2. Há quanto tempo trabalha com desenvolvimento de produtos?	3. Os profissionais envolvidos no projeto de produto possuem cursos na área de metrologia e/ou tolerâncias dimensionais e geométricas?	4. Que etapas do desenvolvimento do produto (termoplástico injetado) são gerenciadas pela empresa?	5. Essas etapas são executadas na mesma empresa?	6. Quais das ferramentas de apoio ao projeto, descritas abaixo, são empregadas para captação das necessidades do cliente e geração dos requisitos do produto?
Designer	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise paramétrica
Especialista	5 a 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise paramétrica
Designer, Engenheiro (outras áreas), Mestre	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto	Sim	Diagrama de Kano, Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise paramétrica, Matriz Morfológica e Análise de Similares
Designer	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Detalhamento técnico do produto	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise paramétrica
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto	Sim	Diagrama de Kano
Designer	5 a 10 anos	Não	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Outro
Mestre	5 a 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Fabricação do produto, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro
Designer	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto	Não	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise paramétrica

1. Qual sua formação acadêmica?	2. Há quanto tempo trabalha com desenvolvimento de produtos?	3. Os profissionais envolvidos no projeto de produto possuem cursos na área de metrologia e/ou tolerâncias dimensionais e geométricas?	4. Que etapas do desenvolvimento do produto (termoplástico injetado) são gerenciadas pela empresa?	5. Essas etapas são executadas na mesma empresa?	6. Quais das ferramentas de apoio ao projeto, descritas abaixo, são empregadas para captação das necessidades do cliente e geração dos requisitos do produto?
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	5 a 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Não	Outro
Especialista	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto	Sim	Outro
Designer, Especialista	5 a 10 anos	Sim, capacitação básica em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Análise de similares
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	Mais de 1 ano	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição das especificações técnicas do produto, Detalhamento técnico do produto	Sim	Outro
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	5 a 10 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Em parte	Outro
Engenheiro Mecânico	2 a 4 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro
Especialista	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro
Engenheiro Mecânico	Mais de 10 anos	Não	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro
Engenheiro Mecânico	5 a 10 anos	Sim, capacitação básica em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Em parte	Outro

1. Qual sua formação acadêmica?	2. Há quanto tempo trabalha com desenvolvimento de produtos?	3. Os profissionais envolvidos no projeto de produto possuem cursos na área de metrologia e/ou tolerâncias dimensionais e geométricas?	4. Que etapas do desenvolvimento do produto (termoplástico injetado) são gerenciadas pela empresa?	5. Essas etapas são executadas na mesma empresa?	6. Quais das ferramentas de apoio ao projeto, descritas abaixo, são empregadas para captação das necessidades do cliente e geração dos requisitos do produto?
Designer	Mais de 10 anos	Sim, capacitação básica em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Projeto do molde	Sim	Outro
Engenheiro Mecânico	5 a 10 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade
Designer	Mais de 10 anos	Sim, capacitação básica em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade, Análise Funcional
Mestre	2 a 4 anos	Sim, capacitação especializada em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, try out do molde	Sim	Diagrama de Kano, Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade
Técnico (Projetos Mecânicos, Mecânica, Fabricação)	Mais de 1 ano	Sim, capacitação básica em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade
Designer	2 a 4 anos	Não	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto, Prototipagem	Sim	Metodologias da empresa
Engenheiro Mecânico	5 a 10 anos	Sim, capacitação básica em GD&T	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde	Sim	Diagrama de Kano, Matriz de QFD – Desdobramento da Função Qualidade
Mestre	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro
Mestre	Mais de 10 anos	Sim, cursos básicos de medição e identificação da simbologia	Descrição do escopo do produto, Descrição das especificações técnicas do produto, Conceito do produto, Detalhamento técnico do produto, Fabricação do produto, Projeto do molde, Fabricação do molde, Fabricação do lote piloto	Sim	Outro

Respostas ao questionário - questões 07 a 12

7.Como é feito o mapeamento funcional do produto pelo time de desenvolvimento?	8.De que forma são sinalizados os pontos críticos do produto para a equipe de engenharia?	9.No detalhamento dos SSCs (sistemas, subsistemas e componentes), quais os procedimentos para especificação dimensional e geométrica são adotados nos projetos?	10.A empresa executa análise prévia ou revisão dos documentos quanto à especificação das tolerâncias dimensionais e geométricas aplicadas no projeto?	11.Os desenhos do produto possuem referências ou cotas críticas?	12.Que tolerâncias (dimensionais e geométricas) do projeto de produto são analisadas, consideradas e medidas pela empresa?
Durante a geração de alternativas do produto	Desconheço	Linguagem GD&T	Raramente	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto		Dimensionamento ou cotação cartesiana	Raramente	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Raramente	Não	Somente as tolerâncias críticas
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa, Arquivo digital	Cotação funcional	Raramente	Não	Somente as tolerâncias críticas
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa	Cotação funcional	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa	Cotação funcional	Raramente	Não	Somente as tolerâncias críticas
Durante a geração de alternativas do produto	Reuniões, Email	Nenhuma das alternativas anteriores	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa, Arquivo digital	Dimensionamento ou cotação cartesiana	As vezes	Não	Somente as tolerâncias críticas
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa, Arquivo digital	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Raramente	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Arquivo digital	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Raramente	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Durante a geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa, Arquivo digital	Linguagem GD&T	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Email, Documentação impressa, Arquivo digital	Dimensionamento ou cotação cartesiana	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação

7.Como é feito o mapeamento funcional do produto pelo time de desenvolvimento?	8.De que forma são sinalizados os pontos críticos do produto para a equipe de engenharia?	9.No detalhamento dos SSCs (sistemas, subsistemas e componentes), quais os procedimentos para especificação dimensional e geométrica são adotados nos projetos?	10.A empresa executa análise prévia ou revisão dos documentos quanto à especificação das tolerâncias dimensionais e geométricas aplicadas no projeto?	11.Os desenhos do produto possuem referências ou cotas críticas?	12.Que tolerâncias (dimensionais e geométricas) do projeto de produto são analisadas, consideradas e medidas pela empresa?
Após o conceito do produto estabelecido	Reuniões, Email	Linguagem GD&T	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Durante a geração de alternativas do produto	Reuniões, Documentação impressa, Arquivo digital	Linguagem GD&T	Raramente	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto		Linguagem GD&T	Raramente	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Reuniões, Arquivo digital	Dimensionamento ou cotação cartesiana	As vezes	Não	Somente as tolerâncias críticas
Após o conceito do produto estabelecido	Reuniões, Email	Linguagem GD&T	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Após o conceito do produto estabelecido	Reuniões, Email, Arquivo digital	Linguagem GD&T	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Durante o projeto detalhado para a fabricação	Reuniões, Email	Dimensionamento ou cotação cartesiana	As vezes	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Durante a geração de alternativas do produto	Reuniões, Email	Dimensionamento ou cotação cartesiana	As vezes	Não	Somente as tolerâncias críticas
Durante a geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Somente quando solicitado	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Durante o projeto detalhado para a fabricação	Descritivo por e-mail, Sinalização manual no projeto de produto, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Somente quando solicitado	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Não é feito mapeamento das funções do produto	Descritivo por e-mail	Nenhuma das alternativas anteriores	Nunca	Não	Apenas as tolerâncias especificadas pelo cliente
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Cotação funcional	Sempre	Sim	Somente as tolerâncias críticas

7.Como é feito o mapeamento funcional do produto pelo time de desenvolvimento?	8.De que forma são sinalizados os pontos críticos do produto para a equipe de engenharia?	9.No detalhamento dos SSCs (sistemas, subsistemas e componentes), quais os procedimentos para especificação dimensional e geométrica são adotados nos projetos?	10.A empresa executa análise prévia ou revisão dos documentos quanto à especificação das tolerâncias dimensionais e geométricas aplicadas no projeto?	11.Os desenhos do produto possuem referências ou cotas críticas?	12.Que tolerâncias (dimensionais e geométricas) do projeto de produto são analisadas, consideradas e medidas pela empresa?
Durante a geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Sinalização manual no projeto de produto, Arquivo digital (CAD, por exemplo), Ferramenta específica	Nenhuma das alternativas anteriores	Sempre	Sim	Todas as tolerâncias especificadas no projeto
Não é feito mapeamento das funções do produto	nao e feito	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Nunca	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Após o conceito do produto estabelecido	Descritivo por e-mail, Sinalização manual no projeto de produto, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Raramente	Sim	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Linguagem GD&T	Somente quando solicitado	Sim	Somente as tolerâncias críticas
Durante a geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Às vezes	Sim	Somente as tolerâncias críticas
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Sinalização manual no projeto de produto, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Somente quando solicitado	Não	As tolerâncias são "adaptadas" à fabricação
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Arquivo digital (CAD, por exemplo)		Somente quando solicitado	Sim	Todas as tolerâncias especificadas no projeto
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Sinalização manual no projeto de produto, Arquivo digital (CAD, por exemplo), Ferramenta específica	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Somente quando solicitado	Sim	Todas as tolerâncias especificadas no projeto
Durante a geração de alternativas do produto	Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Sempre	Sim	Todas as tolerâncias especificadas no projeto
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail	Cotação funcional	Somente quando solicitado	Sim	Somente as tolerâncias críticas
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Sinalização manual no projeto de produto, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Somente quando solicitado	Sim	Todas as tolerâncias especificadas no projeto
Antes da geração de alternativas do produto	Descritivo por e-mail, Arquivo digital (CAD, por exemplo)	Dimensionamento ou cotação cartesiana	Sempre	Sim	Todas as tolerâncias especificadas no projeto

Respostas ao questionário - questões 13 a 17

13.Existem modificações nos desenhos de engenharia quando o produto já está em produção?	14.Qual a frequência de interpretação ambígua do projeto de produto pelas equipes envolvidas no processo?	15.Os prazos para execução das atividades de projetos são atendidos?	16.Em sua opinião o que compromete a entrega no prazo?	17.Existem retrabalhos no processo de projeto?	Se positivo, quais as causas?
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Modificações no Projeto	não	
Frequentemente	Frequentemente	Sempre	Falta de experiência em determinada área	sim	Não adequação ao solicitado pelo cliente
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área, Interferências do cliente	sim	Alterações no escopo e especificações no decorrer do projeto
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Modificações no Projeto	sim	Mudanças eventuais do produto
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área	sim	Mudanças e adequações
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Modificações no Projeto	sim	Eventuais modificações no projeto
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Modificações no Projeto	sim	Falta de ferramenta eficiente de análise crítica da consistência e qualidade da informação.
Frequentemente	Frequentemente	De vez em quando	Pouca capacitação da equipe	sim	
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Falta de experiência em determinada área, crescente número de projetos	sim	Mudança de escopo
Frequentemente	Frequentemente	Na maioria das vezes	Mudança no escopo	sim	Mudança de escopo, correção de defeitos de fabricação, mudança de componentes
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Formação de equipes, Falta de experiência em determinada área, Mudanças por parte do cliente	sim	mudanças por parte do cliente, adequações da engenharia, refeitura do molde
Frequentemente	Frequentemente	Na maioria das vezes	Falta de análise da gestão do desenvolvimento do produto com foco em projeto (Falta de elaboração de EAP)	sim	Mudanças ou má interpretação do escopo

13.Existem modificações nos desenhos de engenharia quando o produto já está em produção?	14.Qual a frequência de interpretação ambígua do projeto de produto pelas equipes envolvidas no processo?	15.Os prazos para execução das atividades de projetos são atendidos?	16.Em sua opinião o que compromete a entrega no prazo?	17.Existem retrabalhos no processo de projeto?	Se positivo, quais as causas?
Frequentemente	Frequentemente	Raramente	Falta de experiência em determinada área	sim	
Frequentemente	Frequentemente	Na maioria das vezes	Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área	não	
Frequentemente	Frequentemente	Na maioria das vezes	Burocracia e comunicação	não	
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Pouca capacitação da equipe	sim	
Às vezes	Às vezes	Raramente	Formação de equipes	sim	Dúvidas na leitura e interpretação
Frequentemente	Frequentemente	Na maioria das vezes	Solicitações extras, aprovações tardias do cliente	sim	Alterações formato e função do produto
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	Pouca capacitação da equipe	sim	alteração no produto
Às vezes	Às vezes	De vez em quando	retorno e aprovações do cliente	sim	compatibilidade com a fabricação
Frequentemente	Frequentemente	Raramente	Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área	sim	modificações tardias, alterações do produto
Às vezes	Às vezes	Raramente	retorno do cliente e de algumas áreas envolvidas no projeto	sim	modificações no projeto
Frequentemente	Às vezes	Às vezes	Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área	sim	
Às vezes	Às vezes	Às vezes	Formação de equipes, Falta de experiência em determinada área	sim	

13.Existem modificações nos desenhos de engenharia quando o produto já está em produção?	14.Qual a frequência de interpretação ambígua do projeto de produto pelas equipes envolvidas no processo?	15.Os prazos para execução das atividades de projetos são atendidos?	16.Em sua opinião o que compromete a entrega no prazo?	17.Existem retrabalhos no processo de projeto?	Se positivo, quais as causas?
Frequentemente	Frequentemente	Às vezes	Falta de experiência em determinada área	sim	Melhorias
Frequentemente	Frequentemente	Às vezes	todos	sim	Falta de metodologia e procedimentos, treinamentos aliados a capacitação técnica, profissional e comportamental
Frequentemente	Às vezes	Às vezes	Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área	sim	diversas
Às vezes	Raramente	Frequentemente	Comunicação	sim	Muitos problemas de comunicação, interpretação equivocada.
Às vezes	Às vezes	Frequentemente	Formação de equipes, Pouca capacitação da equipe, Falta de experiência em determinada área	sim	Falta de comunicação inequívoca e unívoca
Raramente	Às vezes	Frequentemente	Formação de equipes, Falta de experiência em determinada área	sim	Possivelmente, pela falta de procedimentos de verificação sistemáticos mais claros, objetivos e simples.
Raramente	Às vezes	Às vezes	Falta de experiência em determinada área	sim	Falta de cotas e de detalhamento.
Às vezes	Às vezes	Frequentemente	Formação de equipes, Falta de experiência em determinada área	não	
Às vezes	Às vezes	Frequentemente	Alteração de escopo após início de projeto	sim	Alteração de escopo após início de projeto
Às vezes	Às vezes	Às vezes	Falta de experiência em determinada área	sim	Falta de experiência e disciplina
Frequentemente	Às vezes	Raramente	Formação de equipes, Falta de experiência em determinada área	sim	solicitação do cliente, falhas detectadas no lote piloto
Frequentemente	Frequentemente	Frequentemente	Formação de equipes	sim	Alinhamento entre Design e Engenharia

APÊNDICE B - Análise documental

A análise documental teve por objetivo:

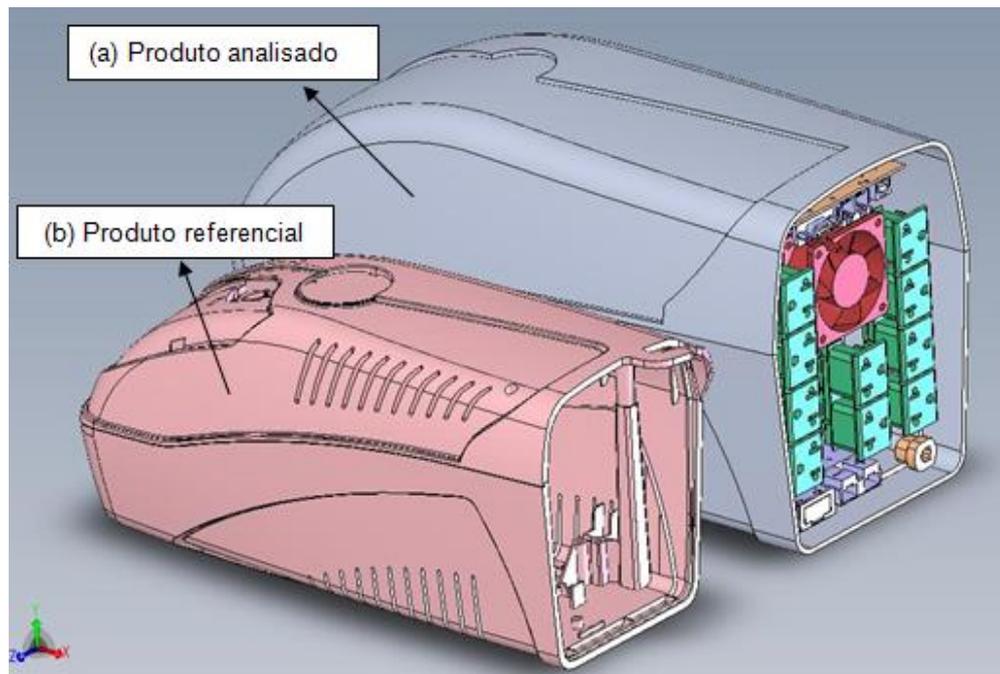
- Investigar as informações referentes à configuração do produto e especificação dimensional dos projetos relacionados;
- Identificar problemas relativos à dificuldade de leitura e compreensão do detalhamento técnico que podem gerar interpretação equivocada do projeto;
- Verificar se há um procedimento quanto à sinalização dos pontos relevantes sobre a funcionalidade, montagem, posicionamento e forma do produto que deveriam ser atendidos na fabricação do produto.

Projeto A: Nobreak

Como definido por Aulete (2008), o nobreak é um “dispositivo dotado de bateria para suprir, temporariamente, o fornecimento de energia quando ocorre sua interrupção ou oscilação”.

O projeto A refere-se a um nobreak cujo design segue o mesmo conceito de outro produto existente da empresa contratante, possuindo design semelhante e linhas estéticas sinuosas. No entanto, conforme ilustrado na figura 15, foi redimensionado para comportar os novos componentes solicitados pelo cliente. As informações sobre o detalhamento do produto foram obtidas com a investigação dos documentos disponibilizados, além de entrevista com os envolvidos no projeto: uma equipe multidisciplinar formada por designers, engenheiros, técnicos, coordenadores de projeto e gerente de produto.

Figura 15. Produto analisado (a); produto anterior utilizado como referência (b)



Fonte: empresa de projetos

MAPEAMENTO FUNCIONAL

O produto foi desenvolvido para:

- Comportar duas baterias (fornecidas pelo cliente), posicionadas de modo vertical, com os conectores voltados para cima;
- Possuir uma tampa para acesso ao compartimento das baterias;
- Conter proteção simplificada para os elementos eletrificados inserida no compartimento de baterias;
- Prever a utilização de uma placa para ativar dois acionadores *touch*, de um painel digital de 03 dígitos;
- Acondicionar 02 placas cujo dimensional é 20 x 5 mm;
- Fixar diferentes transformadores;

- Contemplar os elementos descritos a seguir no leiaute ou arranjo interno:
 - Trafo montado em uma base metálica para fixação do produto no gabinete;
 - Placas PCI (*Peripheral Component Interconnect*) para desenvolvimento com elementos dissipadores montados;
 - Régua com quatro tomadas, padrão NBR 14136 – opção 1;
 - Régua com uma tomada, padrão NBR 14136 – opção 2;
 - Tomadas (NBR14136) para engate em placa metálica,
 - Adaptador de tomadas para o padrão NBR14136 e
 - *Cooler DC Brushless*.

- Utilizar o mesmo botão *touch* e lente desenvolvidos para o produto referencial;

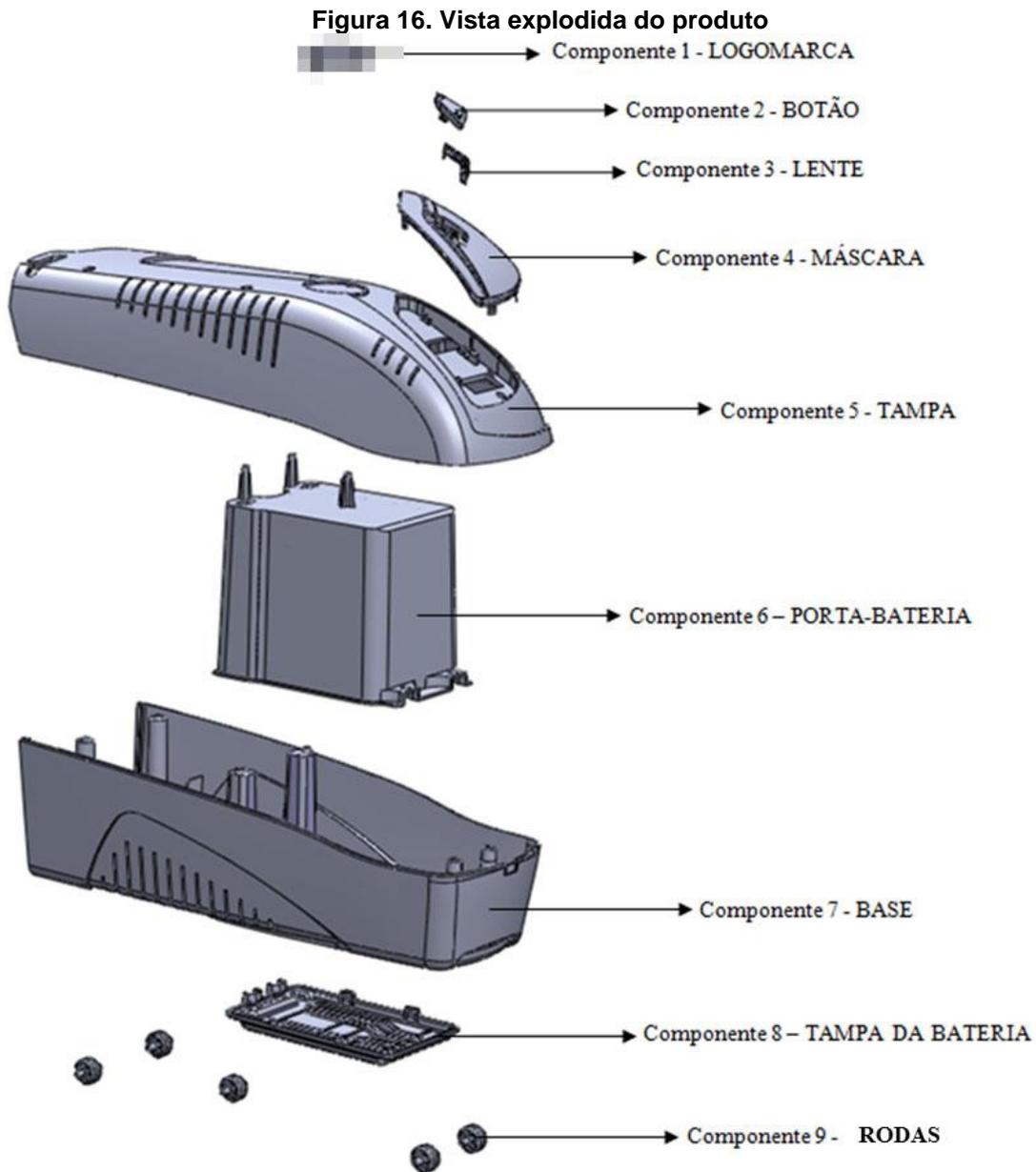
- Proporcionar uma montagem flexível para 02 tipos de trafos e 02 placas PCIs diferentes;

- Considerar dimensional das PCIs definidas em: 270x114 e 245x114 mm;

- Possibilitar a utilização de um elemento montável no gabinete, para suporte das placas PCIs;

- Prever painel do fundo em chapa metálica contendo:
 - 10 tomadas;
 - 01 conector USB (*Universal Serial Bus*);
 - 01 conector RS 232;
 - 01 conector de bateria;
 - 01 porta fusível;
 - 01 prendedor de cabo;
 - 01 etiqueta adesiva (35 x 45 mm).

Este é um produto que contém nove peças injetadas formando o conjunto (gabinete plástico) montado, como ilustrado na figura 16.

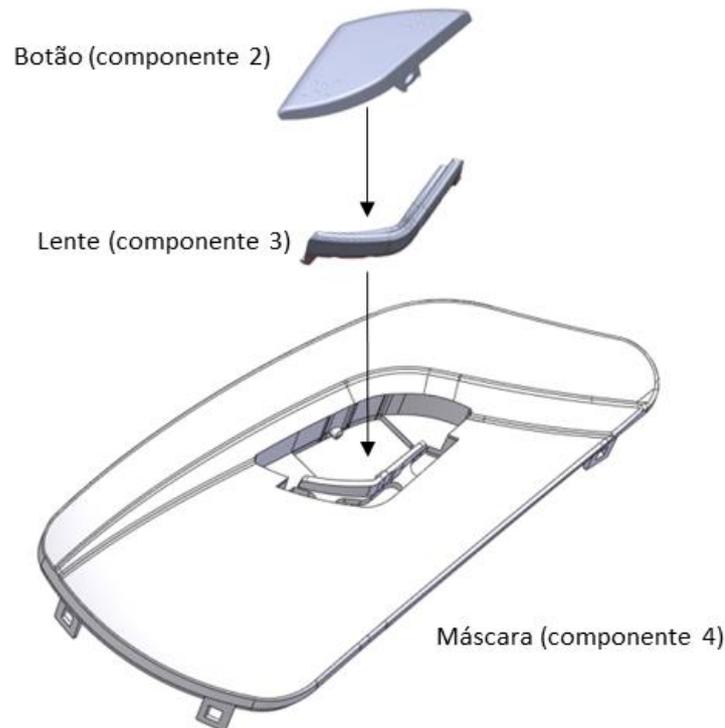


Fonte: empresa de projetos

Antes de iniciar a identificação das regiões críticas, a partir das interfaces das diferentes peças que compõem o produto, foi necessária uma visão generalizada do plano de montagem do conjunto. O produto foi dividido em três submontagens, cujos sistemas de fixação foram o engate, o encaixe e o aparafusamento. A sequência hierarquizada é apresentada a seguir.

- 1ª submontagem: Componentes fixados na máscara (componente 4) conforme figura 17:
 - Lente (componente 3) – firmada por engate;
 - Botão de acionamento (componente 2) – também por engate.

Figura 17. Componentes da 1ª submontagem



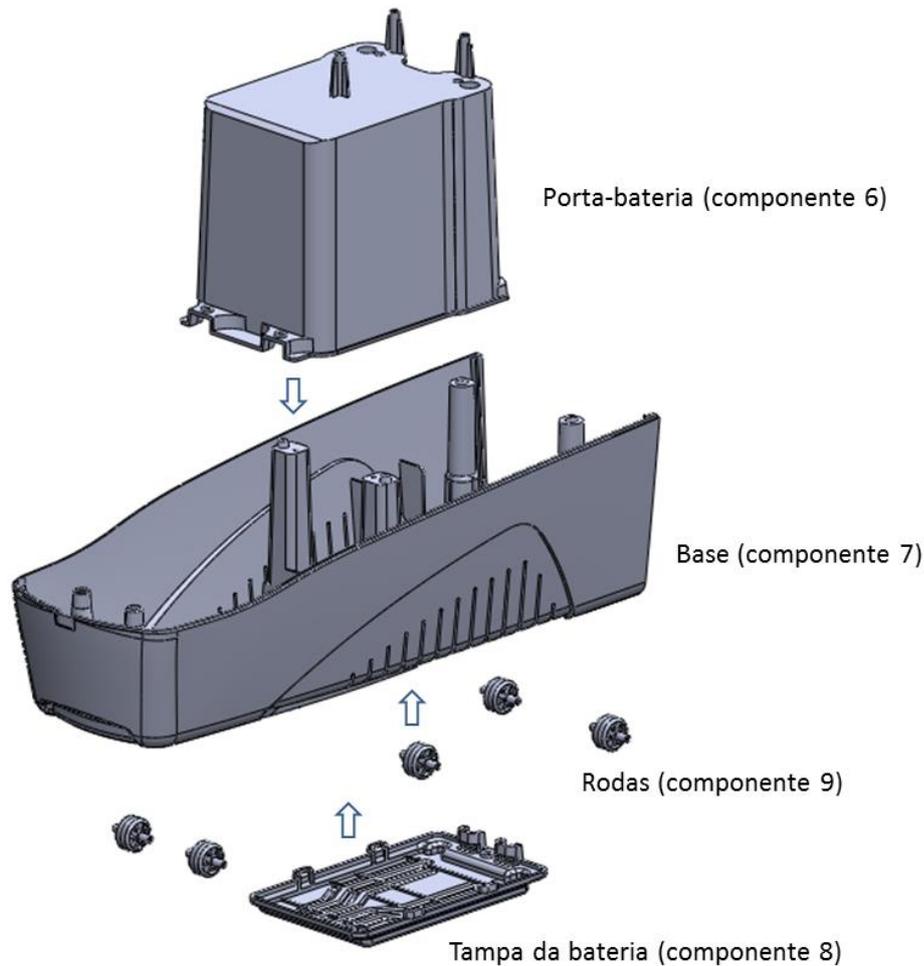
Fonte: empresa de projetos

- 2ª submontagem: Componentes fixados na base (componente 7):
 - Rodas (componente 9) – fixação por engate;
 - Porta bateria (componente 6) – fixação por aparafusamento;
 - Placa metálica ou painel posterior (incluindo réguas de tomadas, porta fusível, cooler, presa cabos e presilhas do suporte da PCI) – fixação por engate;
 - Trafo específico – aparafusamento;
 - PCI principal (incluindo a soldagem dos fios de ligação da PCI aos componentes elétrico-eletrônicos e engate do cabo flat da PCI às tomadas) – aparafusamento;

- Tampa da bateria (componente 8), após a acomodação da bateria também fixada por aparafusamento.

A figura 18 apresenta apenas os componentes injetados presentes na 2ª submontagem.

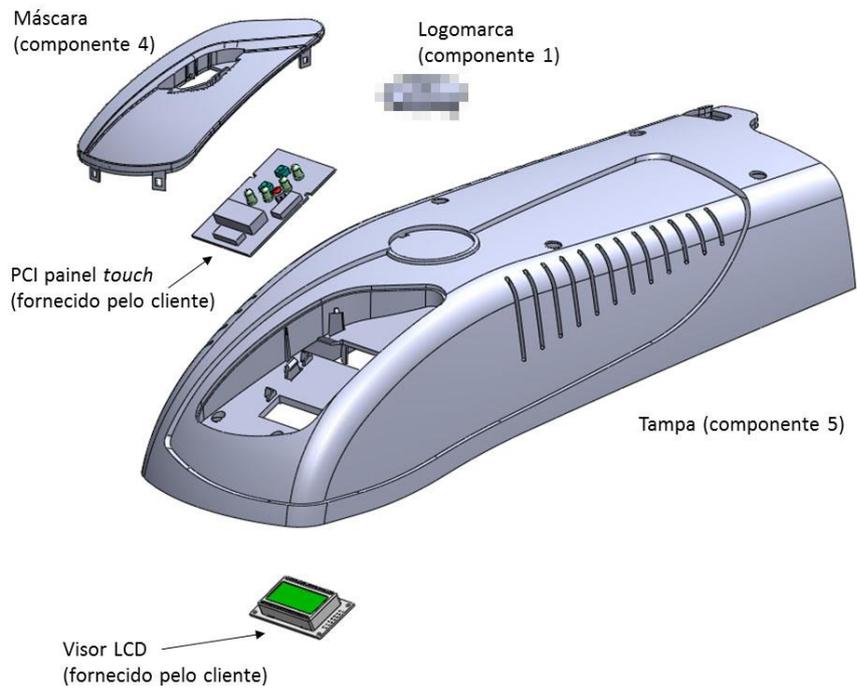
Figura 18. Componentes da 2ª submontagem



Fonte: empresa de projetos

- 3ª submontagem: Componentes fixados na tampa (componente 5) como mostra a figura 19:
 - PCI do painel *touch* e *leds* – fixação por engate;
 - Visor LCD – aparafusamento;
 - Máscara (componente 4) – fixação por engate;
 - Logomarca (componente 1) – também por engate.

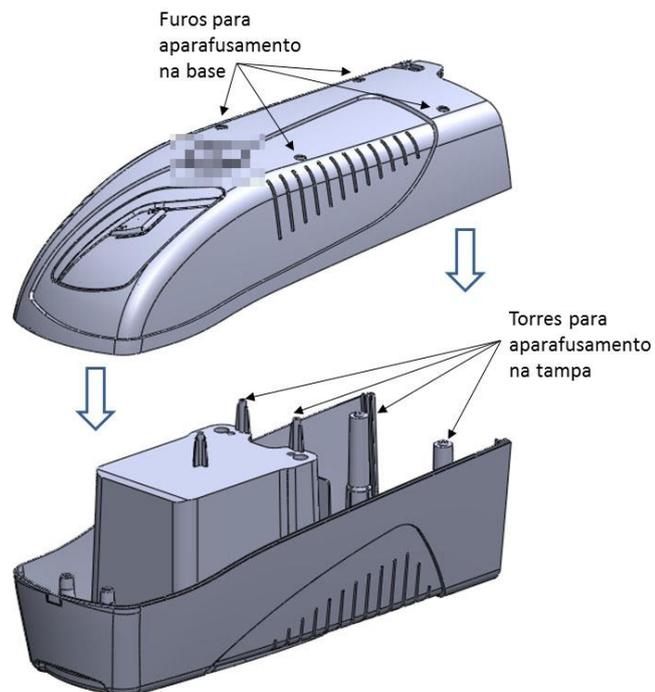
Figura 19. Componentes da 3ª submontagem



Fonte: empresa de projetos

Para finalizar a montagem do produto, a tampa (componente 5, incluindo a 1ª submontagem) foi parafusada à base (componente 7, incluindo 2ª e 3ª submontagens), conforme figura 20.

Figura 20. Montagem final do produto



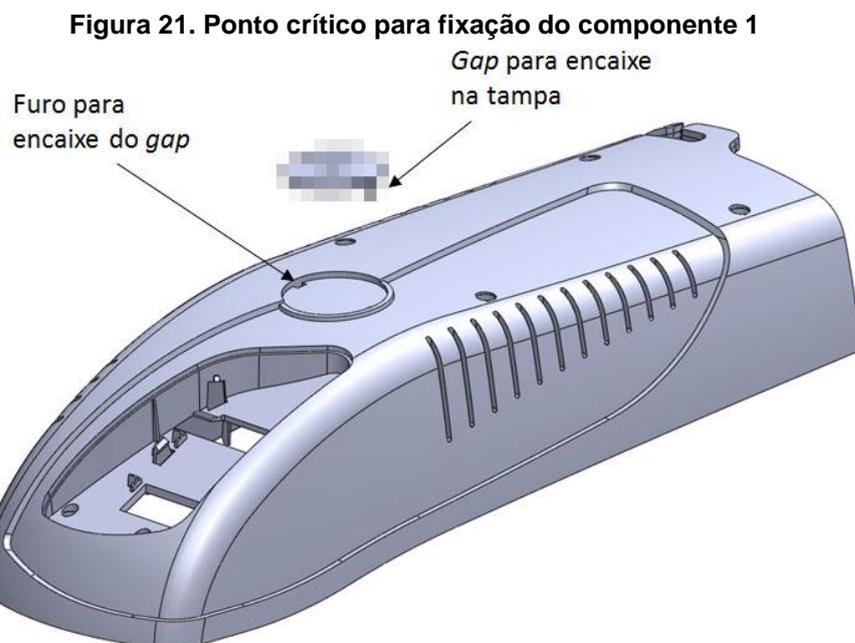
Fonte: empresa de projetos

Identificação dos pontos críticos

Para descrever os pontos críticos referentes ao contato com as interfaces, é importante descrever o significado de dois elementos que afetam diretamente a montagem, que são: o “*snap*” e o “*gap*”. *Snap* corresponde à aleta ou aba de fixação com encaixe flexível por contato, e *gap* é o alojamento ou espaçamento entre superfícies de peças distintas, quando da montagem de um produto.

Concernente à montagem, a gestão dos acoplamentos e fixações de nove componentes diferentes é um dos pontos cruciais para o atendimento aos requisitos do produto. A seguir, desdobramentos dos principais pontos que exigem um controle dimensional mais efetivo:

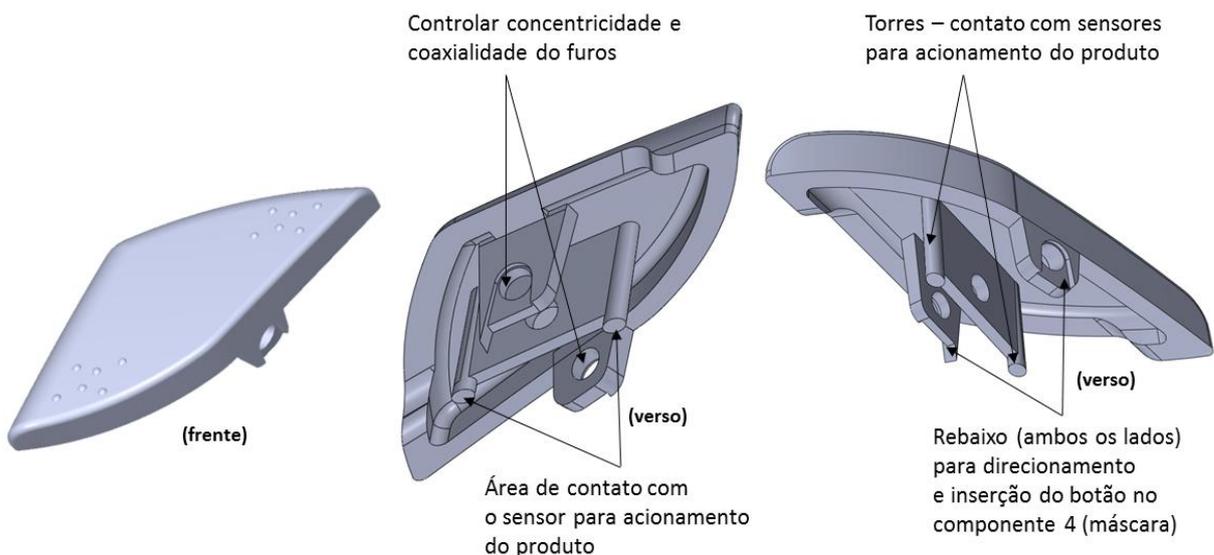
- Engate do componente 1 (logomarca) no componente 5 (tampa) – a preocupação nesta montagem é evitar folga excessiva que possibilite ruído e movimentação do componente 1. Exige que a tolerância seja ajustada de forma a permitir o encaixe dos *snap*s com leve interferência, como sinaliza a figura 21.



Fonte: empresa de projetos

- Montagem do componente 2 (botão) no componente 4 (máscara) – o botão é fixado na máscara por engate e apresenta os pontos de criticidade descritos a seguir e sinalizados pela figura 22:
 - Altura das torres para contato direto com os sensores de acionamento do produto;
 - Rebaixo que propicia o direcionamento dos eixos da máscara e engate dos mesmos nos furos do botão;
 - Além do diâmetro dos furos, devem ser consideradas as tolerâncias de posição (concentricidade e coaxialidade) destes furos para correta montagem.

Figura 22. Pontos críticos - componente 2 (botão)



Fonte: empresa de projetos

- Encaixe do componente 3 (lente) no componente 4 (máscara) – conforme visto na figura 23, nesta montagem, é indispensável considerar a interferência prevista para o engate, via controle da espessura e altura dos *snaps*.

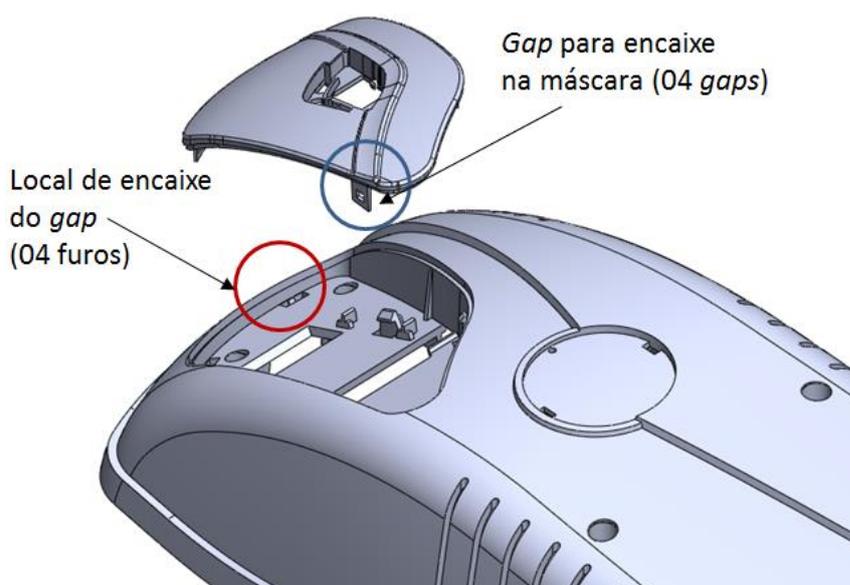
Figura 23. Análise do engate do componente 3 (lente)



Fonte: empresa de projetos

- Engate do componente 4 (máscara) no componente 5 (tampa) – idem ao anterior ver figura 24.

Figura 24. Análise da montagem do componente 4 (máscara)

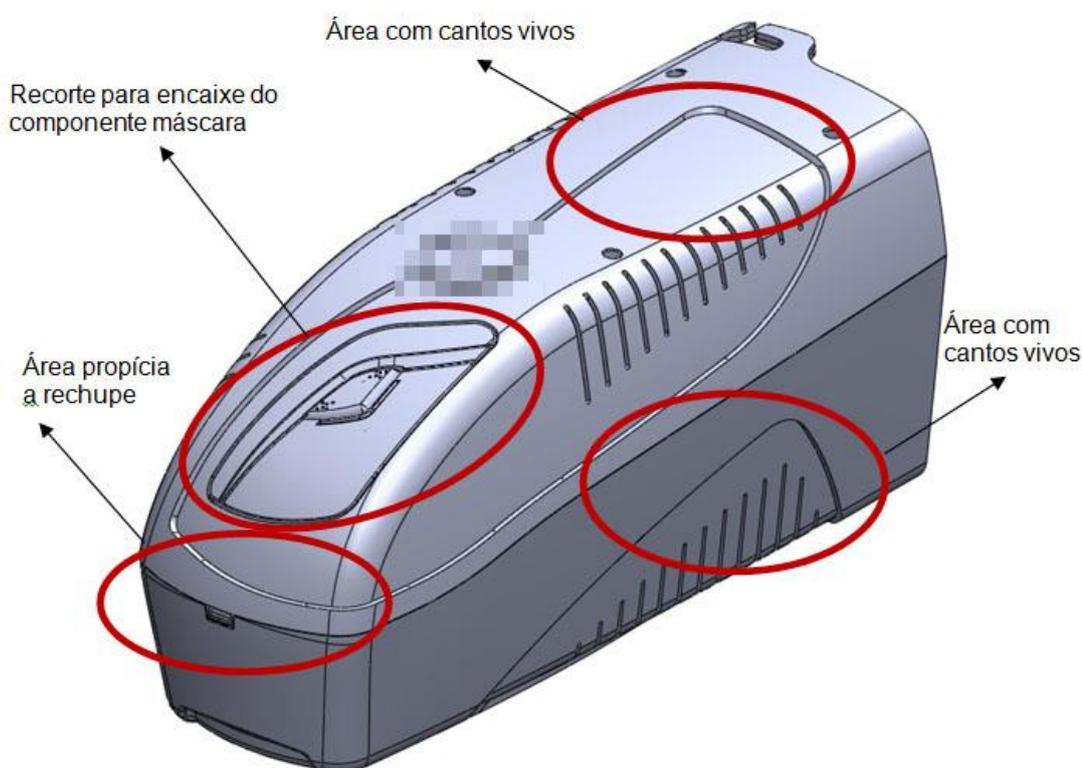


Fonte: empresa de projetos

Como pode ser visualizado na figura 25, por exigência do cliente, o produto foi projetado com cantos vivos sinalizados no recorte para encaixe do componente 4

(máscara) e desníveis na tampa e na base. Isso ocasionou um aumento nos custos de produção do molde devido à necessidade de fabricação de um número considerável de eletrodos (ferramentas para processo de eletroerosão) e, conseqüentemente, maior tempo para fabricação do produto. Na área imediatamente inferior ao do recorte, a espessura da parede não é constante, tornando essa região propícia para o aparecimento de desvios dimensionais ou rechupe na área localizada do componente 5 (tampa).

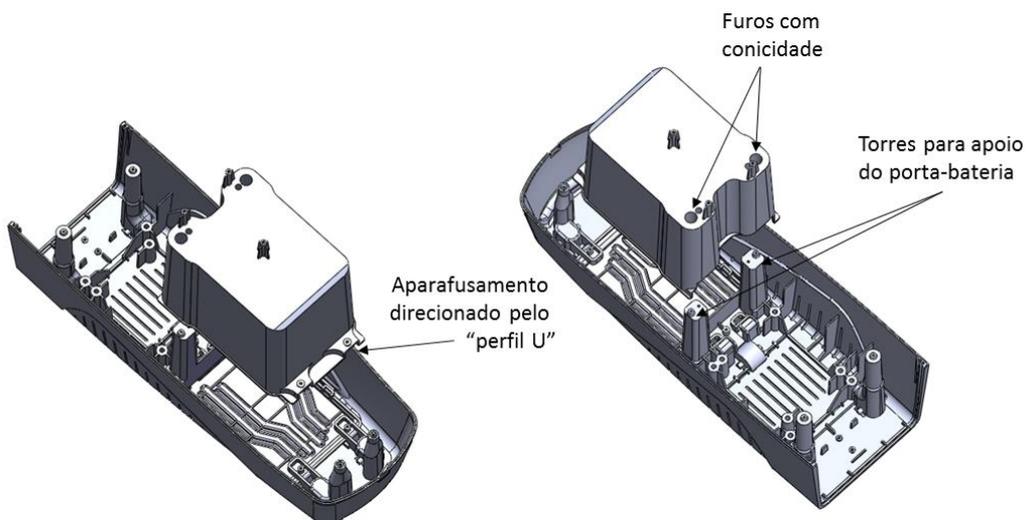
Figura 25. Pontos críticos da geometria do produto no projeto A.



Fonte: empresa de projetos

- Aparafusamento do componente 6 (porta-bateria) no componente 7 (base): – a geometria identificada na figura 26 como “perfil U” favorece o direcionamento do encaixe, devendo-se atentar para controle da concentricidade entre os furos. É importante também considerar a altura das torres inseridas na base que servem para direcionar os furos com conicidade interna (ver figura 26) para posterior aparafusamento da tampa.

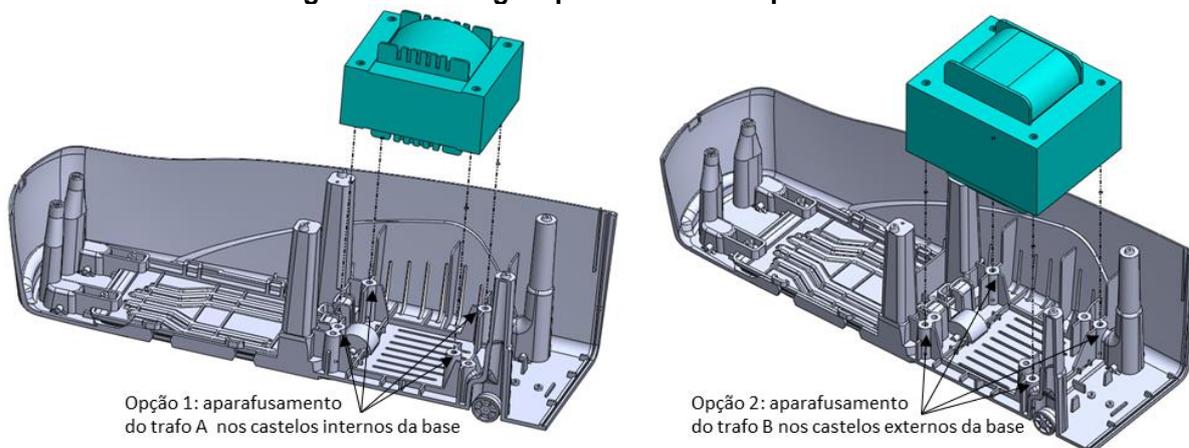
Figura 26. Análise das superfícies de contato - porta-bateria e base do produto



Fonte: empresa de projetos

- Aparafusamento do trafo (componente externo fornecido pelo cliente) no componente 7 (base) – também por solicitação do cliente, o produto deve comportar duas opções de trafo com tamanhos distintos, conforme mostra a figura 27. Pode-se considerar a própria dimensão do trafo, referência de montagem, que para correta acomodação interna no gabinete, deve ser prevista uma folga, considerando a maior largura do componente. Outros fatores decisivos são a altura e o diâmetro dos furos das torres de fixação deste componente, uma vez que a concentricidade e coaxialidade dos furos requerem um controle de variação mais incisivo, possibilitando a acomodação dos dois tipos de trafo e posterior aparafusamento.

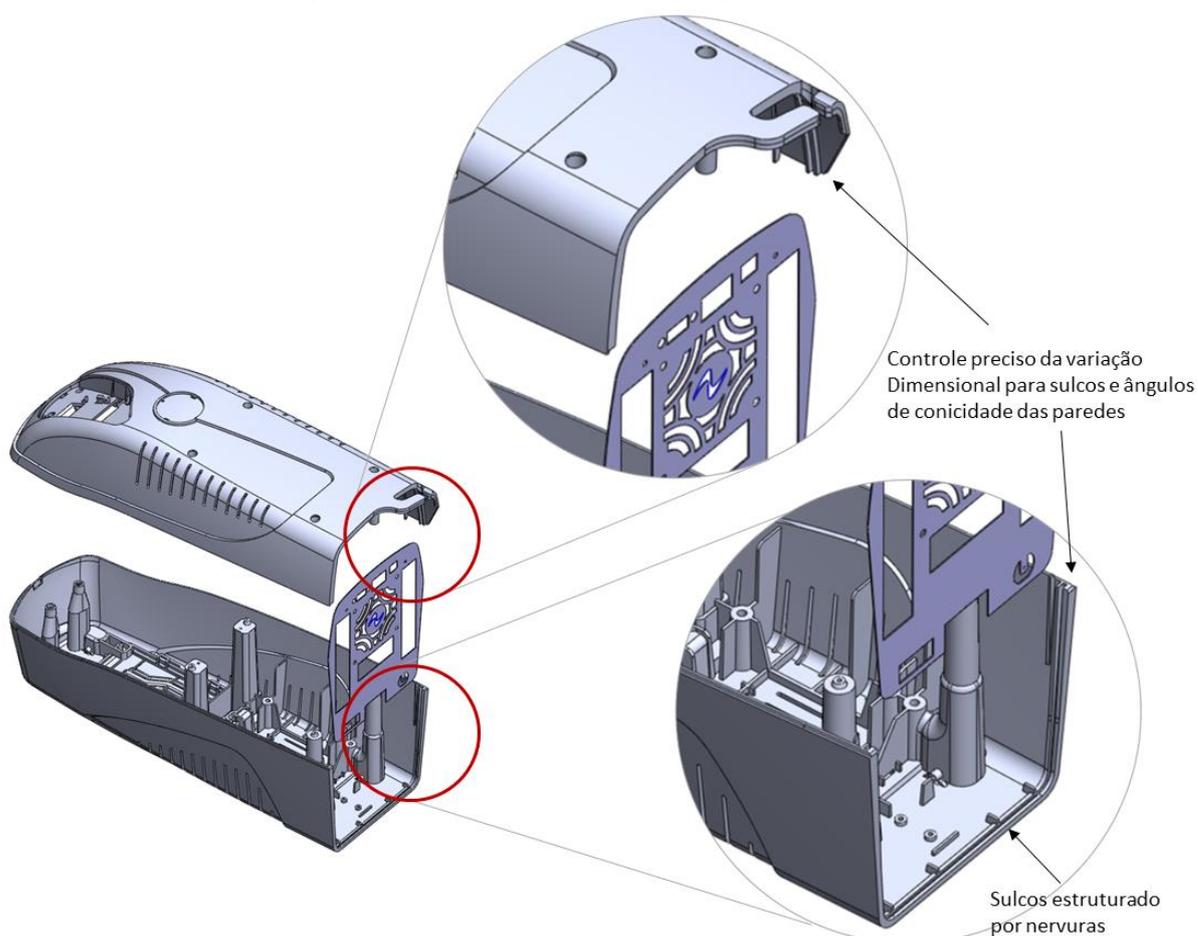
Figura 27. Montagem para diferentes tipos de trafo



Fonte: empresa de projetos

- Fixação do painel do fundo nos componente 7 (base) e 5 (tampa) – um aspecto indispensável para o acoplamento do painel traseiro é a espessura da placa metálica. Deve-se considerar uma folga na montagem e controlar o espaçamento, profundidade dos sulcos inseridos na tampa e na base, assim como nas áreas de contato, o ângulo de saída estabelecido para as paredes laterais, visando evitar áreas que propiciam o rechupe e uma possível interferência dimensional na folga prevista, ilustrado pela figura 28.

Figura 28. Área crítica para montagem da placa metálica

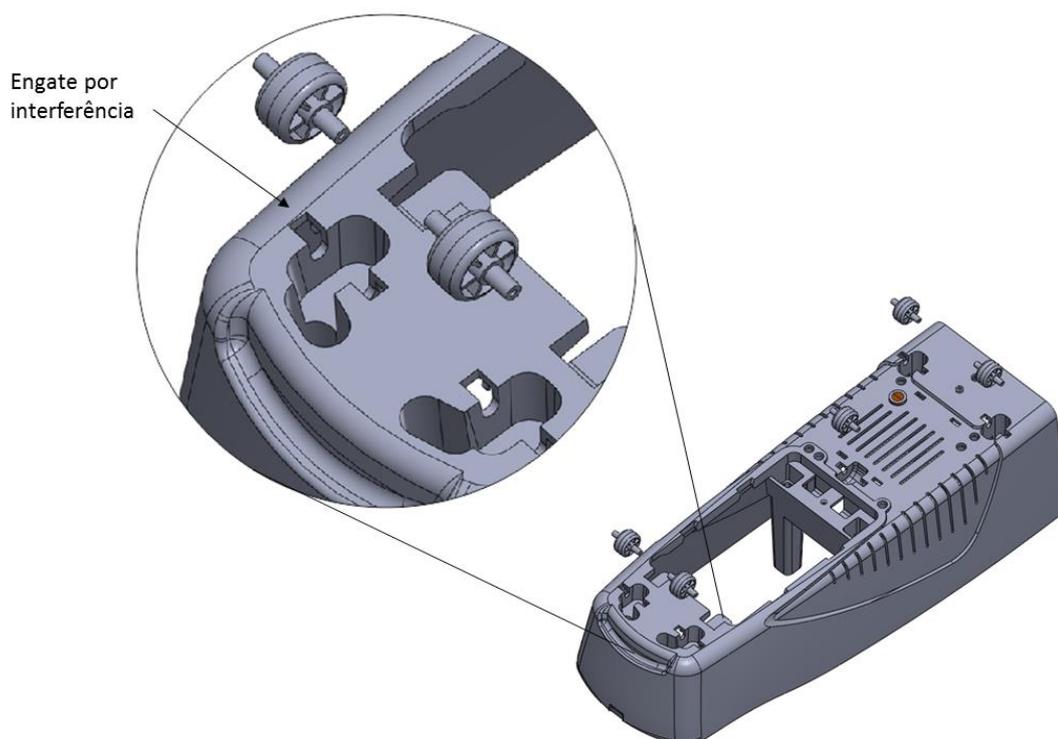


Fonte: empresa de projetos

- Engate dos componentes 9 (rodas) no componente 7 (base) – de acordo com o registro das dificuldades para a montagem disponibilizado pela equipe de projeto da empresa, a fixação das rodas apresentou problemas relacionados à resistência mecânica e interferência dimensional superior à necessária. Um dos pontos críticos que deveria ser considerado era distância (folgas) entre os elementos de engate da base e o eixo das

rodas. Conseqüentemente, deveria ser aplicada uma tolerância mais apertada para o diâmetro e comprimento do eixo, igualmente à largura da roda. Também deve ser averiguada com cautela a folga estabelecida entre o *gap* para engate (na base) e o eixo da roda, também o espaço livre para a roda movimentar-se, como mostra a figura 29.

Figura 29. Fixação das rodas na base do produto



Fonte: empresa de projetos

Especificação dimensional e geométrica

Após definição e aprovação final do conceito pelo cliente, foi realizada a engenharia de produto. Nesta etapa, o modelamento preliminar foi refinado contemplando as seguintes atividades:

- Definição do leiaute dos componentes internos, bem como das partições das peças e contrapeças;
- Viabilidade dos sistemas mecânicos: travamentos, fixação dos componentes;

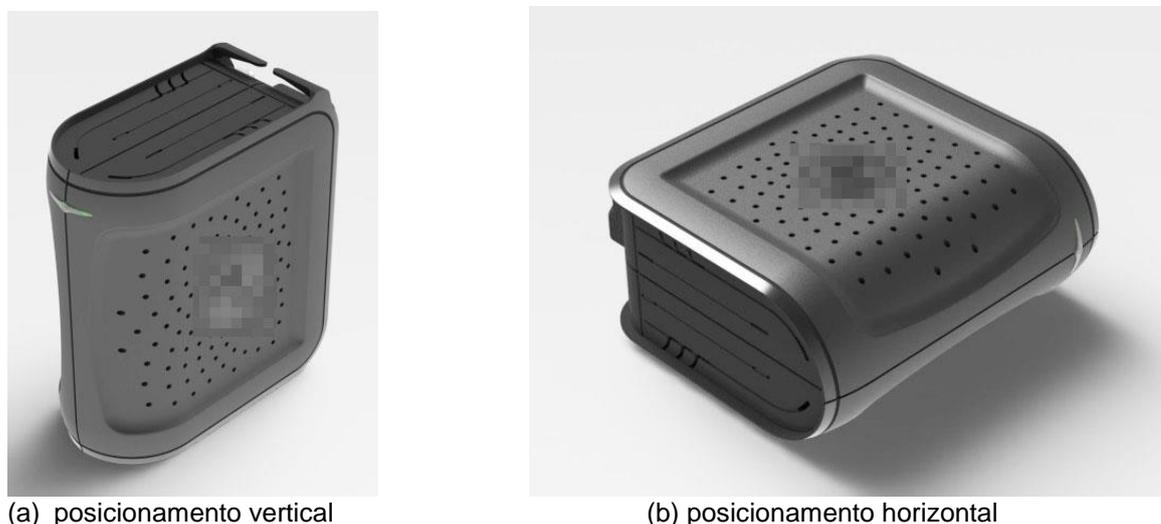
- Modelagem estrutural interna (*snaps*, nervuras, torres, castelos, *gaps*, espessuras, elementos de fixação);
- Definição das características dimensionais e geométricas, mediante análise das interfaces dos sistemas e subsistemas e pontos de criticidade do produto;
- Geração de arquivo CAD 3D para encaminhamento à etapa preliminar de projeto do molde de injeção.

O produto analisado não possui detalhamento técnico bidimensional. Na modelagem final não foi identificada aplicação de linguagem GD&T nem cotação funcional. Também não foram sinalizados os pontos de conflito (dimensionais e geométricos) para montagem do conjunto.

Projeto B: Estabilizador

O outro projeto estudado é um estabilizador, produto utilizado para regularizar a tensão de uma corrente elétrica. Conforme necessidades do cliente, o estabilizador deve apresentar design moderno, predominância de linhas sinuosas e, durante a utilização, pode ser posicionado vertical ou horizontalmente, como mostra a figura 30.

Figura 30. Posicionamento do estabilizador



Fonte: empresa de projetos

Requisitos do cliente para o produto:

- Possuir massa inferior a 170g;
- Utilizar o mesmo botão de acionamento desenvolvido para uma linha de produtos anteriores existentes na empresa;
- Montagem do gabinete por engate, sem utilização de parafusos.

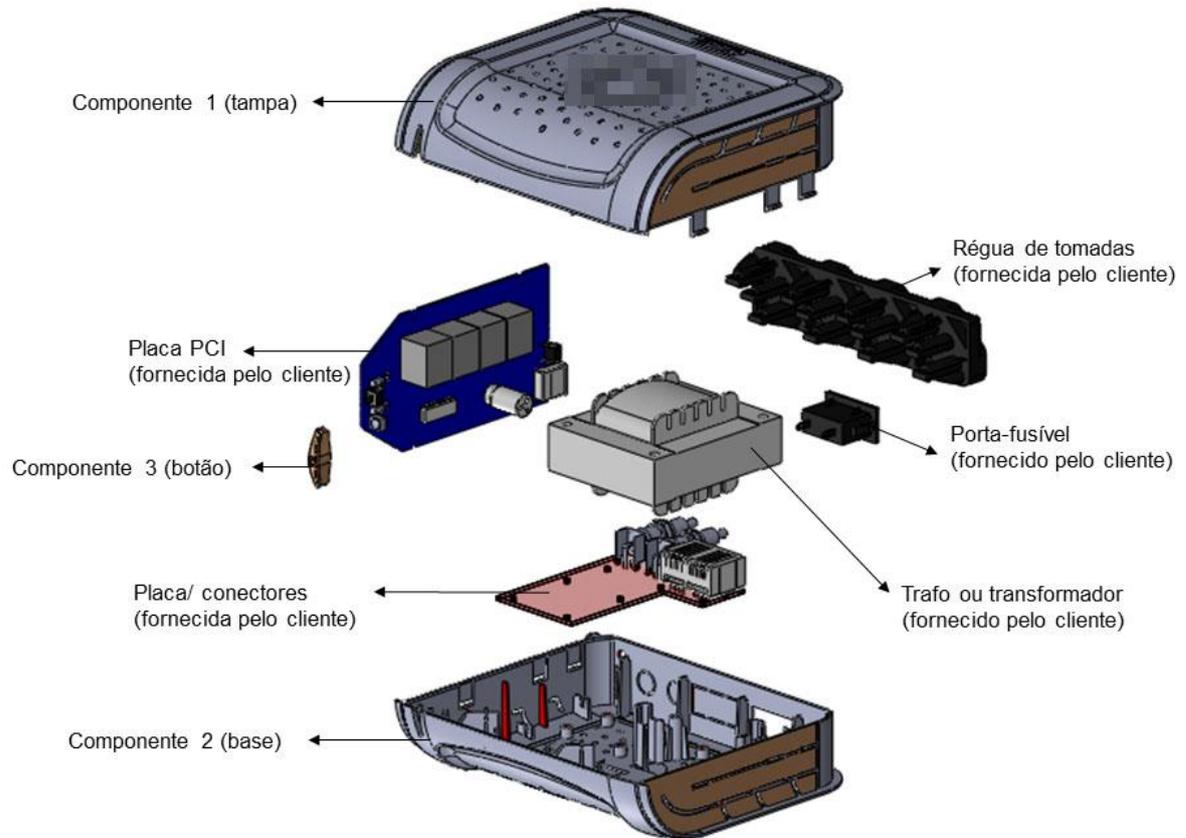
Mapeamento funcional

O produto foi desenvolvido para acondicionar:

- Trafo (transformador);
- Régua de tomadas;
- Porta fusível;
- Placa PCI;
- LED (01 unidade);
- Ventilação cujos furos da peça e contra peça assegurem a abertura para passagem do ar;
- Sistema de prensa cabo fixado apenas por interferência após montagem do produto.

Este é um produto que contém três peças injetadas formando o conjunto (gabinete plástico) montado, como ilustrado na figura 31.

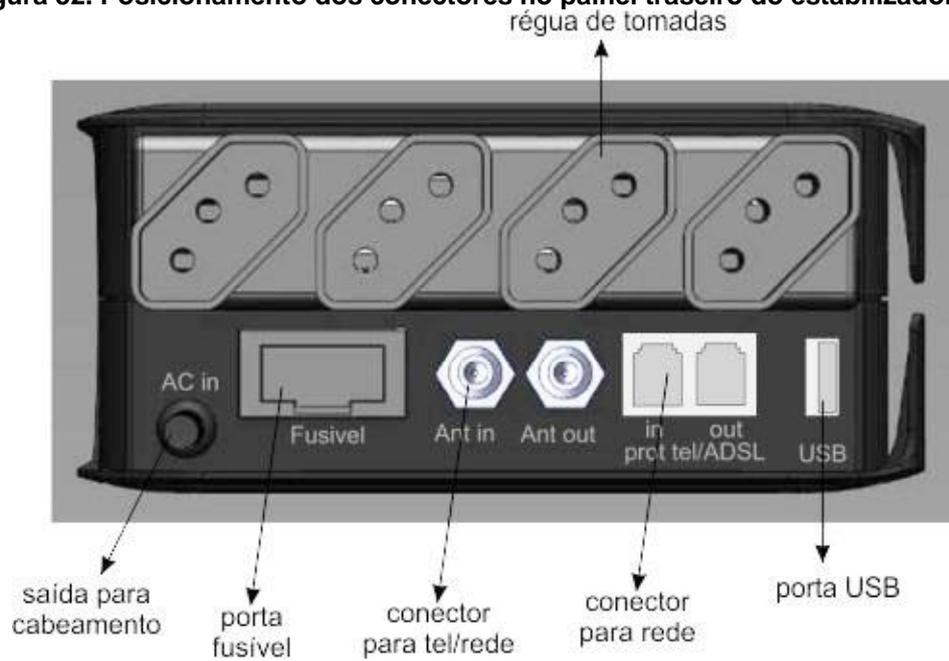
Figura 31. Vista explodida do produto B



Fonte: empresa de projetos

A figura 32 apresenta alguns componentes técnicos externos (fornecidos pelo cliente) inseridos no painel traseiro.

Figura 32. Posicionamento dos conectores no painel traseiro do estabilizador

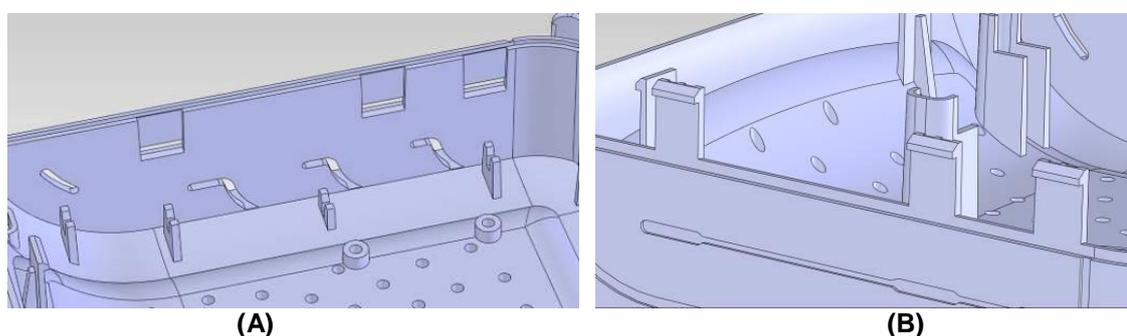


Fonte: empresa de projetos

Identificação dos pontos críticos

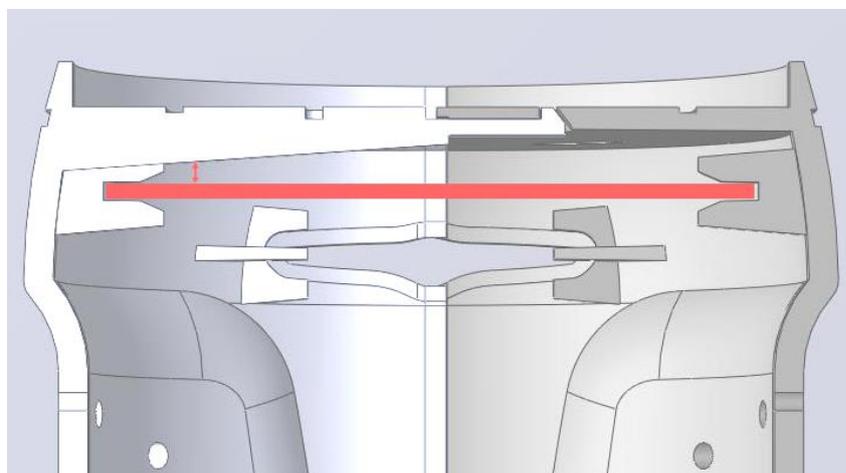
Por exigência do cliente, o produto deveria ser montado por *snaps*. Devido ao peso dos componentes internos, um dos principais pontos críticos da montagem de peça e contrapeça foi a ausência de um elemento de fixação do tipo parafuso. Para reforçar também os *snaps* laterais, a largura foi redimensionada para aumentar a resistência e a área de atuação (ver figuras 33 e 34).

Figura 33. Snaps laterais da base (A) e da tampa (B)



Fonte: empresa de projetos

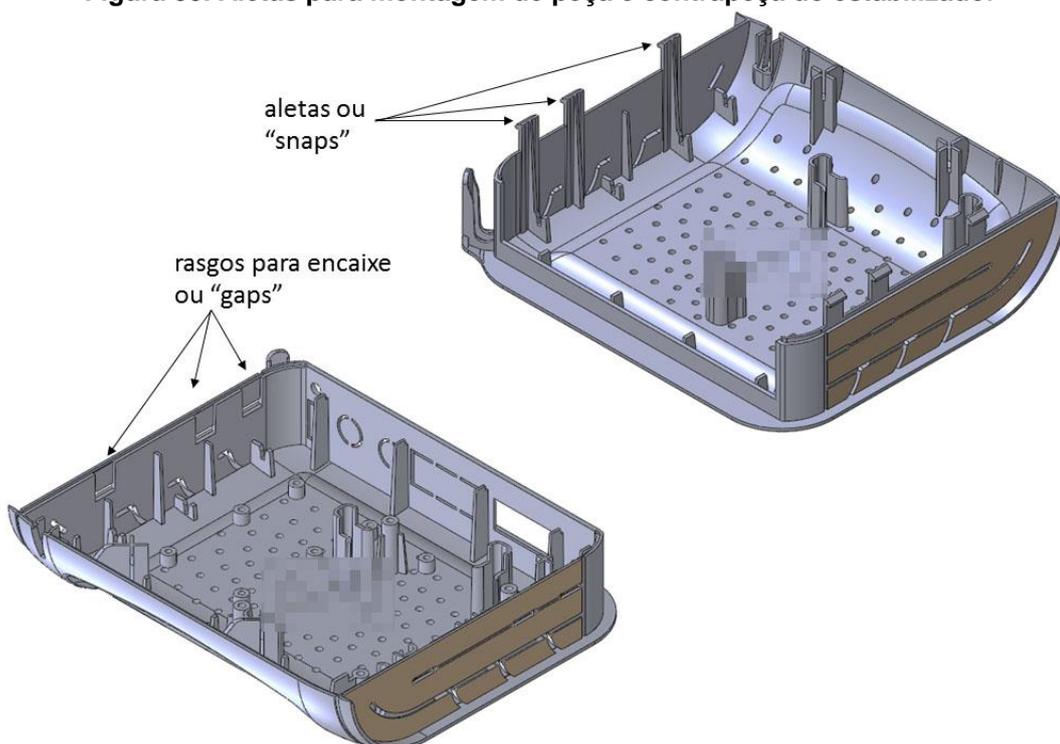
Figura 34. Vista em corte - fechamento do *snap* da tampa com a base



Fonte: empresa de projetos

Conforme descritivo disponibilizado pela equipe de projeto, um problema identificado durante o teste de resistência relativo à montagem (somente identificado após prototipagem do produto) foi manter o gabinete fechado apenas por engate dos elementos de fixação (*snaps* nos *gaps*), conforme indicam as setas na figura 35.

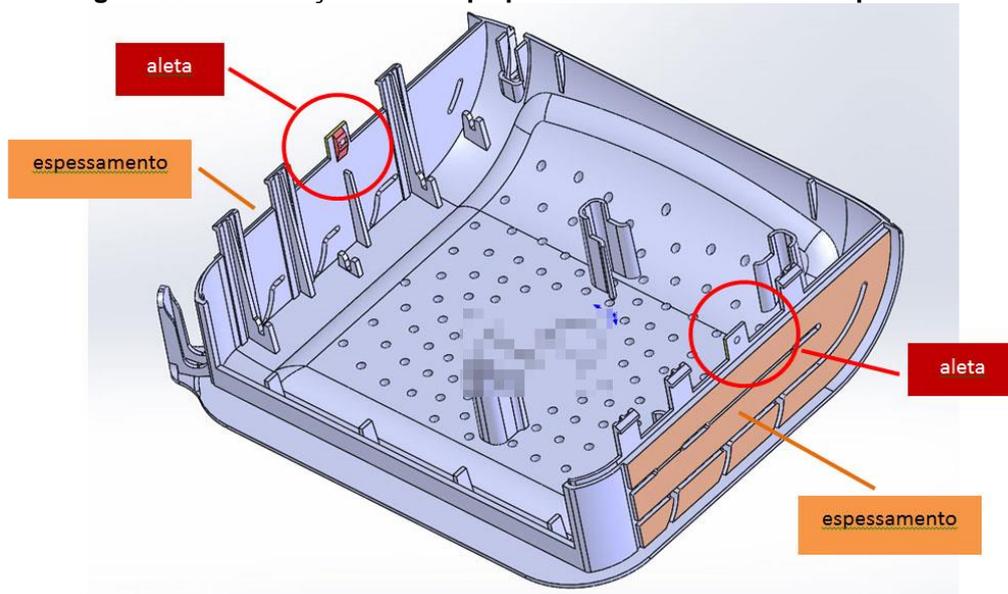
Figura 35. Aletas para montagem de peça e contrapeça do estabilizador



Fonte: empresa de projetos

Para resolver o problema de fechamento do gabinete, além do reforço dos *gaps* de engate, foram adicionadas duas aletas na tampa para inserção de parafusos. As paredes externas das faces do produto também foram reforçadas, e a espessura das mesmas, aumentada, conforme sinalizado pela figura 36.

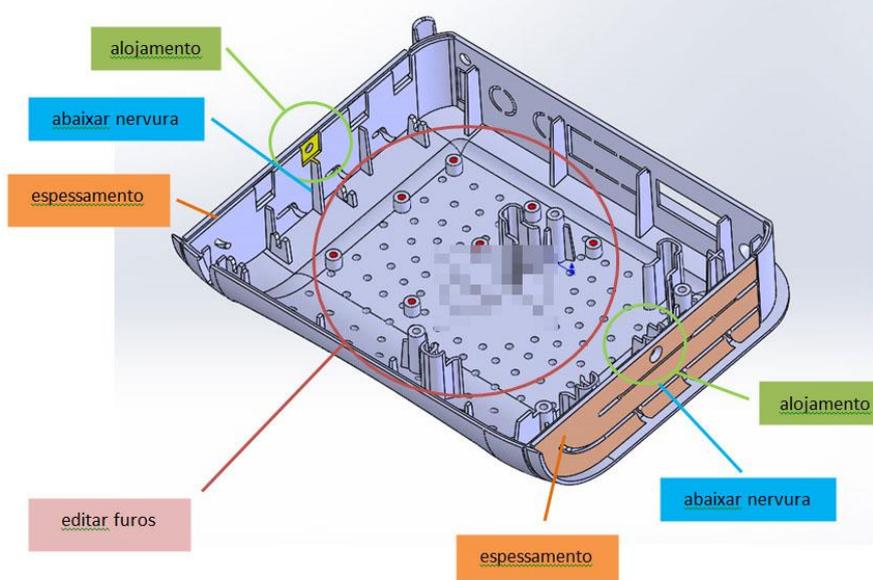
Figura 36. Modificações na tampa para travamento efetivo do produto



Fonte: empresa de projetos

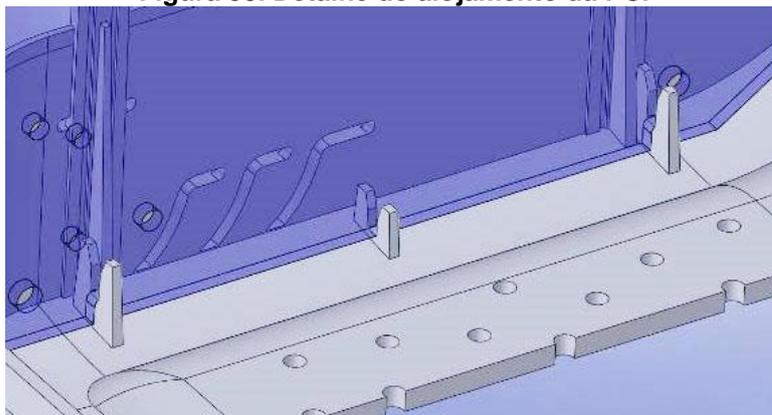
A figura 37 apresenta as alterações que também ocorreram na base do produto. Foi preciso criar dois alojamentos internos (faces superior e inferior) com furo central para engate das duas novas aletas da tampa, rebaixar as duas nervuras existentes para construção dos alojamentos, alterar os furos dos sete castelos e também aumentar a espessura das paredes externas das faces superior e inferior, cujo acréscimo de material ocorreu para fora do produto.

Figura 37. Modificações na base para travamento efetivo do produto

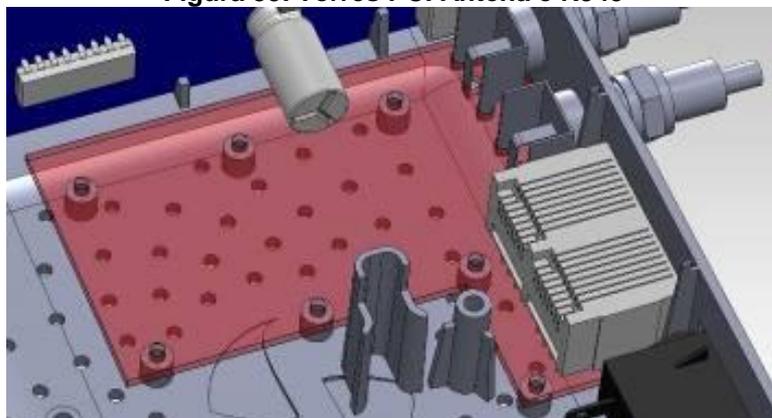


Fonte: empresa de projetos

A fixação da placa PCI foi realizada pelo emprego de nervuras com rebaixos em ambos os lados da placa para guiar a PCI (figura 38) e também por aparafusamento a base do produto apoiada em torres de fixação (figura 39). A referência para montagem é a dimensão da própria PCI e deve ter um controle dimensional para garantir a fixação por interferência nas nervuras projetadas, além da preocupação com a altura das torres visando uma correta acomodação do componente sem comprometer o posicionamento dos componentes próximos, como a antena e o conector RJ45.

Figura 38. Detalhe do alojamento da PCI

Fonte: empresa de projetos

Figura 39. Torres PCI Antena e RJ45

Fonte: empresa de projetos

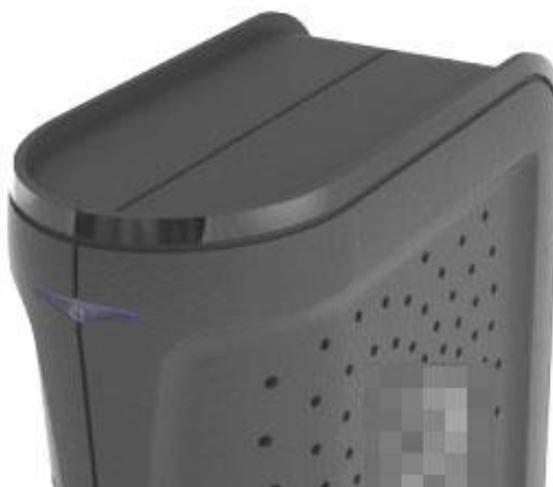
Nas áreas circuladas da figura 40, o diâmetro interno médio (sete torres) precisa de um controle dimensional, de maneira a proporcionar um aparafusamento da placa PCI sem quebra ou trinca da torre.

Figura 40. Criticidade nas torres de fixação da PCI

Fonte: empresa de projetos

Como solução que objetiva eliminar o rechupe, foi adicionado um friso contornando o produto para que haja uma diferença de profundidade e separação entre a superfície polida e a superfície texturizada (região não sinalizada no projeto). Entretanto, deve ter um controle de superfície mais cuidadoso e pode ser visualizado pela figura 41.

Figura 41. Detalhes do friso do estabilizador



Fonte: empresa de projetos

O posicionamento dos componentes em linha horizontal (*led*, painel *touch* e infravermelho) exibido na figura 42, foi uma restrição que limitou a largura mínima do botão nesse sentido. A frente do estabilizador foi definida por linhas verticais devido à disposição dos componentes, o botão foi posicionado na horizontal, mudando assim o sentido em relação ao conjunto.

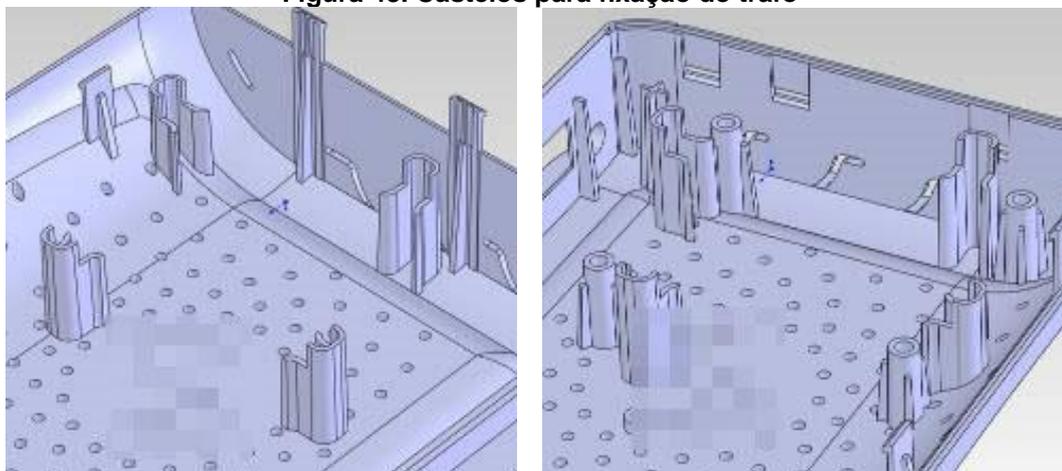
Figura 42. Posicionamento *led*, painel *touch* e infravermelho



Fonte: empresa de projetos

Referente à fixação do transformador ou trafo, é preciso assegurar que a espessura dos castelos de fixação (figura 43) suporte o peso deste componente sem comprometer o travamento do gabinete.

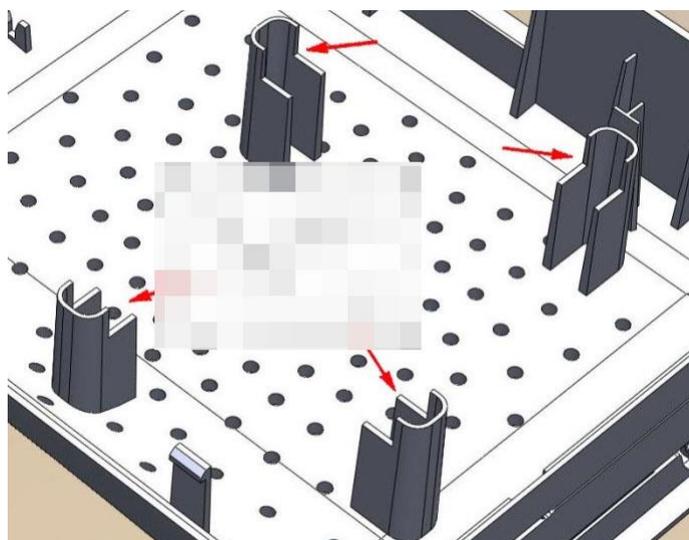
Figura 43. Castelos para fixação do trafo



Fonte: empresa de projetos

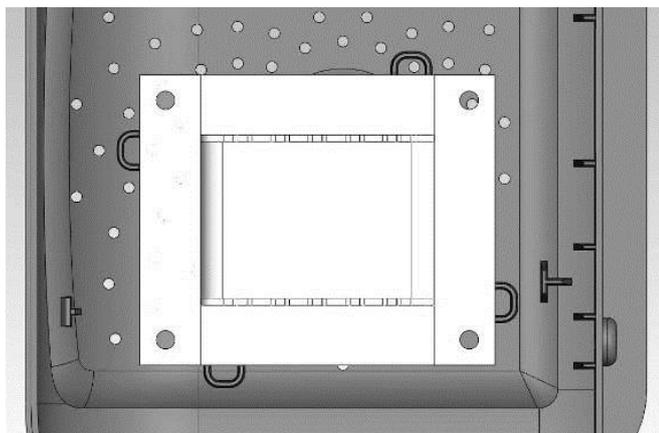
Foram desenvolvidos oito castelos para prender o trafo, sendo quatro localizados na tampa do produto e quatro na base, ilustrados nas figura 44, 45 e 46. Para correta fixação do trafo, é necessário um controle dimensional referente aos afastamentos entre os castelos e também a altura dos mesmos.

Figura 44. As setas indicam o alojamento para o trafo na base.



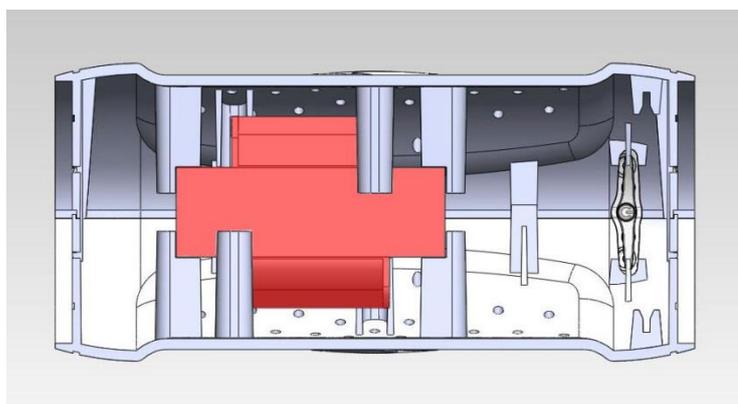
Fonte: empresa de projetos

Figura 45. Vista superior da base com o trafo montado.



Fonte: empresa de projetos

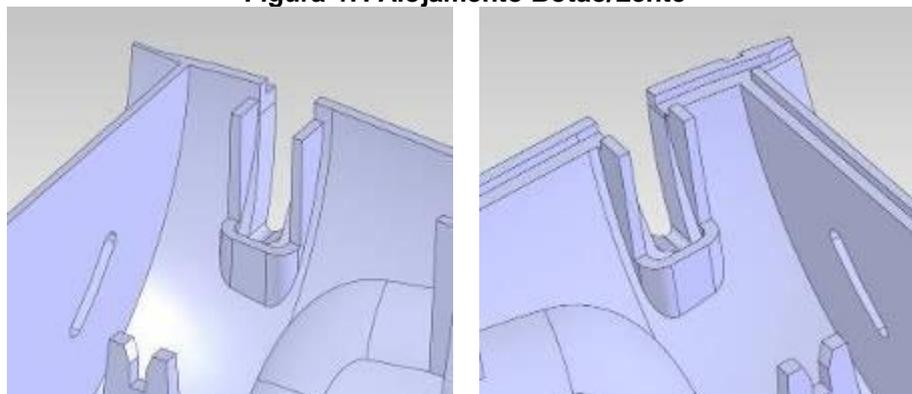
Figura 46. Vista em corte - fechamento base e tampa com trafo montado.



Fonte: empresa de projetos

Um outro ponto crítico, relacionado ao botão de acionamento, foi a nervura adicionada abaixo do botão/lente para posicionar o componente no seu alojamento, conforme mostra a figura 47.

Figura 47. Alojamento Botão/Lente



Fonte: empresa de projetos

Especificação dimensional e geométrica

Após definição da geometria do produto (modelo CAD preliminar) e geração do relatório das especificações técnicas, o modelo CAD (arquivo digital tridimensional do conceito) foi encaminhado para o time de engenharia de produto que, por sua vez, realizou a análise estrutural, refinando a modelagem interna do produto. Nesta etapa, foi realizada a inserção de nervuras, castelos, ranhuras, definidas as espessuras do produto, entretanto não foram sinalizados os pontos críticos para as equipes de etapas posteriores. Foram aplicadas tolerâncias gerais e, em seguida, encaminhado para a equipe de projeto do molde. Não apresentou detalhamento técnico bidimensional do produto.