



Augusto Marcel Garbrecht

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE
ESCOAMENTO DA ÁGUA NO INTERIOR DE TUBULAÇÕES CIRCULARES**

Horizontina - RS

2017



Augusto Marcel Garbrecht

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE
ESCOAMENTO DA ÁGUA NO INTERIOR DE TUBULAÇÕES CIRCULARES**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob orientação do Professor Me. Guilherme Jost Beras.

Horizontina - RS

2017

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE
ESCOAMENTO DA ÁGUA NO INTERIOR DE TUBULAÇÕES CIRCULARES”**

Elaborado por:

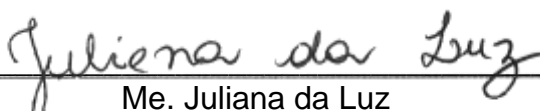
Augusto Marcel Garbrecht

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

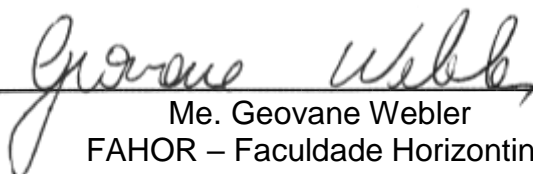
Aprovado em: 20 de novembro de 2017
Pela Comissão Examinadora



Me. Guilherme Jost Beras
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Me. Juliana da Luz
FAHOR – Faculdade Horizontalina



Me. Geovane Weblar
FAHOR – Faculdade Horizontalina

**Horizontalina - RS
2017**

"Se vi mais longe foi por estar de pé sobre
ombros de gigantes."

Isaac Newton

RESUMO

O desenvolvimento de produtos é um processo de negócio crítico, sendo que através dele uma empresa pode criar produtos mais competitivos em menos tempo, de modo a atender à constante evolução do mercado e da tecnologia (AMARAL, 2006). Diante da importância deste processo, o presente projeto tem como objetivo principal desenvolver o projeto de um dispositivo capaz de determinar o perfil de escoamento da água no interior de tubulações de diâmetro circular, sendo este composto por quatro entregas: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. O trabalho foi iniciado com o estudo da metodologia proposta por Amaral (2006) em seu livro “Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo”, a qual, posteriormente, foi adaptada para atender às necessidades e características da pesquisa. Ao final da pesquisa, além da documentação de todas as atividades realizadas durante o projeto do produto, foi construído um protótipo funcional do dispositivo, bem como seu manual de operação, os quais, amparados pela análise dos indicadores de desempenho do projeto, permitem concluir que todos os objetivos da pesquisa foram cumpridos, disponibilizando-a como referência, em meio à comunidade acadêmica da FAHOR, sobre o processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

Palavras-chave: Projeto. Produto. Número de Reynolds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regimes de escoamento: (a) escoamento laminar, (b) transição e (c) escoamento turbulento.....	16
Figura 2. Escoamento em tubulação com diferentes seções transversais.....	19
Figura 3. Visão geral do gerenciamento do escopo do projeto.....	25
Figura 4. Representação gráfica da EDT.....	26
Figura 5. Relação entre as etapas do projeto informacional.....	32
Figura 6. Ciclo de vida segundo as atividades pelas quais um produto passa.....	33
Figura 7. Matriz da Casa da Qualidade (QFD).....	38
Figura 8. Relação entre as atividades da fase do projeto conceitual.....	43
Figura 9. Representação esquemática da função global.....	45
Figura 10. Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução.....	47
Figura 11. Modelo de matriz de decisão.....	51
Figura 12. Relação entre as atividades da fase do projeto detalhado.....	53
Figura 13. Lógica para criação/reutilização/busca de SSCs.....	55
Figura 14. Desdobramento do produto em SSCs e sua integração.....	57
Figura 15. Estrutura de decomposição do trabalho (EDT).....	65
Figura 16. Cronograma do projeto.....	66
Figura 17. Diagrama de Mudge para hierarquização dos requisitos dos clientes.....	72
Figura 18. QFD para hierarquização dos requisitos do projeto.....	75
Figura 19. Função global do produto.....	78
Figura 20. Estrutura de funções do produto.....	78
Figura 21. Matriz morfológica dos princípios de solução para as funções do produto.....	79
Figura 22. Alternativas de concepção para o produto.....	80
Figura 23. Matriz de decisão para escolha da concepção final do produto.....	81
Figura 24. Modelamento 3D da concepção final do produto.....	82
Figura 25. Detalhe dos componentes internos no produto final.....	83
Figura 26. Ciclo executado pelo software embarcado.....	85
Figura 27. Representação esquemática do circuito eletrônico.....	86
Figura 28. Protótipo funcional do produto.....	87

Figura 29. Detalhes da tela do protótipo.....	88
Figura 30. Indicador de desempenho: cumprimento do orçamento.....	89
Figura 31. Indicador de desempenho: funcionamento do protótipo.....	90
Figura 32. Instalação utilizada nos testes de precisão de leitura da vazão.....	90
Figura 33. Indicador de desempenho: precisão de leitura da vazão.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Critérios para avaliação da fase de planejamento do projeto.....	30
Quadro 2. Clientes de um produto.....	34
Quadro 3. Checklist para obtenção dos requisitos do produto.....	36
Quadro 4. Tipos de especificações de engenharia.....	39
Quadro 5. Símbolos utilizados na indicação das relações entre requisitos de clientes e especificações de engenharia.....	40
Quadro 6. Critérios para avaliação do projeto informacional.....	42
Quadro 7. Caracterização dos fluxos de energia numa estrutura de funções.....	44
Quadro 8. Símbolos utilizados na matriz de decisão.....	51
Quadro 9. Critérios para avaliação do projeto conceitual.....	52
Quadro 10. Tipos de SSCs.....	55
Quadro 11. Métodos de avaliação dos SSCs.....	61
Quadro 12. Critérios para avaliação do projeto detalhado.....	61
Quadro 13. Interessados no projeto.....	62
Quadro 14. Escopo do produto.....	63
Quadro 15. Escopo do projeto.....	64
Quadro 16. Análise de riscos do projeto.....	67
Quadro 17. Orçamento do projeto.....	68
Quadro 18. Indicadores de desempenho do projeto.....	69
Quadro 19. Ciclo de vida e clientes do projeto.....	70
Quadro 20. Requisitos dos clientes do produto.....	71
Quadro 21. Hierarquia dos requisitos dos clientes do produto.....	73
Quadro 22. Requisitos do projeto.....	74
Quadro 23. Terço superior das especificações do produto.....	76
Quadro 24. Terço médio das especificações do produto.....	76
Quadro 25. Terço inferior das especificações do produto.....	74
Quadro 26. Estrutura do produto (BOM – Bill Of Materials).....	83
Quadro 27. Análise de atendimento das especificações do produto.....	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	11
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.4 OBJETIVOS	12
1.4.1 Objetivo geral	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
1.5 JUSTIFICATIVA	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 A MECÂNICA DOS FLUIDOS E O ESTUDO DAS TUBULAÇÕES	14
2.2 NÚMERO DE REYNOLDS.....	15
2.3 TIPOS DE ESCOAMENTO	16
2.4 GRANDEZAS DO NÚMERO DE REYNOLDS.....	17
2.4.1 Vazão e velocidade	18
2.4.2 Equação da continuidade.....	18
2.5 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	19
3 METODOLOGIA DE PROJETO DO PRODUTO	21
3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO	22
3.1.1 Definir interessados do projeto	23
3.1.2 Definir escopo do produto	23
3.1.3 Definir o escopo do projeto	24
3.1.3.1 Gerenciamento do escopo do projeto	24
3.1.4 Detalhar o escopo do projeto	26
3.1.5 Definir sequência de atividades e cronograma	27
3.1.6 Avaliar riscos	28
3.1.7 Preparar orçamento do projeto	28
3.1.8 Definir indicadores de desempenho.....	29
3.1.9 Preparar plano de projeto.....	30
3.1.10 Avaliar e aprovar fase	30
3.2 PROJETO INFORMACIONAL	32
3.2.1 Detalhar ciclo de vida do produto.....	32
3.2.2 Definir clientes do produto.....	34
3.2.3 Identificar os requisitos dos clientes	35
3.2.4 Definir os requisitos do produto	35
3.2.5 Definir especificações do produto	37
3.2.5.1 <i>Quality Function Deployment</i> (QFD)	38
3.2.6 Avaliar e aprovar fase	42

3.3 PROJETO CONCEITUAL	43
3.3.1 Modelar funcionalmente o produto.....	44
3.3.2 Desenvolver princípios de solução para as funções.....	46
3.3.3 Desenvolver alternativas de solução para o produto.....	48
3.3.4 Definir arquitetura do produto	48
3.3.5 Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSCs).....	49
3.3.6 Definir ergonomia e estética do produto	49
3.3.7 Selecionar a concepção do produto.....	50
3.3.8 Avaliar e aprovar fase	52
3.4 PROJETO DETALHADO	53
3.4.1 Criar e detalhar SSCs, documentação e configurações	54
3.4.1.1 Calcular e desenhar os SSCs	55
3.4.1.2 Especificar tolerâncias	56
3.4.1.3 Integrar os SSCs	57
3.4.1.4 Finalizar desenhos e documentos	58
3.4.1.5 Configurar produto e completar sua estrutura	58
3.4.2 Criar material de suporte do produto	59
3.4.3 Testar e homologar o produto.....	59
3.4.4 Avaliar e aprovar fase	60
4 RESULTADOS.....	62
4.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO.....	62
4.2 PROJETO INFORMACIONAL	70
4.3 PROJETO CONCEITUAL	78
4.4 PROJETO DETALHADO	83
4.4.1 Sistema eletrônico.....	85
4.4.2 Funcionamento do produto	88
4.4.3 Análise de desempenho do projeto.....	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DO DISPOSITIVO	95
APÊNDICE B – CÓDIGO DO SOFTWARE EMBARCADO	121
APÊNDICE C – MANUAL DE OPERAÇÃO DO PRODUTO	122
ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201	129
ANEXO B – PROPRIEDADES DA ÁGUA (UNIDADES SI)	130

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O desenvolvimento de produtos é considerado um processo de negócio cada vez mais crítico, sendo que através dele uma empresa pode criar produtos mais competitivos em menos tempo, de modo a atender à constante evolução do mercado e da tecnologia (AMARAL, 2006).

Neste contexto, o autor enfatiza a importância estratégica do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), uma vez que este situa-se na interface entre empresa e mercado, cabendo a ele identificar as necessidades do mercado e propor soluções que atendam às expectativas dos clientes em todas as fases do ciclo de vida do produto.

Tendo em vista o impacto positivo exercido por tal processo na realidade das empresas, este trabalho tem o objetivo de desenvolver o projeto de um dispositivo capaz de determinar o perfil de escoamento da água no interior de tubulações.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A delimitação do tema reside nos aspectos técnicos do dispositivo. A determinação do perfil de escoamento do fluido será realizada através do cálculo do número de Reynolds, que envolve o conhecimento de três grandezas: velocidade do escoamento, diâmetro da tubulação e viscosidade do fluido.

O dispositivo terá um sistema eletrônico operado via Arduino, uma plataforma de prototipagem de fácil programação e baixo custo. A velocidade do escoamento será determinada por um sensor de fluxo de água modelo YF-S201, destinado à medição da vazão de água no interior de tubulações. Ainda, o dispositivo atuará apenas com o transporte de água por condutos de perfil circular, cujo diâmetro será determinado durante o desenvolvimento da pesquisa.

Para guiar a concepção do produto será utilizada a metodologia sugerida por Amaral (2006) em seu livro "Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo". O autor apresenta um método baseado em 10 fases, as quais abrangem todo o ciclo de vida de um produto, desde a fase de planejamento até os processos de descontinuidade e apoio. Porém, buscando dar

ênfase às atividades realizadas por um engenheiro mecânico projetista, esta pesquisa propõe uma análise baseada em quatro etapas: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentre os diversos ramos da engenharia mecânica, a mecânica dos fluidos se destaca, pois sua variedade de aplicações no mundo real pode ser prolongada quase que indefinidamente (FOX, 2006). Durante o estudo da mecânica dos fluidos, uma grandeza constantemente utilizada é o número de Reynolds, um número adimensional ligado ao perfil de escoamento dos fluidos.

A determinação desta grandeza durante uma atividade prática torna-se trabalhosa, uma vez que requer o conhecimento de um conjunto de variáveis, cuja obtenção exige diversos instrumentos e medições, tornado a tarefa mais complexa e suscetível a falhas.

Diante de tal complexidade verifica-se uma necessidade de mercado: um instrumento que realize as medições básicas para determinar o número de Reynolds e apresente o perfil de escoamento do fluido no interior da tubulação.

Assim, esta pesquisa busca responder à seguinte pergunta: O dispositivo proposto é capaz de determinar o perfil de escoamento da água no interior de tubulações de perfil circular?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver o projeto de um dispositivo capaz de determinar o perfil de escoamento da água no interior de tubulações de perfil circular, o qual é compreendido pelos projetos informacional, conceitual e detalhado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Disponibilizar esta pesquisa como uma referência sobre o processo de desenvolvimento de produtos para o âmbito acadêmico;

- Construir um protótipo do dispositivo projetado e testá-lo;
- Elaborar um manual de operação do produto.

1.5 JUSTIFICATIVA

Dentre as possíveis atuações de um engenheiro mecânico, o desenvolvimento de produtos é uma área com demanda de profissionais qualificados, pois, conforme já mencionado, o cenário competitivo no qual o mercado de trabalho se encontra atualmente obriga as empresas a lançarem novos produtos de forma cada vez mais rápida.

Esta pesquisa traz uma importante inovação tecnológica, que está ligada à possibilidade de determinar, de forma simplificada e através de um único equipamento, o perfil de escoamento de fluidos, ponto importante em qualquer projeto de sistemas de tubulações, como, por exemplo, trocadores de calor, sistemas de refrigeração e sistemas hidráulicos em geral.

Além da contribuição tecnológica, esta pesquisa também traz contribuições nas áreas educacional e de metodologia de projeto de produto. Uma pesquisa que se configura num documento que explique de forma prática e aplicada as principais etapas do processo de concepção de um produto configura-se numa ferramenta de grande importância para qualquer estudante de engenharia e, até mesmo, engenheiros de produto.

Já a inovação sob o ponto de vista educacional decorre do fato de que o dispositivo pode contribuir para a compreensão dos fenômenos ligados ao ensino da mecânica dos fluidos, que muitas vezes se fazem abstratos para a compreensão por parte da comunidade acadêmica. Assim, justifica-se o projeto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção é iniciada com a apresentação dos principais conceitos relacionados ao estudo do escoamento dos fluidos, iniciando por uma introdução sobre a importância da mecânica dos fluidos para a engenharia e a aplicação de tubulações na indústria. Na sequência, se apresenta o número de Reynolds, seu processo de cálculo e sua ligação com a determinação do tipo de escoamento e, por último, é apresentada a relação entre vazão e velocidade, bem como a equação da continuidade.

Além do estudo dos fluidos, se descreve o processo de desenvolvimento de produtos, cuja metodologia será utilizada durante a elaboração da pesquisa.

2.1 A MECÂNICA DOS FLUIDOS E O ESTUDO DAS TUBULAÇÕES

Segundo Brunetti (2008, p. 1), “a mecânica dos fluidos é a ciência que estuda o comportamento físico dos fluidos, assim como as leis que regem esse comportamento”. O autor também afirma que, por serem poucos os ramos da engenharia que escapam totalmente dos conceitos desta ciência, ela é uma das mais importantes entre as que devem fazer parte dos conhecimentos de um engenheiro.

Em contribuição, Fox (2006) destaca que a mecânica dos fluidos não deve ser estudada apenas por interesse puramente acadêmico, visto que é um assunto de importância tanto em nossas experiências diárias quanto no desenvolvimento da tecnologia moderna.

Muitos assuntos lançam mão das leis da mecânica dos fluidos para obter resultados de aplicação prática, são exemplos: o escoamento de fluidos em canais e condutos, os esforços em barragens, as máquinas hidráulicas e a aerodinâmica (BRUNETTI, 2008). Já Fox (2006) afirma que a lubrificação é uma aplicação de considerável importância desta ciência, bem como o projeto de sistemas de tubulações.

“Sistemas de tubulações são encontrados em quase todos os projetos de engenharia” (WHITE, 2011, p. 353). Uma tubulação pode ser definida como um conjunto de tubos e seus diversos acessórios, sendo que tubos são condutos fechados destinados, principalmente, ao transporte de fluidos (TELLES, 2001).

Telles (2001, p. 1) ainda menciona que “a importância das tubulações na indústria é enorme; todas as indústrias têm redes de tubulações de maior e menor importância, e quase todas essas redes são essenciais ao funcionamento da indústria”.

O mesmo autor também destaca que, com base no fluido conduzido, os principais casos de emprego das tubulações industriais são: tubulações para água, vapor, óleos, ar, gases, esgotos e drenagem e para fluidos diversos.

2.2 NÚMERO DE REYNOLDS

“A distinção e caracterização dos regimes de escoamento dos fluidos foi uma grande contribuição ao estudo da dinâmica dos fluidos reais” (FEGHALI, 1974, p. 155). Para escoamentos internos, isto é, no interior de tubulações, o regime de escoamento é primariamente uma função do número de Reynolds (FOX, 2006). Já White (2001, p. 40) destaca a importância desta grandeza, visto que “a primeira coisa que um engenheiro da área de fluidos deve fazer é estimar o intervalo do número de Reynolds do escoamento em estudo”.

Na década de 1880, Osborne Reynolds, engenheiro britânico, estudou a transição entre os regimes da água num tubo e descobriu que o regime de escoamento pode ser determinado pela Equação (1) (FOX, 2006, p. 198).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Onde:

Re – Número de Reynolds do escoamento (adimensional);

ρ – Massa específica do fluido (kg/m^3);

V – Velocidade média do escoamento (m/s);

D – Diâmetro interno da tubulação (m);

μ – Viscosidade dinâmica do fluido (N.s/m^2);

Fox (2006) enfatiza que na mecânica dos fluidos a razão entre a viscosidade e a massa específica surge com frequência. Esta razão tem o nome de viscosidade

cinemática e é representada pelo símbolo ν . Assim, a Equação (2) também pode ser utilizada para determinação do número de Reynolds (FOX, 2006, p. 198).

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2)$$

Onde:

Re – Número de Reynolds do escoamento (adimensional);

V – Velocidade média do escoamento (m/s);

D – Diâmetro interno da tubulação (m);

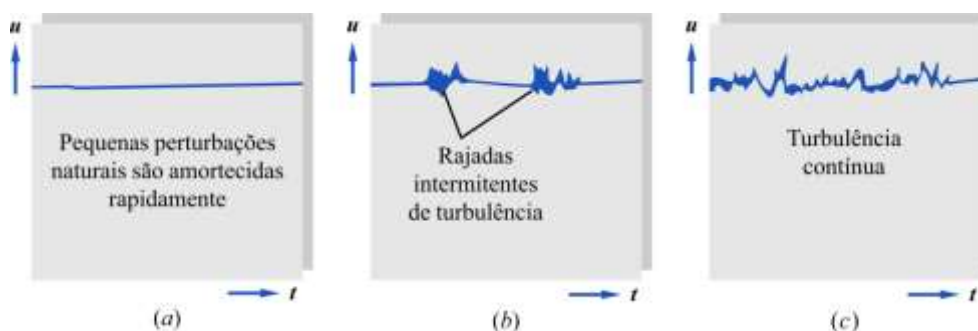
ν – Viscosidade cinemática do fluido (m²/s);

2.3 TIPOS DE ESCOAMENTO

“Regimes de escoamento viscosos são classificados em laminar ou turbulento, tendo por base a sua estrutura” (FOX, 2006, p. 23). “No regime laminar, a estrutura do escoamento é caracterizada pelo movimento suave em lâminas ou camadas” (FOX, 2006, p. 23), sendo que estas lâminas são individualizadas, isto é, não ocorre troca de massa entre elas (BRUNETTI, 2008).

Já a “estrutura do escoamento no regime turbulento é caracterizada por movimentos tridimensionais aleatórios de partículas fluidas, em adição ao movimento médio” (FOX, 2006, p. 23). Isto implica que “a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto fluido” (BRUNETTI, 2008, p. 69). A Figura 1 mostra os dois regimes de escoamento mencionados, além do regime de transição entre estes.

Figura 1. Regimes de escoamento: (a) escoamento laminar, (b) transição e (c) escoamento turbulento.



Fonte: White (2011, p. 354).

Deve-se destacar que o escoamento de transição, conforme pode ser visualizado na Figura 1, apresenta características de ambos os escoamentos indicados por Fox (2006), isto é, no escoamento de transição, o fluido se movimenta em camadas com eventuais rajadas e trocas de partículas.

De acordo com Brunetti (2008), em seus experimentos, Reynolds verificou que, no caso de tubos, se observa o seguinte comportamento:

- Escoamento laminar quando o número de Reynolds for inferior a 2000;
- Escoamento de transição para valores entre 2000 e 2400;
- Escoamento turbulento para número de Reynolds superior a 2400.

Fox (2006) e posteriormente Brunetti (2008) ressaltam que o número de Reynolds é a razão entre as forças de inércia e as forças viscosas do escoamento. Sendo assim, “turbulências denotam um predomínio das forças de inércia, enquanto que no escoamento laminar a predominância das forças viscosas não permite agitações das partículas” (BRUNETTI, 2008, p. 150).

Feghali (1974, p. 154) destaca que “os valores críticos apresentados acima são válidos exclusivamente para escoamentos equivalentes ao da experiência de Reynolds, isto é, através de encanamentos de seção circular”.

2.4 GRANDEZAS DO NÚMERO DE REYNOLDS

Conforme apresentado, o número de Reynolds de escoamentos através de tubulações pode ser determinado pelo conhecimento de três grandezas: velocidade do escoamento, diâmetro interno da tubulação e viscosidade cinemática do fluido.

A viscosidade do fluido é uma propriedade fixa, bem como o diâmetro da tubulação, que será determinado durante a fase de projeto do dispositivo. Sendo assim, a única grandeza que deverá ser medida é a velocidade do escoamento.

Dispositivos comerciais, geralmente, realizam a medição da vazão do escoamento, e não de sua velocidade. Logo, para possibilitar a determinação da velocidade, se faz necessário compreender sua relação com a vazão, o que será apresentado nesta seção.

2.4.1 Vazão e velocidade

Brunetti (2008, p. 72) define vazão como o “volume de fluido que atravessa certa seção do escoamento por unidade de tempo”, conforme indica a Equação (3).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Onde:

Q – Vazão (m³/s);

V – Volume do fluido escoando (m³);

t – Intervalo de tempo (s).

“Existe uma relação importante entre a vazão em volume e a velocidade do fluido” (BRUNETTI, 2008, p. 72). Essa relação aparece na Equação (4).

$$Q = v \cdot A \quad (4)$$

Onde:

Q – Vazão (m³/s);

v – Velocidade do fluido (m/s);

A – Área da seção pela qual o fluido escoa (m²).

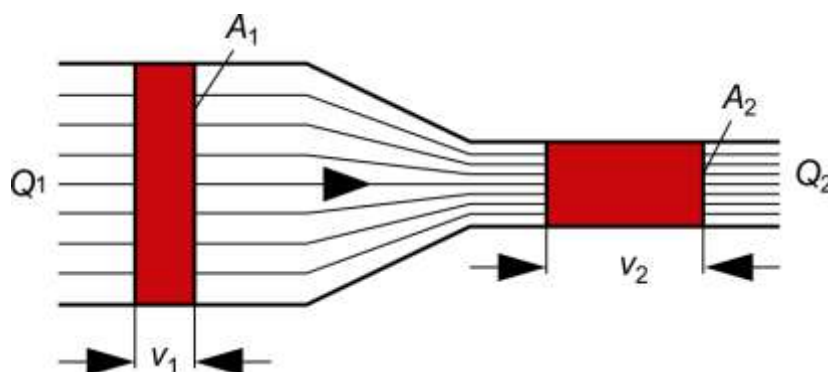
De acordo com Fox (2006, p. 68), a magnitude da velocidade média numa seção é, então, definida segundo a Equação (5).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

2.4.2 Equação da continuidade

“Para escoamentos incompressíveis, a vazão em volume para dentro de um volume de controle deve ser igual à vazão em volume para fora do volume de controle” (FOX, 2006, p. 68). “Dentro de um tubo com diferentes seções transversais, ocorrem, ao mesmo tempo, volumes iguais. Isto implica que a velocidade do fluido tem que se elevar nos pontos mais estreitos” (EXNER, 2013, p. 23). Na Figura 2 se pode observar um tubo com diferentes seções transversais.

Figura 2. Escoamento em tubulação com diferentes seções transversais.



Fonte: Exner (2013, p. 24).

Sendo a vazão igual em todos os lugares dentro do tubo, se este tiver duas seções transversais A_1 e A_2 , então deverá ocorrer, na região das seções transversais, uma velocidade específica, resultando da equação da continuidade (EXNER, 2013). Essa equação é apresentada por Brunetti (2008, p. 75) segundo a Equação (6).

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (6)$$

Sendo:

v_1 – Velocidade do fluido na área de maior seção transversal (m/s);

A_1 – Seção transversal de maior área (m²);

v_2 – Velocidade do fluido na área de menor seção transversal (m/s);

A_2 – Seção transversal de menor área (m²).

2.5 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Segundo PMI (2013, p. 3), “projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”. Projeto de produto pode ser definido como um processo de resolução de problemas que busca transformar ideias num produto final (ULMANN, 2003).

Amaral (2006, p. 3) resume o processo de desenvolver um produto como “um conjunto de atividades por meio das quais se busca chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção”.

Baxter (2011) afirma que, para impedir a perda de mercado para concorrentes mais agressivos, as empresas precisam introduzir, continuamente, novos produtos, isto é, a inovação se torna vital para o sucesso dos negócios.

Encurtar a vida dos produtos no mercado, introduzindo novos produtos de forma mais rápida, é uma tática contra competidores mais lentos (BAXTER, 2011). Porém, conforme destacado por Amaral (2006), o lançamento de novos produtos no mercado não é uma tarefa rotineira, mas sim uma tarefa que pode envolver quase todos os setores da empresa, tendo implicações nas vendas futuras e, por consequência, na sobrevivência do negócio.

Diante da importância da concepção de novos produtos, fica clara a importância do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Amaral (2006) destaca que é através deste processo que a empresa pode criar produtos competitivos em tempo reduzido. Ainda, o autor afirma que este processo situa-se na interface entre empresa e mercado, cabendo a ele identificar os requisitos do mercado e propor soluções que atendam a tais necessidades.

Sendo assim, o departamento de projeto é de grande importância para qualquer empresa (PAHL, 1996). Desenvolver novos produtos não é uma tarefa simples, uma vez que requer pesquisa, planejamento, controle e, mais importante, utilização de métodos sistemáticos, os quais exigem uma abordagem interdisciplinar, abrangendo tópicos de marketing, engenharia e conhecimentos de estética e estilo (BAXTER, 2011).

A necessidade de se planejar com cuidado e executar, de forma sistemática, o projeto de um produto também são destacados por Pahl (1996), que afirma que isto aumenta as probabilidades de sucesso do produto.

Pahl (1996), ao afirmar que é tarefa dos engenheiros a concepção de novos produtos, enfatiza a importância destes profissionais no processo. O autor também aponta que é papel do profissional de engenharia aplicar seus conhecimentos para a solução de problemas técnicos e, posteriormente, aperfeiçoar estas soluções. Sendo assim, engenheiros têm grande responsabilidade no processo, uma vez que suas decisões afetam as propriedades técnicas, econômicas e ambientais do produto (PAHL, 1996).

3 METODOLOGIA DE PROJETO DO PRODUTO

Baxter (2011) afirma que a organização das atividades do projeto se torna complexa, tendo em vista que as tarefas não seguem em linha reta, isto é, o processo é marcado por avanços e retornos, sendo que uma decisão tomada numa determinada etapa pode afetar uma adotada anteriormente.

Neste contexto, PMI (2013, p. 38) apresenta o conceito de ciclo de vida do projeto, podendo este ser definido como “a série de fases pelas quais um projeto passa”. Pahl (1996) destaca a necessidade de o processo seguir uma sequência lógica e compreensível.

A determinação do ciclo de vida do projeto oferece uma estrutura básica para o gerenciamento do projeto (PMI, 2013). Baxter (2011) aponta que, sendo o desenvolvimento do produto um processo estruturado, cada etapa compreenderá um ciclo de geração de ideias, seguido de um processo de seleção.

De acordo com PMI (2013), um projeto pode ser dividido em qualquer número de fases, sendo estas um conjunto de atividades relacionadas de maneira lógica. Ainda estas fases são, geralmente, sequenciais, e sua quantidade é determinada pelas necessidades de gerenciamento e controle do projeto.

“A estruturação em fases permite que o projeto seja segmentado em subconjuntos lógicos para facilitar o gerenciamento, o planejamento e o controle” (PMI, 2013, p. 41). Conforme já mencionado, o desenvolvimento desta pesquisa será baseado na metodologia proposta por Amaral (2006) em seu livro “Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo” e será estruturado em quatro fases principais, sendo elas:

- Planejamento do projeto;
- Projeto informacional;
- Projeto conceitual;
- Projeto detalhado.

Cada uma destas fases possui divisões específicas. As fases, suas divisões e sua influência sobre o processo de desenvolvimento de produtos serão explicadas nesta seção.

3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

O objetivo de planejar o desenvolvimento de um projeto é “aproveitar adequadamente um intervalo de tempo propício ao lançamento de um novo produto, pois, passado esse tempo, perde-se a oportunidade de mercado para isso” (AMARAL, 2006, p. 152).

Durante a fase de planejamento a atenção deve ser direcionada no sentido de identificar todas as atividades, recursos e a melhor forma de integrá-los para que o projeto siga em frente com o mínimo de erros (AMARAL, 2006). “Ao final desta etapa, busca-se elaborar uma lista detalhada de requisitos que contenha as restrições e os objetivos a serem alcançados, além de uma descrição do desejo ou exigência requerido pelo cliente” (BORGES e RODRIGUES, 2010, p. 274).

O resultado desta fase será um documento intitulado “Plano de Projeto do Produto”, que agrupa informações relevantes para a execução do projeto (AMARAL, 2006), além de se constituir num “documento central que define a base de todo o trabalho do projeto” (PMI, 2013, p.429).

Amaral (2006) aponta as seguintes informações como as principais entradas para elaboração do plano de projeto do produto:

- Declarações de escopo do projeto e do produto;
- Atividades e suas previsões de duração;
- Prazos, orçamentos e pessoal responsável;
- Recursos necessários;
- Análise de riscos;
- Indicadores de desempenho.

É importante ressaltar que o processo de planejamento, bem como de documentação devem ser realizados de forma contínua, pois, segundo PMI (2006, p. 427), “à medida que mais informações ou características do projeto são coletadas e entendidas, é provável que seja necessário realizar planejamentos adicionais”.

A seguir serão explicadas cada uma das 10 etapas utilizadas para o planejamento do projeto desenvolvido nesta pesquisa.

3.1.1 Definir interessados do projeto

Amaral (2006, p.155) define interessados no projeto como quaisquer “indivíduos ou organizações envolvidos diretamente e também aqueles que, de alguma forma, serão afetados por sua existência”.

É durante o desenvolvimento desta atividade que devem ser identificados os interessados e definidas suas necessidades, limitações e o tipo de envolvimento que possuem com o projeto (AMARAL, 2006).

PMI (2013, p. 443) afirma que o objetivo desta atividade é “engajar as partes interessadas de maneira eficaz no decorrer de todo o ciclo de vida do projeto, com base na análise de suas necessidades, interesses e impacto potencial no sucesso do projeto”. Ainda de acordo com o autor, esta etapa é fundamental para se definir um plano claro de interação com as partes interessadas no projeto, de modo que seus interesses sejam suportados por este.

As partes envolvidas de maior ocorrência em projetos, segundo Amaral (2006), são os membros da equipe, o gerente do projeto, seus múltiplos clientes, as organizações executora e financiadora e os fornecedores.

3.1.2 Definir escopo do produto

O objetivo desta atividade é elaborar uma lista com as características e funções do produto, para, posteriormente, definir como o projeto cumprirá com tais requisitos (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) destaca a importância de se trabalhar, durante todo o projeto do produto, de forma sistêmica. É desta necessidade que surge a importância do escopo do produto, que tem o objetivo de primeiro compreender “o que” se pretende criar, isto é, as características do produto. O quesito “como” criar, ou seja, as estratégias para seu desenvolvimento são determinadas posteriormente.

“Como resultado da atividade, deverão ser definidos os parâmetros básicos que caracterizam o produto e as funcionalidades que dele se espera, de forma a se ter uma clara compreensão do que será fornecido para o cliente” (AMARAL, 2006, p.160).

3.1.3 Definir o escopo do projeto

Antes de definir o escopo do projeto se faz necessário compreender a diferença entre este e o escopo do produto. PMI (2013, p. 150) define escopo do produto como sendo “as características e funções que caracterizam um produto, serviço ou resultado”. O mesmo autor também afirma que o escopo do projeto trata do trabalho que deve ser realizado para viabilizar tal produto, conferindo-lhe as características e funções especificadas.

As principais informações utilizadas para a construção do escopo do projeto, de acordo com Amaral (2006), são o escopo do produto, sua descrição e algumas definições iniciais quanto às premissas e restrições que o projeto precisa respeitar. O autor ainda complementa que, para ser completa, uma declaração de escopo deve ter:

- A justificativa do projeto;
- Os requisitos a serem atendidos;
- Uma descrição sucinta do produto que será gerado;
- Os objetivos do projeto, colocados em termos quantificáveis;
- O conjunto de premissas e restrições identificadas;
- Um plano de gerenciamento do escopo.

Este último ponto tem sua importância destacada por PMI (2013, p. 105) quando este afirma que “o gerenciamento do escopo do projeto inclui os processos necessários para assegurar que o projeto inclui todo o trabalho necessário, e apenas o necessário, para terminar o projeto com sucesso”. Devido à importância que possui, este assunto será detalhado na seção a seguir.

3.1.3.1 Gerenciamento do escopo do projeto

“Os processos de gerenciamento do escopo do projeto precisam estar bem integrados aos das outras áreas de conhecimento para que o trabalho do projeto resulte na entrega do escopo do produto especificado” (PMI, 2013, p.106).

PMI (2013) acrescenta que, embora os processos de gerenciamento, as ferramentas e as técnicas de suporte possam variar entre projetos, todo plano de gerenciamento segue uma estrutura básica dividida em seis tópicos principais. Estes

tópicos, apresentados de forma resumida na Figura 3, serão abordados de forma detalhada nas seções posteriores desta pesquisa.

Figura 3. Visão geral do gerenciamento do escopo do projeto.



Fonte: Adaptado de PMI (2013, p. 106).

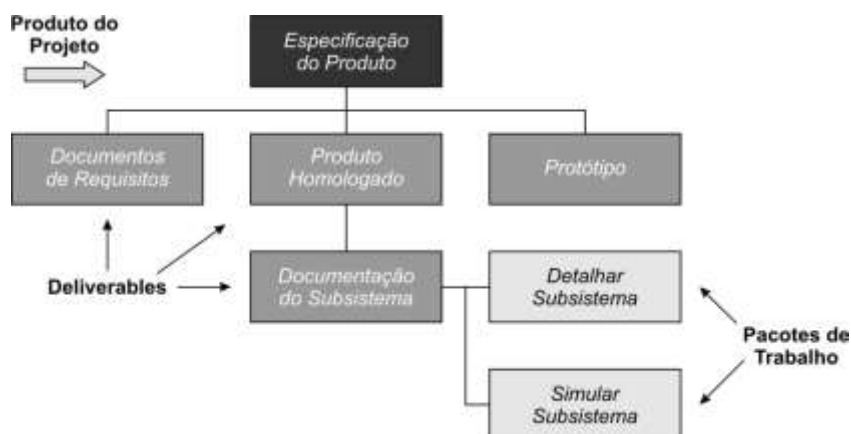
3.1.4 Detalhar o escopo do projeto

As descrições utilizadas na declaração do escopo, por serem feitas em forma de texto, tornam difícil a obtenção de uma visão sintética e precisa de todo o trabalho necessário para execução do projeto (AMARAL, 2006). É neste contexto que surge a importância de se detalhar o escopo, cujos principais objetivos são: melhorar a precisão das estimativas de custo, tempo e recursos, definir padrões objetivos para medir e controlar o desempenho do projeto e atribuir, de forma mais clara e precisa, as responsabilidades (AMARAL, 2006).

A ferramenta sugerida por Amaral (2006) para se detalhar o escopo do projeto é denominada Estrutura de Decomposição do Trabalho (EDT). “Nessa técnica, todo o trabalho necessário no projeto, definido analiticamente na forma de texto, será decomposto em três tipos de elementos e suas relações: produtos do projeto, *deliverables* (entregas) e pacotes de trabalho” (AMARAL, 2006, p. 164).

Uma representação gráfica da relação entre estes três tipos de elementos podem ser feita de acordo com a Figura 4.

Figura 4. Representação gráfica da EDT.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 164).

“A EDT é uma forma de apresentação adequada do projeto, pois é uma maneira didática e rigorosa de demonstrar todo o esforço que será necessário para a realização do projeto” (AMARAL, 2006, p. 165). A EDT marca o término da declaração do escopo e se transforma no documento que guiará todas as demais atividades do planejamento do projeto (AMARAL, 2006).

3.1.5 Definir sequência de atividades e cronograma

Atividade é o nome dado ao último nível de detalhe da EDT, o qual é obtido pela decomposição de todas as entregas e os pacotes de trabalho em estruturas menores e mais detalhadas (AMARAL, 2006).

“A definição das atividades tem papel fundamental para o planejamento, execução e controle de um projeto” (BARCAUI, 2006, p. 20). Conforme apontado por PMI (2013), definir as atividades consiste em identificar e documentar as ações necessárias para produzir as entregas do projeto, e seu principal benefício é dividir os pacotes de trabalho em tarefas que forneçam uma base para estimar, programar, executar, monitorar e controlar o projeto.

Após definir as atividades é necessário sequenciá-las, isto é, identificar e documentar o relacionamento entre estas (PMI, 2013). Segundo Amaral (2006, p. 177), “tais relações representam restrições de programação que precisam ser consideradas”. O nome dado a esta tarefa é “sequenciamento de atividades”, que consta na representação das atividades numa ordem lógica, de forma a possibilitar a correta visualização de como o projeto deverá transcorrer (BARCAUI, 2006).

Antes de elaborar o cronograma se faz necessário estimar a duração de cada atividade, sendo este um dos aspectos mais complexos do planejamento, o que ocorre devido ao fato de que o tempo é uma variável randômica, isto é, é impossível prever com precisão quais fatores irão influenciá-lo (BARCAUI, 2006).

A última etapa desta tarefa é preparar o cronograma do projeto, definido por PMI (2013, p. 434) como um “processo de análise do sequenciamento das atividades, suas durações, recursos necessários e restrições do cronograma”. Conforme menciona Barcaui (2006), a elaboração do cronograma, que deve partir da lista das atividades e suas prováveis durações, deve ser desenvolvida de forma progressiva e repetida até que se obtenham resultados confiáveis e capazes de atender aos objetivos do projeto.

Ao final desta atividade se obterá o cronograma, ou programação do projeto, que pode ser apresentado de diversas maneiras, geralmente na forma de planilhas, e que se caracteriza por apresentar a sequência das atividades bem como as datas de início e término de cada uma (AMARAL, 2006).

3.1.6 Avaliar riscos

PMI (2013, p. 310) define risco de projeto como sendo “um evento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos do projeto tais como escopo, cronograma, custo e qualidade”.

Gerenciar corretamente os riscos é um fator crítico para o sucesso dos projetos para Salles Junior (2006), que afirma que o gerenciamento fornece, de forma estruturada, um método para lidar com as incertezas no projeto, garantindo, assim, seu controle. O autor ainda enfatiza que este gerenciamento deve ser feito ainda durante a fase de concepção, antes de se tomar a decisão final de se seguir em frente ou não com o projeto.

Segundo Salles Junior (2006, p. 29), todo risco é composto por três componentes:

- O evento em si, onde deve ser identificada a causa raiz do risco, bem como seu efeito;
- Uma probabilidade associada;
- Um impacto no projeto.

Para Amaral (2006), uma boa avaliação dos riscos deve se basear nos três componentes citados. Ainda segundo o autor, são três os tipos de ação que podem ser tomados para se precaver de um risco:

- Ações que eliminem totalmente a fonte do risco;
- Ações que diminuam a probabilidade do risco ocorrer;
- Ações que reduzam o impacto causado pela ocorrência do risco.

O resultado da tarefa intitulada “avaliar riscos” será um plano de resposta aos riscos, o qual irá descrevê-los, identificar as áreas e os objetivos do projeto que podem ser afetados, apontar suas causas e as ações de resposta escolhidas para solucioná-los caso se concretizem (AMARAL, 2006).

3.1.7 Preparar orçamento do projeto

“Determinar o orçamento é o processo de agregação dos custos estimados de atividades individuais ou pacotes de trabalho para estabelecer uma linha base

dos custos” (PMI, 2013, p. 437). Ainda segundo PMI (2013), o principal objetivo desta atividade é monitorar os custos do projeto e controlar seu desempenho.

As principais fontes de informação para esta tarefa são o cronograma e a declaração do escopo. Preparar o orçamento pode ser dividido em duas etapas: definir os custos dos recursos e componentes empregados em cada atividade e uma posterior análise destas informações fazendo uso de técnicas de estimativa de custos, como as técnicas *Top-down*, *bottom-up* ou modelos paramétricos. Por último, um plano de gerenciamento dos custos do projeto será elaborado a partir das estimativas levantadas (AMARAL, 2006).

3.1.8 Definir indicadores de desempenho

A definição de indicadores faz parte do gerenciamento da qualidade do projeto, definido por PMI (2013, p. 437) como “o processo de identificação dos requisitos e/ou padrões de qualidade do projeto e suas entregas, além da documentação de como o projeto demonstrará conformidade com os requisitos de qualidade relevantes”.

Segundo Amaral (2006, p. 197), planejar indicadores “significa escolher aqueles mais propícios para avaliar a execução de um projeto, dadas as suas características e o seu tipo”. O mesmo autor ainda enfatiza que estes indicadores, que serão utilizados durante a avaliação de cada uma das fases de desenvolvimento do produto, medem aspectos relacionados com o tempo, custo e escopo do projeto, podendo-se citar como exemplo os seguintes:

- Tempo de desenvolvimento;
- Custo total do projeto;
- Custo real sobre o orçamento;
- Qualidade dos resultados em conformidade com as especificações;
- Custos de falhas internas para novos produtos;
- Taxa de devolução de novos produtos;
- Aprovação dos protótipos nos testes;
- Causas de falhas no cliente;
- Tempo de desenvolvimento do fornecedor.

3.1.9 Preparar plano de projeto

Utilizando as informações geradas nas oito seções anteriores é possível gerar o documento intitulado Plano de Projeto que, além de servir como guia para sua execução, apresenta as premissas e as decisões tomadas durante a fase de planejamento (AMARAL, 2006). Este plano, de acordo com PMI (2013) deve conter, basicamente, os seguintes itens:

- Termo de abertura do projeto;
- Declarações de escopo, incluindo os objetivos e a EDT do projeto;
- Estimativas de custos, prazos, recursos e atribuições de responsabilidades;
- Planos de gerenciamento.

3.1.10 Avaliar e aprovar fase

A avaliação da fase marca a transição entre o fim do planejamento do projeto e o início do projeto informacional. Durante o processo de avaliação é preciso se certificar de que ambos os escopos do produto e do projeto estejam em conformidade com o resultado que se pretende atingir, além de verificar a consistência do plano do projeto, que pode ser determinada pelo atendimento dos critérios apresentados no Quadro 1 (AMARAL, 2006).

Quadro 1. Critérios para avaliação da fase de planejamento do projeto.

Escopo do Produto Definido
As características escolhidas para a definição do produto são suficientes?
As metas de cada uma das características foram definidas de maneira inequívoca?
Escopo do Projeto Definido
Foram identificados todos os interessados no projeto?
Foi identificada a equipe de desenvolvimento?
A responsabilidade e dedicação de cada um dos interessados e equipes que desempenharão tarefas no projeto foram identificadas?
Os itens utilizados para descrever o escopo do projeto são suficientes?
Foram identificados todos os objetivos e metas principais do projeto?

Escopo do Projeto Definido
Foram identificados o Preço e o Custo meta do produto?
Existe um plano bem definido para o gerenciamento da Declaração do Escopo do Projeto?
Planejamento e Programação do Projeto Preparado (Detalhamento do Escopo)
Foram identificados todos os <i>deliverables</i> e pacotes de trabalho do projeto?
As atividades identificadas são capazes de resultar nas entregas e objetivos planejados para cada pacote de trabalho?
As atividades foram programadas com prazos, esforço e recursos?
Os recursos estão claramente definidos e seu uso está nivelado no decorrer do projeto?
Análise de Risco Realizada
Todos os principais riscos foram suficientemente identificados?
Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas para mitigar os riscos?
As análises resultaram em ações e mudanças suficientes para diminuir os riscos?
Análise da Viabilidade Econômica
Foi preparado um orçamento realista do projeto?
Foi preparada uma análise de demanda suficientemente precisa?

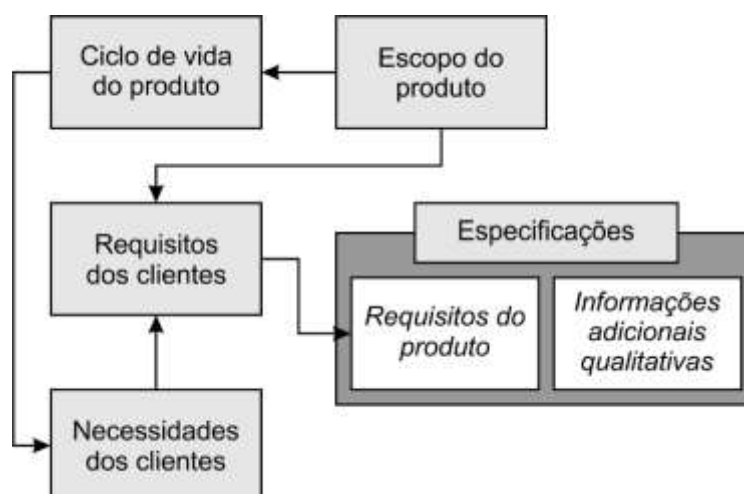
Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 205).

3.2 PROJETO INFORMACIONAL

Essa fase do desenvolvimento do projeto faz uso, principalmente, das informações presentes em seu planejamento, e seu principal objetivo é desenvolver um conjunto de informações que irão refletir as características que o produto deverá apresentar para atender às exigências do cliente, informações estas chamadas de especificações-meta do produto (AMARAL, 2006).

Para se chegar a tais especificações, Amaral (2006) recomenda um trabalho baseado em seis etapas: detalhar o ciclo de vida do produto, definir os clientes, identificar seus requisitos, definir os requisitos do produto, definir as especificações do produto e, finalmente, avaliar e aprovar a fase. Essas etapas, que serão explicadas na sequência, se relacionam de acordo com a Figura 5.

Figura 5. Relação entre as etapas do projeto informacional.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 214).

3.2.1 Detalhar ciclo de vida do produto

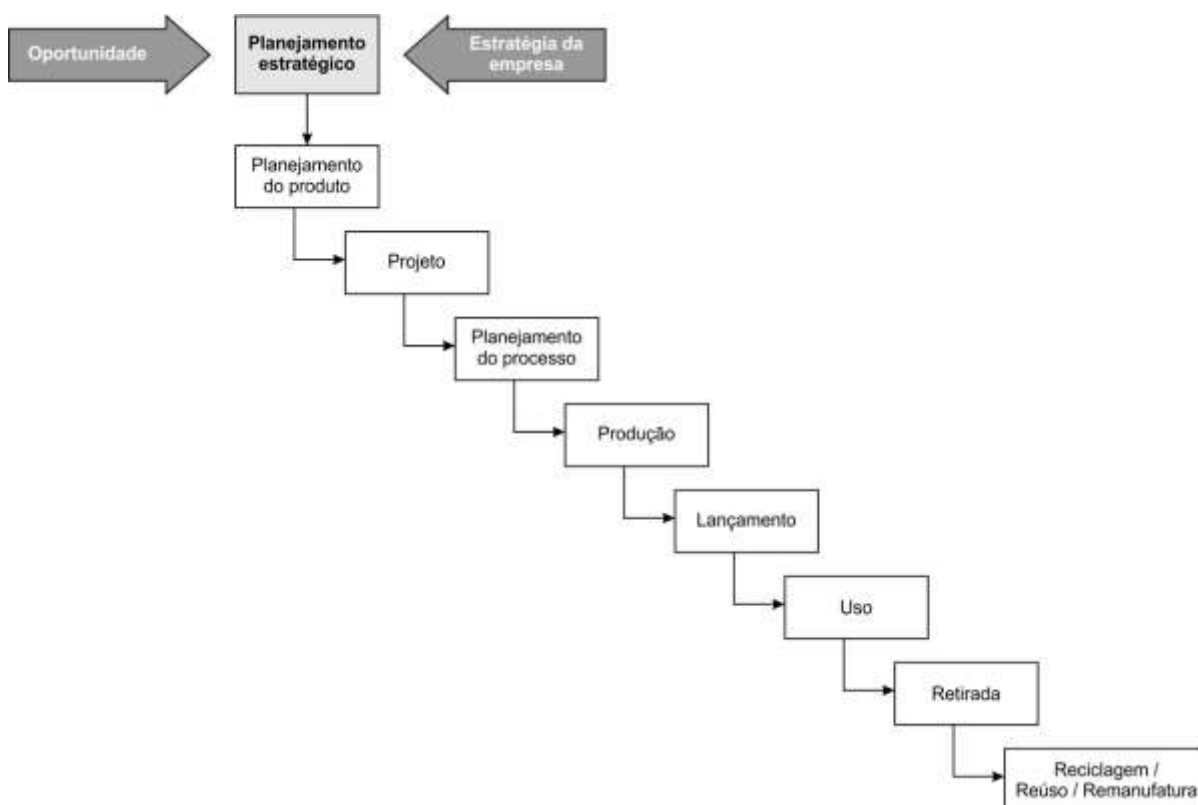
Modelos de ciclo de vida fornecem uma descrição gráfica da história do produto, isto é, são representações que buscam descrever todos os estágios pelos quais o produto irá passar. O início de um ciclo de vida é marcado pelos primeiros esforços realizados para conceber o produto (fase de planejamento), e este não se encerra quando a manufatura ou a venda do produto é descontinuada, tendo em

vista que existem produtos que são utilizados por muito tempo mesmo após as vendas terem sido encerradas (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) afirma que embora existam vários modelos de ciclo de vidas, cada um com um número diferente de etapas, todos são caracterizados por estágios sequenciais e hierárquicos. O autor dá destaque para dois modelos: o primeiro mostra a evolução do projeto/produto em termos dos recursos financeiros empregados nas diferentes fases do seu ciclo, e um segundo modelo, que descreve a evolução do produto com base nas atividades relacionadas aos estágios pelos quais este passa.

“O ciclo de vida depende de vários fatores, dentre os quais se destacam: tipo de produto que vai ser projetado, tipo de projeto a ser executado, escala de produção, características de funcionamento, características de uso e manuseio, serviços de manutenção e filosofia de desativação” (AMARAL, 2006, p. 217). Tendo em vista o foco desta pesquisa, será dado destaque para o segundo modelo de ciclo de vida, representado conforme a Figura 6.

Figura 6. Ciclo de vida segundo as atividades pelas quais um produto passa.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 217).

3.2.2 Definir clientes do produto

De acordo com o Amaral (2006), definir o relacionamento entre o ciclo de vida de um produto e seus clientes é fundamental para o sucesso do processo de desenvolvimento de um produto, uma vez que esta atividade fornece uma visão mais ampla de todo o processo e permite o desenvolvimento de soluções específicas para cada um desses clientes. Ainda segundo o autor, os clientes de um produto podem ser classificados em três categorias, tendo sua definição e preferências de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2. Clientes de um produto.

Cliente	Definição	Requisitos mais comuns
Externo	Conjunto de pessoas ou organizações que irão usar, consumir, manter, desativar e/ou retirar o produto.	Qualidade, baixo preço de aquisição e de manutenção, eficiência, segurança, durabilidade, confiabilidade, fácil operação, manutenção e descarte, visual atrativo, fazer uso das últimas tendências e desenvolvimentos tecnológicos e ser ecologicamente correto.
Intermediário	Responsáveis pela distribuição, compra, venda e marketing do produto.	Esperam que o produto satisfaça a todos os desejos e necessidades dos clientes externos, além de ser fácil de embalar, armazenar e transportar, ser atrativo e poder ser adequadamente exposto para o público.
Interno	Fabricantes e pessoal envolvido no projeto e na produção do produto.	Desejam que o produto contenha operações de fabricação, montagem, armazenamento e transporte fáceis e seguras, utilize recursos disponíveis, componentes padronizados e produza um mínimo de refugos e partes rejeitadas.

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 218).

3.2.3 Identificar os requisitos dos clientes

Uma vez definidos os clientes de cada um dos estágios do ciclo de vida, se faz necessário definir suas necessidades, as quais podem ser obtidas com o uso de listas de verificação, por meio de observações diretas, entrevistas, grupos de foco, entre outros métodos de interação (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) recomenda que após todos os requisitos terem sido coletados estes sejam agrupados de acordo com as fases do ciclo de vida a que correspondem, ou ainda por grupos de afinidade. O autor justifica que esta ação se faz necessária para eliminar repetições e necessidades pouco relevantes para o projeto, garantindo, assim, que será levado adiante apenas um grupo mínimo e preciso de requisitos.

O segundo passo desta fase é transformar as necessidades dos clientes em requisitos, o que é obtido ao se relacionar as informações coletadas a aspectos como: desempenho funcional, fatores humanos, propriedades, espaço, confiabilidade, ciclo de vida, recursos e manufatura do produto (AMARAL, 2006).

Por último deve-se atribuir valores aos requisitos dos clientes, tarefa esta que é de extrema importância para a sequência do projeto, pois “os valores (ou pesos) desses requisitos são indispensáveis para a utilização da Matriz da Casa da Qualidade numa tarefa posterior” (AMARAL, 2006, p. 221). Embora esses valores possam ser atribuídos diretamente pela equipe de projeto, é comum fazer uso do Diagrama de Mudge, um procedimento no qual a valorização é feita pela comparação dos requisitos aos pares, isto é, todos os requisitos são comparados entre si e, em cada comparação, se busca responder às seguintes perguntas: Qual requisito é mais importante para o sucesso do produto? Quanto mais importante é esse requisito? (AMARAL, 2006).

3.2.4 Definir os requisitos do produto

De forma geral, os requisitos dos clientes tendem a mostrar seus desejos, normalmente sendo expressos de forma qualitativa, o que acaba por gerar informações muitas vezes subjetivas e vagas, dificultando a compreensão do que se espera do produto. Para que se obtenham informações precisas é fundamental que as necessidades dos clientes sejam descritas de acordo com a linguagem técnica de

engenharia, isto é, que as características do produto sejam possíveis de ser mensuradas por algum tipo de sensor (AMARAL, 2006).

“Os parâmetros mensuráveis associados à descrição do desempenho esperado são os chamados requisitos do produto ou requisitos de engenharia” (AMARAL, 2006, p. 223). O autor ainda destaca que a obtenção destes requisitos, a partir das necessidades dos clientes, constitui a primeira decisão concreta sobre o produto que está sendo projetado, razão pelo qual esta etapa se constitui numa das mais importantes para todo o processo. Amaral (2006, p. 224) sugere o uso de um *checklist* como forma de evitar que algum parâmetro importante seja desconsiderado, o qual se encontra resumido no Quadro 3.

Quadro 3. Checklist para obtenção dos requisitos do produto.

Desempenho
Quais funções que o produto deve cumprir?
Quais os parâmetros pelos quais as características funcionais serão avaliadas (velocidade, potência, resistência, precisão, capacidade etc.)?
Meio ambiente
Quais as influências ambientais a que o produto estará submetido durante todas as fases de seu ciclo de vida (temperatura, vibrações, umidade etc.)?
Quais os efeitos do produto sobre o meio ambiente que devem ser evitados?
Vida em serviço
Quais as faixas de utilização do produto?
Qual é a vida útil esperada para o produto?
Eficiência
Quais as características relativas à eficiência que o produto deverá exibir (custos, disponibilidade, confiabilidade etc.)?
Transporte
Quais são os requisitos de transporte durante a produção e entrega do produto?
Embalagem
Embalagem é necessária?
Contra quais influências deve a embalagem proteger o produto?
Quantidade
Qual o tamanho do lote?
Infraestrutura
O produto deverá ser projetado para a infraestrutura de manufatura existente?
São possíveis investimentos em novas instalações para a produção?
Tamanho e peso
Quais são os limites de tamanho e peso em função da produção, transporte e uso?
Estética, aparência e acabamento
Quais são as preferências dos consumidores?
O produto deverá seguir alguma tendência ou estilo específico?

Materiais
São necessários materiais especiais?
Existem materiais que não devem ser usados?
Quais as propriedades necessárias ao material?
Normas
Quais as normas aplicáveis ao produto e à produção (internas, nacionais e internacionais)?
Ergonomia
Quais os requisitos com relação à percepção, uso, manipulação etc., a que o produto deverá atender?
Testes
Para quais testes funcionais e de qualidade o produto será submetido (dentro e fora da empresa)?
Segurança
Deverá ser providenciada alguma estrutura ou instalação especial para a segurança dos usuários e não usuários?
Implicações sociais e políticas
Qual a opinião do público em relação ao produto?
Operação e instalações
Quais requisitos são necessários para a montagem e instalação fora da fábrica?
E para o aprendizado, uso e operação do produto?
Reuso, reciclagem e descarte
É possível prolongar o ciclo dos materiais pelo reuso dos materiais e partes?
Podem os materiais e suas partes ser separados para o descarte?

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 224).

3.2.5 Definir especificações do produto

As especificações são parâmetros quantitativos e mensuráveis que o produto deverá possuir, e que muitas vezes são chamadas de “especificações-meta”, pois, além das unidades de medição, devem apresentar um valor-meta, isto é, um limite que estabelece o desempenho requerido (AMARAL, 2006).

“As especificações, além de atuarem como guias para a geração de soluções para o problema de projeto, fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão, utilizados nas etapas posteriores do processo de projeto” (AMARAL, 2006, p. 226). Uma das técnicas mais utilizadas para a geração destas especificações é o QFD (*Quality Function Deployment*), também conhecida como Casa da Qualidade, que, devido à importância que possui dentro do processo de desenvolvimento de produtos, será abordado de forma detalhada na seção que segue.

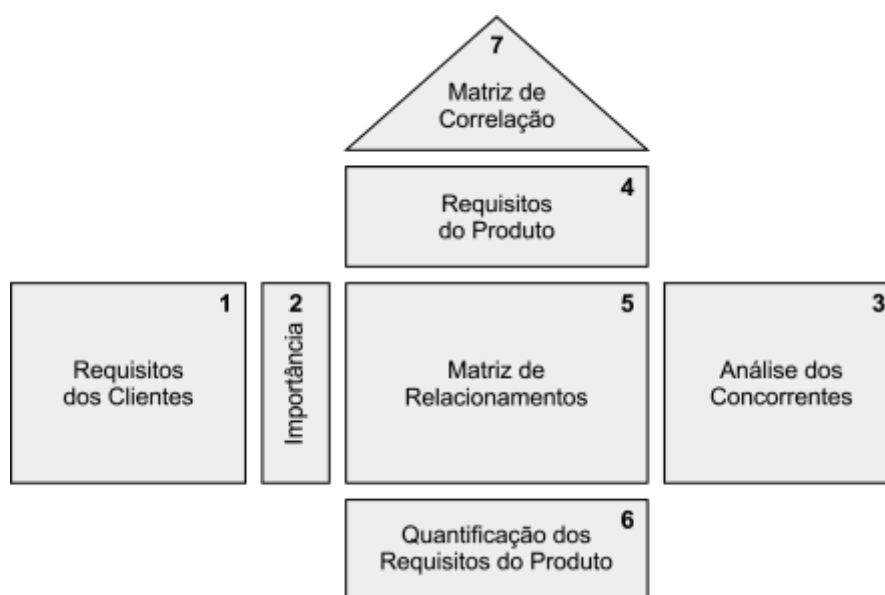
3.2.5.1 Quality Function Deployment (QFD)

O QFD é um método que foi desenvolvido no Japão em 1970 e se popularizou no início do ano 1990 com o intuito de auxiliar os projetistas no trabalho em equipe, uma vez que busca o consenso entre as diferentes definições sobre o produto (AMARAL, 2006). Ullman (2003) destaca que este método organiza um grande número de informações que auxiliam na compreensão dos seguintes fatores:

- Necessidades dos clientes;
- Determinação de especificações e metas para o produto;
- Relação entre as especificações e os requisitos dos clientes;
- Desenvolvimento de requisitos mensuráveis.

Embora seja um método que exige tempo para ser concluído, evidências mostram que os projetos que fazem seu uso adequado acabam por gerar produtos melhores e com menores tempos de atraso quando comparados com os projetos que negligenciam esta atividade, uma vez que a ferramenta, além de ajudar a compreender melhor o projeto, também dá início à geração dos primeiros conceitos do produto (ULLMAN, 2003). Embora existam diversos métodos de elaboração do QFD, todos se assemelham ao exemplo mostrado na Figura 7.

Figura 7. Matriz da Casa da Qualidade (QFD).



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 227).

Os números presentes na Figura 7 representam a sequência de construção do QFD. Embora seja importante num processo de planejamento de produto a nível industrial, a análise dos concorrentes (Etapa 3) não será realizada, tendo em vista as características desta pesquisa. O QFD utilizado nesta pesquisa será construído em sete etapas, que serão descritas na sequência, e será baseado na metodologia descrita por Ullman (2003).

A primeira e a segunda etapa da construção já foram abordadas anteriormente nesta pesquisa, sendo elas, respectivamente: a definição dos clientes do produto e a determinação de seus requisitos. O terceiro passo, também já mencionado, é atribuir valores para estes requisitos, que, segundo Ullman (2003), representam o esforço, tempo e recursos investidos para sua obtenção. O autor recomenda o uso de uma escala de 1 a 10 para os valores dos requisitos, sendo 10 considerado um requisito muito importante para o sucesso do projeto e 1 os requisitos de menor importância.

A quarta etapa consiste na definição das especificações de engenharia, que, segundo Ullman (2003), são uma tradução dos desejos dos clientes e servem como parâmetro para a tomada de decisões. O objetivo desta etapa é encontrar parâmetros que indiquem se um requisito do cliente foi atendido. Ullman (2003) destaca a importância destes parâmetros, ou especificações, serem mensuráveis, pois, segundo o autor, se não forem encontrados parâmetros de engenharia mensuráveis que atendam a um requisito do cliente, este não foi compreendido adequadamente. O Quadro 4 apresenta os tipos mais comuns de especificações de engenharia.

Quadro 4. Tipos de especificações de engenharia.

Aspecto do produto	Especificação
Desempenho funcional	Fluxo de energia
	Fluxo de informação
	Fluxo de materiais
	Etapas de operação
	Sequência de operação
Fatores humanos	Aparência
	Força necessária
	Facilidade de controle
Requisitos físicos	Propriedades físicas
	Tamanho
Confiabilidade	Tempo médio entre falhas
	Segurança (avaliação de riscos)

Aspecto do produto	Especificação
Ciclo de vida	Distribuição
	Manutenção
	Facilidade para realização de testes
	Facilidade de limpeza
	Facilidade de instalação
	Facilidade de descontinuação
Recursos	Tempo
	Custo
	Capital investido
	Instalações e equipamentos necessários
	Normas
	Meio ambiente
Manufatura / Montagem	Materiais
	Quantidade
	Capacidade das instalações

Fonte: Adaptado de Ullman (2003, p. 160).

Ullman (2003) ainda ressalta que as especificações devem ter valores-meta e unidades de medição, pois, sem essa informação, é impossível saber se um requisito foi atendido. O autor também menciona que é importante, nesta etapa de desenvolvimento do QFD, anotar o sentido de melhoria esperado para as especificações, o que geralmente é feito pela utilização dos símbolos: (\uparrow) quando o aumento do valor de uma especificação é benéfico para o projeto e (\downarrow) quando a especificação deve ter seu valor reduzido para atender aos requisitos do cliente.

A quinta etapa é responsável pelo preenchimento do meio da Casa da Qualidade, o que é obtido pelo cruzamento de cada uma das especificações levantadas na etapa anterior (parte superior do diagrama) com todos os requisitos dos clientes (lado esquerdo do diagrama), e, em seu ponto de encontro, é colocado um dos símbolos presentes no Quadro 5 para representar a correlação entre o requisito e a especificação (ULLMAN, 2003).

Quadro 5. Símbolos utilizados na indicação das relações entre requisitos de clientes e especificações de engenharia.

Símbolo	Definição	Valor numérico correspondente	Significado
⊙	Círculo preenchido	9	Relação forte
○	Círculo vazio	3	Relação média
△	Triângulo vazio	1	Relação fraca
-	Traço ou Vazio	0	Sem relação

Fonte: Adaptado de Ullman (2003, p. 164).

Para garantir o bom uso da ferramenta, Ullman (2003) recomenda que se sigam as seguintes diretrizes durante o preenchimento da quinta etapa:

- Cada requisito deve ter relacionamento do tipo forte com, no mínimo, uma especificação de engenharia;
- É desejável, mas não obrigatório, que cada especificação possa atender a mais de um requisito;
- Se um dos requisitos tiver apenas relações do tipo fraco ou médio significa que este requisito não está bem compreendido e/ou definido.

A sexta etapa é destinada ao “porão” da Casa da Qualidade, quando suas células são preenchidas com os valores-meta para as especificações e uma atribuição de pesos que indique o quão importante é atingir estes valores. Para determinar a importância das especificações, Ullman (2003) sugere a seguinte análise:

- Para cada um dos requisitos dos clientes deve-se multiplicar seus pesos (atribuídos na terceira etapa) com os valores numéricos correspondentes às relações entre estes e as especificações (obtidas na quinta etapa) para se obter os valores ponderados;
- Assim que a ponderação for realizada para todos os requisitos, é necessário somar os valores ponderados para cada especificação;
- O último passo é normalizar esta soma entre todas as especificações, o que é obtido pela divisão do valor ponderado da especificação em análise pela soma dos valores ponderados de todas as especificações.

O último passo é preencher o “teto” do diagrama com a correlação das especificações entre si. O teto do QFD é composto por linhas diagonais que conectam todas as especificações e, caso duas especificações forem dependentes entre si, um dos símbolos abaixo deve ser colocado na interseção (ULLMAN, 2003).

- (+) para indicar que a melhoria numa das especificações gera uma melhoria na outra;
- (-) quando a melhoria numa das especificações afeta negativamente a outra.

Caso esta parte do diagrama apresente muitas células preenchidas o projeto deve ser revisado, pois este fato é indicativo de que as especificações são muito dependentes entre si. Do mesmo modo, também se faz necessário revisar as especificações caso a relação entre duas delas não seja clara (ULLMAN, 2003).

Assim que a sexta etapa for encerrada, o QFD estará concluído e se constituirá numa importante fonte de dados para as próximas etapas do projeto. É importante ressaltar que, embora o desenvolvimento desta técnica aparente retardar o processo, todo o tempo empregado em sua construção será retornado pela eliminação de problemas futuros no projeto (ULLMAN, 2003).

3.2.6 Avaliar e aprovar fase

O conjunto de especificações gerado ao final desta fase, junto com as demais informações levantadas até esta seção, formará o documento intitulado “Projeto Informacional”. Amaral (2006) recomenda a observação dos critérios dispostos no Quadro 6 antes de se dar sequência à próxima etapa do projeto do produto.

Quadro 6. Critérios para avaliação do projeto informacional.

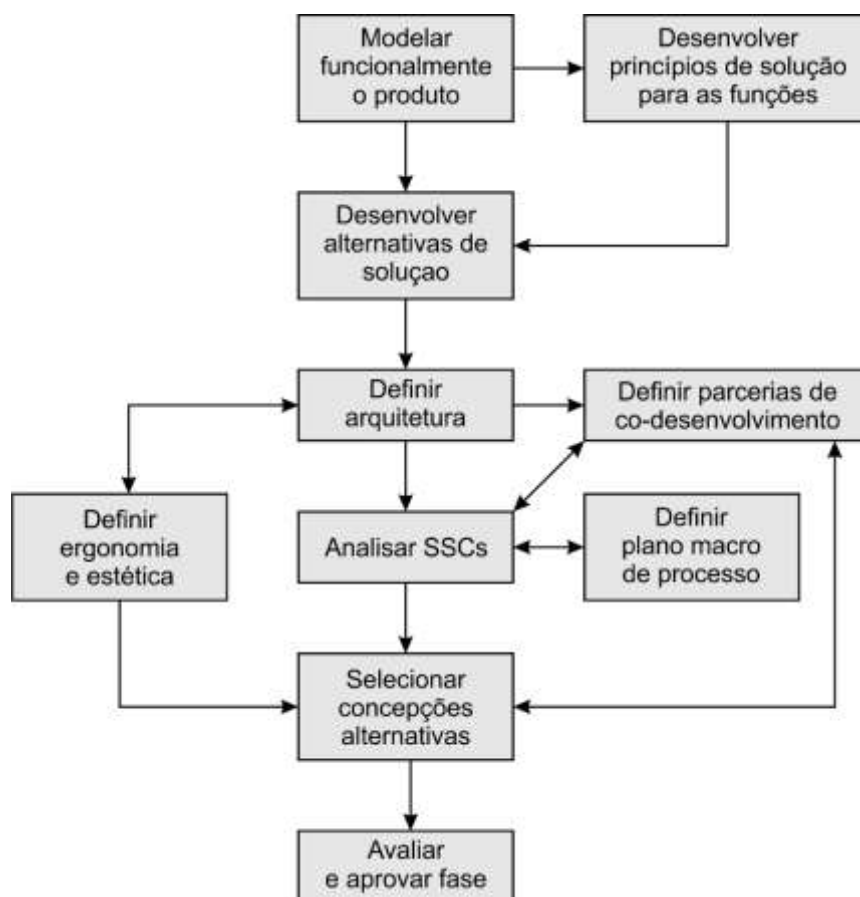
Abrangência
As especificações contemplam todos os aspectos relacionados ao produto durante seu ciclo de vida?
Concisão e ausência de redundâncias
As especificações possuem ideias e requisitos repetidos?
Uniformidade de abstração
As especificações contêm apenas requisitos situados num mesmo nível de abstração?
Estrutura adequada
A lista de especificações possui campos para todos os parâmetros que sejam de valia para elaboração de um bom projeto (metas, sensores, saídas indesejáveis etc.)?
Clareza
As especificações estão postas de forma clara e em linguagem compreensível a todos que se envolvem diretamente ou indiretamente com o projeto?
Praticabilidade
Os requisitos poderão ser observados e analisados de modo que sejam facilmente avaliados pela equipe de projeto?

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 232).

3.3 PROJETO CONCEITUAL

O objetivo desta etapa é a obtenção de uma concepção de produto que descreva, de forma aproximada, as tecnologias que serão utilizadas, os princípios de funcionamento e as formas do produto, geralmente representados por meio de esquemas ou modelos tridimensionais. As atividades desta etapa, que serão detalhadas na sequência, seguem uma sequência lógica e suas relações são expressas na Figura 8.

Figura 8. Relação entre as atividades da fase do projeto conceitual.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 236).

O projeto conceitual, conforme destacado por Borges e Rodrigues (2010), é a etapa em que a criatividade e o repertório do projetista ganham maior ênfase dentro do processo de desenvolvimento de um produto. De acordo com Amaral (2006), ao final desta fase, além de se construir uma ideia visual do produto, se obterá uma descrição de como este irá satisfazer as necessidades dos clientes.

3.3.1 Modelar funcionalmente o produto

Modelar um produto funcionalmente significa descrever o produto, de forma abstrata, através de suas funções, técnica esta que favorece a obtenção da estrutura do produto, uma vez que não restringe o espaço de pesquisa a soluções específicas (AMARAL, 2006).

Conforme mencionado por Amaral (2006, p. 237), “funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que tornarão um produto capaz de desempenhar seus objetivos e especificações”. O mesmo autor orienta que a primeira atividade a se realizar nesta etapa é determinar a função global do produto, isto é, a função mais importante para a qual o produto será desenvolvido.

A função global, obtida pela análise das especificações do produto, deve resumir o que se espera do produto funcionalmente e, para sua representação, são utilizadas representações gráficas denominadas estruturas de funções, nas quais, segundo Amaral (2006, p. 240), “têm-se uma descrição que relaciona o sistema técnico e a física do problema por meio de fluxos básicos de energia, materiais e sinais”, sendo que tais fluxos podem ser caracterizados segundo o Quadro 7.

Quadro 7. Caracterização dos fluxos de energia numa estrutura de funções.

Fluxo	Definição	Caraterísticas
Energia	Responsável pelo transporte e/ou transformação de matéria e sinal.	Pode se manifestar de diversas formas, dentre elas: elétrica, cinética, magnética, calor e óptica.
Material	Possui propriedades ligadas a forma, massa, cor etc.	Pode ser misturado, separado e mudado quimicamente.
Sinal	Forma física na qual uma informação é transportada.	Pode ser preparado, recebido, comparado, combinado, transmitido, mostrado e gravado.

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 240).

A função global ajuda a equipe de projeto a sintetizar o que realmente se espera do produto a ser projetado, além de servir como ponto de partida para a elaboração da estrutura funcional. Uma função global pode seguir a mesma convenção de símbolos utilizada na Figura 9.

Figura 9. Representação esquemática da função global.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 240).

Amaral (2006, p. 240) recomenda o seguinte roteiro para se elaborar uma função global a partir das especificações de um produto:

- Localizar as especificações ligadas às funções do produto;
- Detectar, nessas especificações funcionais, as principais entradas e saídas do sistema em termos de fluxos de energia, matéria e sinal;
- Estabelecer os estados das principais entradas e saídas;
- Detectar, dentre os fluxos listados, os principais fluxos de entrada e saída do sistema;
- Do relacionamento entre os principais fluxos, expressar a função global do produto através de um verbo e um substantivo.
- Representar estes dados na forma de um diagrama de blocos.

Uma vez definida a função global do produto esta deve ser decomposta em estruturas de menor complexidade, dando origem à estrutura de funções, que, além de facilitar a busca por soluções, proporciona um melhor entendimento do problema do projeto (AMARAL, 2006).

Uma estrutura de funções deve conter todos os fluxos de energia, material e sinal, bem como garantir a compatibilidade entre funções adjacentes, isto é, as entradas de uma função devem corresponder às saídas da função anterior. Tais estruturas devem ser o mais simples possível, de modo a facilitar sua compreensão e conduzir a soluções simples e econômicas (AMARAL, 2006).

3.3.2 Desenvolver princípios de solução para as funções

Esta atividade marca o início da concretização do produto, tendo em vista que, para cada uma das funções indicadas na estrutura funcional escolhida na etapa anterior, devem ser atribuídos ou um mais princípios de solução, obtidos a partir da busca de um efeito físico e um portador de efeito que, por meio de determinados componentes, realize o objetivo da função em questão (AMARAL, 2006).

Um portador de efeito físico deve representar qualitativamente o sistema que desempenhará a função desejada, além de conter informações a respeito dos elementos que compõem tal sistema e das relações entre esses elementos (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) menciona que as seguintes informações podem ser utilizadas para descrever um princípio de solução: tipo de elemento, quantidade, forma, posição, movimentos a serem realizados e atributos de material. É importante que a descrição destes princípios seja flexível, isto é, não devem ser utilizadas características muito específicas, como, por exemplo, o tipo de material a ser utilizado. Amaral (2006) sugere que, ao invés de definir o material, o princípio de solução seja indicado em termos dos atributos necessários, como: ductibilidade, rigidez, transparência, condutibilidade elétrica e ponto de fusão.

Princípios de solução podem ser obtidos através de bancos de dados, catálogos e demais fontes de pesquisa. Ainda, para auxiliar na busca por princípios de solução que atendam às necessidades, é possível utilizar os chamados métodos de criatividade, dentre os quais se destaca a matriz morfológica (AMARAL, 2006).

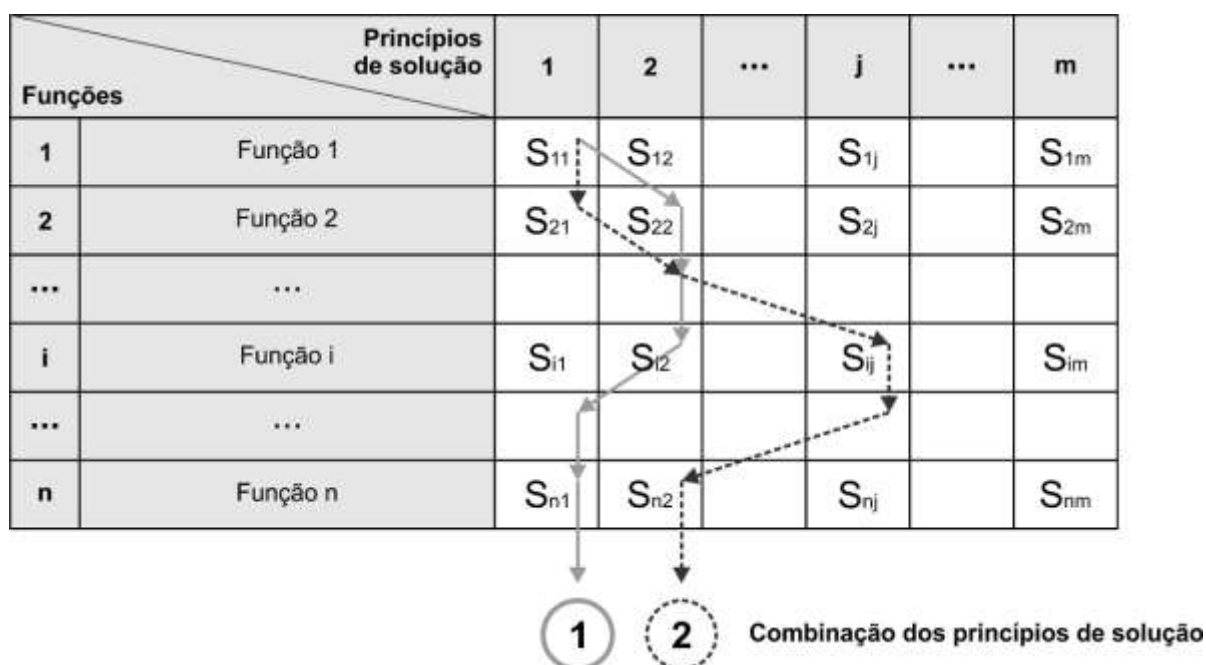
A matriz morfológica faz parte do método de criatividade morfológico, o qual busca desdobrar problemas complexos em partes mais simples para, então, buscar princípios de soluções para estas partes. O método se inicia com a divisão do problema em parâmetros, que podem ser as subfunções definidas na estrutura de funções da etapa anterior. A seguir inicia-se a busca de alternativas para a solução destes parâmetros e, assim que todos tiverem soluções atribuídas a si, realiza-se uma combinação entre estes, para, finalmente, se escolher a melhor destas combinações, que será adotada como solução do problema (AMARAL, 2006).

“Usada apropriadamente, a matriz morfológica pode auxiliar na obtenção de potenciais soluções para o produto” (AMARAL, 2006, p. 249). Esta matriz, que

também possibilita uma definição inicial da arquitetura do produto, pode ser montada nas seguintes três etapas (AMARAL, 2006):

- Listar as funções essenciais para o produto, lista esta que não deve ser muito longa (no máximo 10 funções) e as funções devem ser mutuamente exclusivas;
- Listar os possíveis princípios de solução para cada função;
- Representar as funções e os princípios de solução numa matriz semelhante à mostrada na Figura 10.

Figura 10. Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 250).

A Figura 10 já apresenta uma combinação entre princípios de solução, tarefa esta que será abordada na próxima seção. É válido ressaltar que a busca por princípios de solução deve ser feita de forma independente para cada função e, como o número total de princípios pode ser elevado, é necessário limitar a busca às opções mais viáveis ou atrativas ao projeto (AMARAL, 2006).

3.3.3 Desenvolver alternativas de solução para o produto

Uma vez listadas as diversas alternativas para as funções que compõem a estrutura funcional do produto deve-se partir para a combinação destes princípios de solução individuais, o que dará origem aos princípios de solução totais, também chamados de concepções do produto (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) recomenda o uso da matriz morfológica para executar esta tarefa, uma vez que ela dispõe simultaneamente as funções que compõem a estrutura funcional do produto e suas diversas possibilidades de solução. O mesmo autor orienta que, após a geração dos princípios de solução (ocorrida na etapa anterior), estes sejam analisados e combinados, de modo a gerar as concepções do produto. “Um grande número de combinações é possível; contudo, existem restrições em razão da compatibilidade física e geométrica entre os princípios de solução e o próprio compartilhamento de funções” (AMARAL, 2006, p. 255).

3.3.4 Definir arquitetura do produto

A arquitetura de um produto é o nome dado ao esquema que representa o arranjo de seus elementos funcionais e a interação entre estes, o que implica que cada uma das concepções de produto obtidas na etapa anterior deverão ser desdobradas em sistemas, subsistemas e componentes (SSCs), os quais deverão, obrigatoriamente, atender às funções do produto (AMARAL, 2006).

Amaral (2006, p. 258) destaca que as “decisões sobre essa arquitetura influenciarão no gerenciamento e organização do esforço de desenvolvimento, pois possibilitarão que sejam designadas atividades de projeto e testes dessas partes para equipes, indivíduos e/ou fornecedores, de modo que o desenvolvimento de diferentes porções do produto possa ocorrer simultaneamente”.

Arquiteturas de produto devem exibir os elementos que o constituem, apontar suas relações com os demais componentes e incluir uma noção de sua estrutura sem, no entanto, indicar suas formas exatas, dimensões, quantidades totais e materiais utilizados (AMARAL, 2006).

3.3.5 Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSCs)

A arquitetura do produto o representa através de propriedades técnicas ligadas ao seu funcionamento, no entanto, a avaliação e escolha de uma concepção de produto não deve se basear apenas em quesitos técnicos, mas, também, em critérios relacionados ao seu uso, fabricação, montagem, desempenho, aparência, custos, qualidade e descarte (AMARAL, 2006).

A atividade realizada nesta seção consiste no detalhamento da seção anterior, onde, através da definição das formas, materiais e dimensionamento inicial dos SSCs para cada concepção, serão identificados aspectos críticos relacionados ao ciclo de vida do produto, o que irá conduzir à definição de seus processos de fabricação e montagem, bem como à geração da BOM (*Bill Of Materials* – Estrutura do Produto) (AMARAL, 2006).

Segundo Amaral (2006), esta atividade é fundamental para reduzir problemas de retrabalho futuro, uma vez que permite à equipe de projeto prever os impactos do ciclo de vida no projeto do produto. O autor também afirma que previsões adequadas realizadas nesta etapa criam projetos com desempenho superior, menor número de iterações de reprojeção, menor tempo de desenvolvimento e menores custos de manufatura.

3.3.6 Definir ergonomia e estética do produto

“A ergonomia está relacionada com as características, habilidades, necessidades das pessoas e, em especial, com as interfaces entre as pessoas e os produtos” (AMARAL, 2006, P. 276). Pessoas podem interagir com o produto de quatro formas básicas: pelo espaço de trabalho ocupado em torno do produto, atuando como fonte de potência para o produto, como um sensor ou como um controlador. Essas quatro formas de interação formam a base para o estudo dos chamados fatores humanos, que devem ser considerados para quaisquer pessoas que possa entrar em contato com o produto, seja em qual for a etapa em seu ciclo de vida (AMARAL, 2006).

Magrab (1997) apud Amaral (2006, p. 276) recomenda que as seguintes questões sejam consideradas para se obter um projeto adequado em termos de ergonomia:

- Adequar o produto às características físicas, bem como à idade, gênero, alcance, destreza, força e ao conhecimento do usuário;
- Evitar que o usuário exerça movimentos e forças extremos e complicados;
- Simplificar e reduzir as tarefas necessárias para operação do produto;
- Usar convenções, SSCs e arranjos normalizados;
- Tornar controles e suas funções óbvios e as informações operacionais claras, visíveis e não ambíguas;
- Prever possíveis erros humanos e criar restrições para prevenir ações incorretas por parte do usuário;
- Informar ao usuário sobre o modo de operação que foi selecionado (elaborar um manual de operação).

Conforme mencionado na seção anterior, um produto também deve passar por uma análise de seu estilo, isto é, este deve ter aparência agradável aos clientes. Segundo Amaral (2006, p. 277), “a estética do produto está ligada àquilo que o consumidor percebe, do ponto de vista da aparência, como a configuração das formas, superfícies e cores, predominando os aspectos relacionados à beleza”.

3.3.7 Selecionar a concepção do produto

O objetivo desta atividade é selecionar, dentre as concepções geradas nas etapas anteriores, a melhor destas, a qual será transformada no produto final. O termo selecionar, nesta atividade, implica em ações de valoração, comparação e tomada de decisão (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) explica que existem dois tipos de comparação: a absoluta, na qual cada concepção é comparada com algum tipo de informação, experiência ou requisitos, e a relativa, que trata da comparação das concepções entre si. Para facilitar o processo de avaliação das várias concepções que podem ter sido geradas o autor recomenda a utilização de um método conhecido como Matriz de Decisão, semelhante à mostrada na Figura 11.

Figura 11. Modelo de matriz de decisão.

		CONCEPÇÕES						
		Peso	Concepção 1	Concepção 2 (Referência)	Concepção 3	Concepção m
CRITÉRIOS	Critério 1	P1		0				
	Critério 2	P2		0				
	Critério 3	P3		0				

	Critério n	Pn		0				
Peso total								

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 283).

O primeiro passo para construir a matriz é definir os critérios pelos quais as concepções serão avaliadas, que podem ser algumas ou todas as especificações do produto. As concepções e os critérios de avaliação devem, então, ser distribuídos nas linhas e colunas da matriz (AMARAL, 2006).

A próxima etapa é escolher uma das concepções para servir de referência para a comparação de todas as demais, cujo julgamento deverá indicar se a concepção em questão é “melhor que”, “igual a” ou “pior que” a concepção de referência (AMARAL, 2006). Tais relações podem ser representadas de acordo com os símbolos no Quadro 8.

Quadro 8. Símbolos utilizados na matriz de decisão.

Símbolo	Valor numérico correspondente	Significado
+	+1	Melhor que a referência
S	0	Igual à referência
-	-1	Pior que a referência

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 282).

De acordo com Amaral (2006, p. 283), “existem dois aspectos importantes a serem considerados: o primeiro é que o ‘+’ e o ‘-’ não dão indicação de quanto melhor ou quanto pior que a referência é para determinado critério de avaliação, e o segundo é que os critérios não são igualmente importantes”. A solução para tais

problemas se dá pela adição dos pesos de cada critério à matriz, que podem ser as importâncias adotadas na elaboração do QFD.

Após preenchimento de todas as células da matriz, deve-se calcular o peso total de cada concepção, obtido pela multiplicação do valor numérico correspondente a cada símbolo (de acordo com o Quadro 8) com a importância de cada requisito. A concepção que obter o peso total mais elevado será a mais adequada para dar origem ao produto final.

3.3.8 Avaliar e aprovar fase

Assim que a concepção que formará o produto final for escolhida esta fase do processo de desenvolvimento do produto estará concluída e a próxima poderá ser iniciada. Antes de reunir as informações construídas nesta seção e constituir, formalmente, o documento intitulado “Projeto Conceitual”, Amaral (2006) recomenda que se faça a revisão dos critérios dispostos no Quadro 9.

Quadro 9. Critérios para avaliação do projeto conceitual.

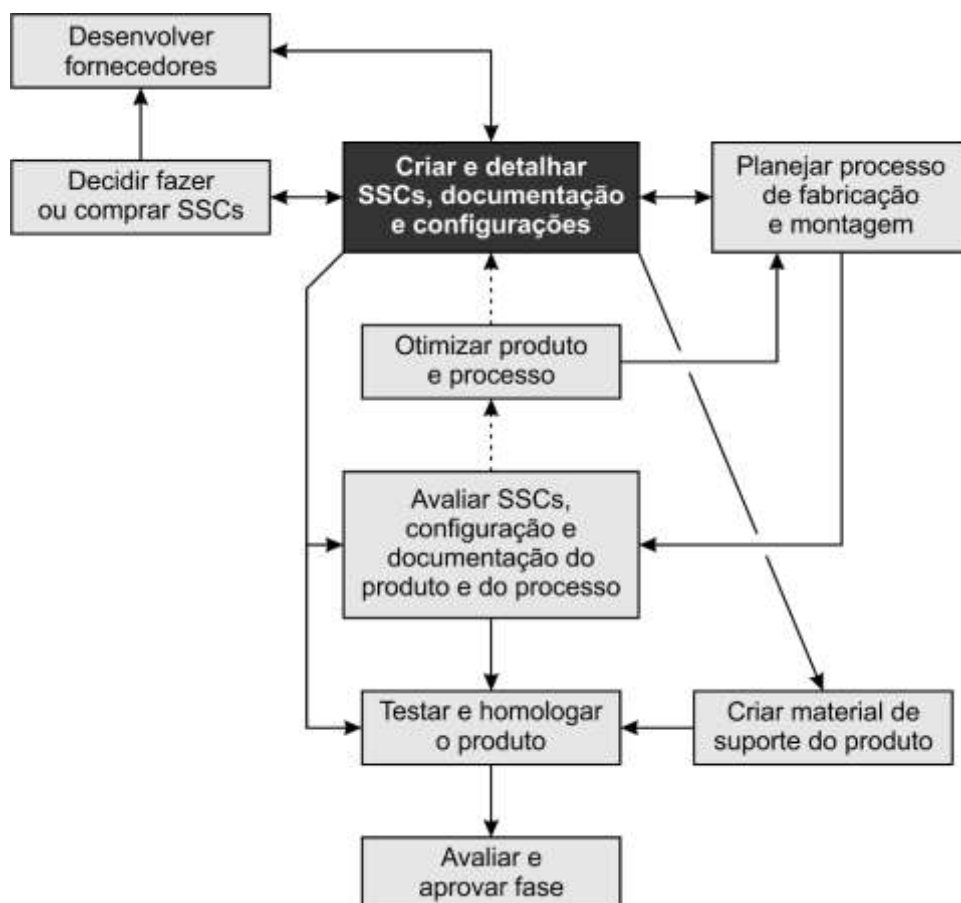
Viabilidade técnica
Existe alguma limitação tecnológica?
As especificações técnicas estão sendo atendidas?
Maturidade da tecnologia
Podem as tecnologias escolhidas serem manufaturadas pelos processos conhecidos?
Os parâmetros funcionais críticos estão identificados?
A segurança e a sensibilidade dos parâmetros operacionais são conhecidas?
Os modos de falhas são conhecidos?
A tecnologia é controlável por meio do ciclo de vida do produto?

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 290).

3.4 PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado é a última etapa do processo de desenvolvimento de um produto, cujo principal objetivo é desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para que estas sejam encaminhadas à manufatura e demais fases do desenvolvimento. Um fato peculiar desta etapa é que suas atividades não são realizadas em sequência, mas através de um ciclo contínuo formado por quatro estágios: projetar, construir, testar e otimizar. A execução deste ciclo garante o paralelismo das atividades mostradas na Figura 12, sendo que ele deve ser executado quantas vezes forem necessárias para se garantir um produto em conformidade com as especificações do projeto (AMARAL, 2006).

Figura 12. Relação entre as atividades da fase do projeto detalhado.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 297).

Conforme pode ser visto na Figura 12, a atividade central do projeto detalhado é a criação e detalhamento dos SSCs, cuja principal entrada é a concepção do produto elaborada no final do projeto conceitual. Paralelamente a esta atividade deve ocorrer o planejamento do processo de fabricação e montagem dos componentes que formam o produto, bem como a elaboração da documentação e configurações finais do produto (AMARAL, 2006).

Borges e Rodrigues (2010, p.275) resumem o projeto detalhado como uma atividade que faz “a revisão de tudo que foi proposto pelo projeto preliminar, na busca da definição sobre materiais utilizados, formas de produção e utilização, componentes, acabamento das superfícies, bem como da estrutura de custos, criando, assim, a documentação obrigatória de desenhos e afins para sua realização material e sua utilização”.

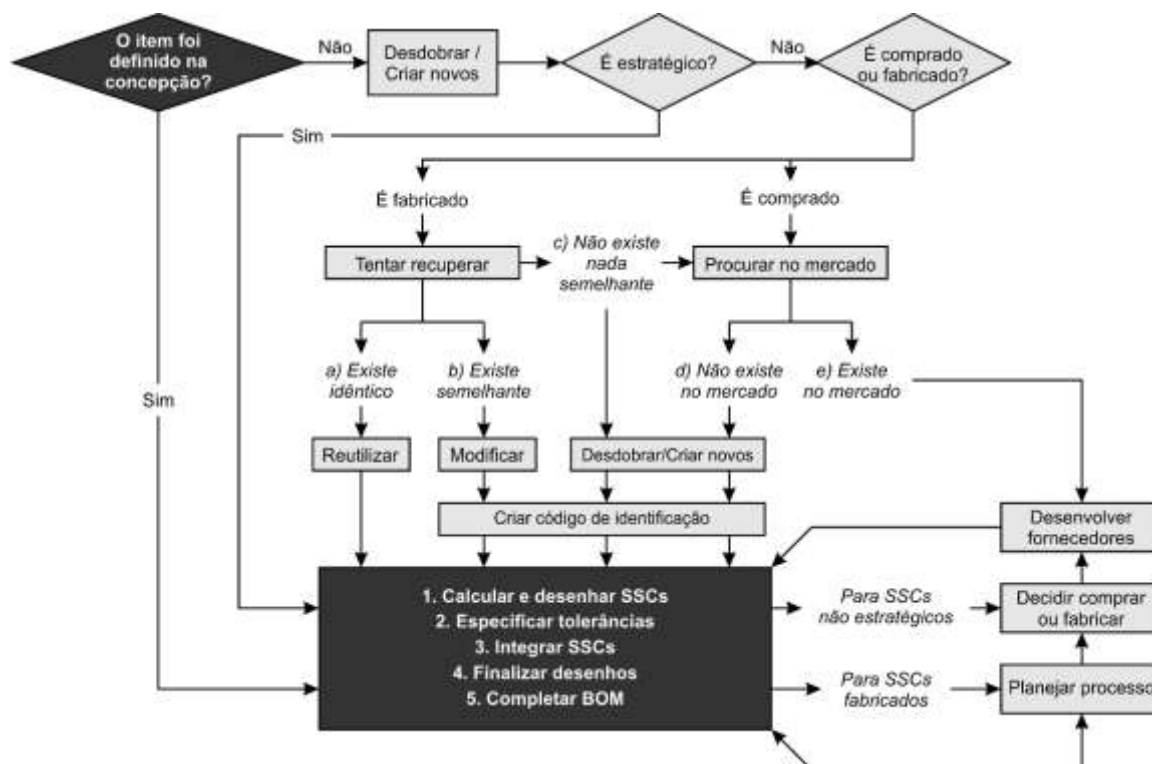
3.4.1 Criar e detalhar SSCs, documentação e configurações

Esta é a atividade que norteia o projeto detalhado, pois é dela que resultam as principais informações para as especificações finais do produto. Apesar do termo “criar” ser utilizado na definição desta atividade, a maioria dos SSCs foram identificados durante a concepção do produto, sendo função da atual atividade dar continuidade à sua criação e detalhamento (AMARAL, 2006).

Amaral (2006, p. 301) afirma que o objetivo desta atividade é “criar todos os Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) do produto, produzir as documentações finais e detalhadas, que compreendem todos os desenhos dos SSCs com cotas e tolerâncias finais, e a configuração final do produto, na maior parte das vezes refletidas na Estrutura do Produto (BOM)”.

Embora muitos dos componentes a serem utilizados num produto possam ser encontrados no mercado, os quais constituem os chamados “itens de prateleira”, é possível que algum componente exija fabricação ou adaptação de um item comercial. Para auxiliar na tomada de decisões quanto à sequência de atividades a ser dada para cada um dos diferentes tipos de componentes que possam constituir um produto Amaral (2006) sugere o fluxograma representado na Figura 13.

Figura 13. Lógica para criação/reutilização/busca de SSCs.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 304).

Conforme pode se observar na Figura 13, independente do tipo do item a ser desenvolvido, as tarefas da atividade de criar e detalhar SSCs são basicamente cinco: calcular e desenhar os SSCs, especificar tolerâncias, integrar os SSCs, finalizar os desenhos e configurar o produto (completar a BOM). Estas atividades serão detalhadas nas seções seguintes.

3.4.1.1 Calcular e desenhar os SSCs

Amaral (2006) divide os SSCs em duas categorias principais: de acordo com o grau de conhecimento que a empresa possui sobre estes e de acordo com o tipo de tecnologia empregada para sua fabricação, conforme mostra o Quadro 10.

Quadro 10. Tipos de SSCs.

Grau de conhecimento	Novos SSCs para a empresa	SSCs conhecidos
----------------------	---------------------------	-----------------

Tecnologia	Tecnologia tradicional	Tecnologia inovadora
-------------------	------------------------	----------------------

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 315).

Devido às características do produto que será projeto nesta pesquisa, todos os SSCs serão fabricados utilizando as tecnologias tradicionais e considerados como novos, os quais são definidos por Amaral (2006, p. 315), como “aqueles que nunca foram desenvolvidos anteriormente, seja do ponto de vista de tecnologia, ou mesmo da forma, dimensão ou tolerância”.

A atividade de desenhar visa detalhar o produto e a integração dos diversos SSCs que o compõem, no entanto, se faz necessário identificar os itens e as características críticas ao produto, que estão diretamente relacionados com o atendimento das necessidades dos clientes. Dentre todos os parâmetros de um sistema, poucos são críticos, e trabalhar com estes fornece foco à atuação da equipe de projeto (AMARAL, 2006).

De modo a verificar as especificações feitas no projeto conceitual recomenda-se a realização de cálculos para o dimensionamento e a otimização dos componentes. No caso de SSCs novos, que saem do projeto conceitual, normalmente, com especificações reduzidas, é recomendado que se faça um desenho inicial para servir de referência para os cálculos e, após sua realização, que se ajuste o desenho até este ser condizente com as especificações desejadas (AMARAL, 2006).

3.4.1.2 Especificar tolerâncias

A especificação de tolerâncias pode ocorrer de duas formas: a especificação analítica, empregada para produtos, tecnologias e processos conhecidos pela empresa, ou a especificação experimental, quando o alvo da especificação fizer uso de conhecimentos ainda inexistentes ou reduzidos (AMARAL, 2006).

Um exemplo de especificação analítica é a especificação de componentes mecânicos, que faz uso de tabelas e normas, isto é, parte do uso de um conhecimento já consolidado e sistematizado. Para as demais especificações recomenda-se que o projetista faça uso de seus conhecimentos técnicos aliado ao bom senso, análise de funcionalidade e das limitações dos processos produtivos,

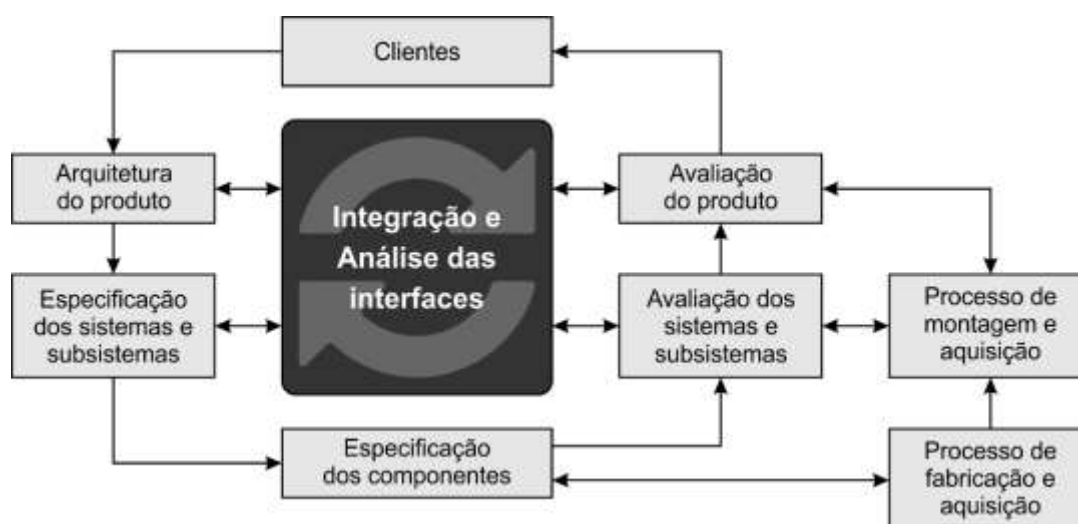
sendo de extrema importância planejar, também nesta etapa, o processo de fabricação dos componentes (AMARAL, 2006).

Amaral (2006) divide os métodos de especificação de tolerâncias em dois grupos: analíticos e experimentais. Os métodos analíticos fazem uso de modelos matemáticos ou de simulação computacional para definir os valores e, posteriormente, analisar seus efeitos nos elementos, enquanto que nos métodos experimentais são realizados ensaios para a determinação destes valores.

3.4.1.3 Integrar os SSCs

O objetivo desta atividade é analisar as interfaces entre os SSCs, com o intuito de identificar eventuais interferências e corrigi-las. Amaral (2006) recomenda que, cada vez que uma tolerância funcional de um sistema ou subsistema for aprovada, resultado da aprovação das tolerâncias de seus componentes, se realize a avaliação, e posterior aprovação, das interfaces com os demais sistemas, bem como sua integração com os níveis superiores na estrutura do produto. O ciclo apresentado na Figura 14 deve ser repetido sucessivamente até que se atinja o maior nível na estrutura do produto, correspondente ao produto final.

Figura 14. Desdobramento do produto em SSCs e sua integração.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 329).

O termo “componente” denota a ideia de um meio físico, no entanto, um item de produto pode ser um software, e é nesta tarefa que deve ser feita sua integração

com os demais itens do produto através de um processo conhecido como PDS (Processo de Desenvolvimento de Software), cujas principais fases são: levantamento de requisitos, análise, desenho, implementação e testes (AMARAL, 2006).

Segundo Amaral (2006), embora o desenvolvimento de software esteja inserido como um tópico adicional na fase de projeto detalhado, as atividades do PDS se assemelham às abordadas nas seções anteriores desta pesquisa, sendo assim, o desenvolvimento dos softwares ligados ao produto deve ser iniciado ainda na fase de planejamento do projeto.

Amaral (2006) divide os softwares ligados a produtos em quatro categorias: softwares críticos, softwares de apoio aos processos de negócio, softwares embarcados e sistemas de integração com softwares de terceiros. O produto desenvolvido nesta pesquisa fará uso de um software embarcado, “responsável por realizar uma função específica integrada aos sensores e atuadores do produto” (AMARAL, 2006, p. 332).

3.4.1.4 Finalizar desenhos e documentos

“Nesta altura do desenvolvimento, todos os SSCs foram criados, comprados (quando for o caso), desenhados, especificados, testados e integrados” (AMARAL, 2006, p. 334). A atividade desenvolvida nesta seção realiza uma análise das limitações dos processos de fabricação, sua capacidade e normas aplicadas ao produto, cujo resultado é uma documentação verificada das decisões tomadas até o momento, a qual libera o produto para homologação (AMARAL, 2006).

Após a conclusão dos desenhos finais dos componentes inicia-se a conclusão dos desenhos dos conjuntos que compõem os sistemas e subsistemas do produto. Amaral (2006) destaca a importância de se atribuírem códigos de identificação aos desenhos, que os relacionam com o produto final, bem como de cadastrá-los no sistema utilizado pela empresa.

3.4.1.5 Configurar produto e completar sua estrutura

O objetivo desta atividade é especificar o tipo de estrutura de produto que atenderá aos requisitos das demais áreas do processo e, apesar de estar listada

como a última tarefa da atividade de criar e detalhar os SSCs, configurar o produto através de sua estrutura deve ser realizada em paralelo com as demais atividades já citadas nesta seção, isto é, a cada vez que um novo item for criado, este deve ser inserido na estrutura do produto (AMARAL, 2006).

A estrutura do produto (BOM) contém a identificação dos SSCs e dos seus relacionamentos, bem como a conexão destes itens com os documentos a eles relacionados. Esta estrutura, além de ser fundamental para a manufatura do produto, é um elemento que gera integração, visto que suas informações são compartilhadas por grande parte dos setores envolvidos com o projeto, logo, a forma como é gerenciada, controlada e estruturada tem influência direta sobre o sucesso do projeto (AMARAL, 2006).

Segundo Amaral (2006), os tipos mais comuns de BOM utilizadas são: BOM padrão, BOM modular, BOM de planejamento, BOM genérica, BOM de manufatura, BOO (*Bill Of Objects*) e BOM para informação. Tendo em vista que cada projeto possui características diferentes, convém que cada líder de projeto estruture sua BOM de acordo com suas necessidades específicas, a qual pode ser um dos modelos citados, ou a combinação de um ou mais destes.

3.4.2 Criar material de suporte do produto

Segundo Amaral (2006), faz parte desta atividade a criação dos seguintes itens: manual de operação do produto, material de treinamento e manual de descontinuidade do produto. Conforme mencionado nos objetivos desta pesquisa, será elaborado um manual de operação do produto, o qual, além de explicar seu funcionamento e as normas de operação, deve conter suas “regulagens, ajustes, capacidades, limites de funcionamento, cuidados a serem tomados e outros” (AMARAL, 2006, p. 377).

3.4.3 Testar e homologar o produto

Esta atividade busca garantir a qualidade do produto antes de sua produção e fornece um aspecto formal ao processo, sendo um ponto de convergência e integração de todas as atividades relacionadas às averiguações sobre o produto.

Esta atividade pode ser dividida em três etapas: verificação, validação e homologação (AMARAL, 2006).

No processo de verificação se analisam os resultados (saídas ou documentos) para garantir que estes estejam de acordo com as especificações do produto, enquanto que o processo de validação busca assegurar que o produto final irá atender aos requisitos de sua aplicação específica, muitas vezes realizada através de testes de protótipos (AMARAL, 2006).

Conforme explica Amaral (2006), o termo homologar está ligado ao atendimento explícito das exigências de instituições reguladoras, de homologação ou de clientes específicos, sendo que, muitas vezes, os testes desta atividade são realizados pelos próprios clientes e órgãos de homologação ou certificação. Amaral (2006) também aponta as seguintes tarefas como constituintes desta atividade:

- Verificar a documentação;
- Verificar a funcionalidade do produto;
- Verificar o atendimento dos requisitos;
- Verificar o atendimento das normas;
- Obter o certificado de homologação.

3.4.4 Avaliar e aprovar fase

Diferente das demais fases vistas até o momento, as atividades realizadas durante o projeto detalhado devem ser constantemente avaliadas, de modo a verificar se as especificações do projeto resultam nos parâmetros desejados para o produto, isto é, se os requisitos dos clientes estão sendo atendidos considerando a aplicação do produto em suas condições de uso (AMARAL, 2006). As principais atividades realizadas por esta tarefa são:

- Analisar falhas;
- Avaliar tolerâncias analiticamente;
- Planejar testes (produto e processo);
- Desenvolver modelos para testes (elaborar modelos matemáticos e/ou fabricar/receber o protótipo);
- Executar testes;
- Avaliar resultados e planejar ações;
- Avaliar consonância da documentação com as normas.

Amaral (2006) sugere alguns métodos para avaliação dos SSCs, com base no perfil do projeto, os quais se dividem segundo o Quadro 11.

Quadro 11. Métodos de avaliação dos SSCs.

Cenário dos testes	Tipo da análise		
	Qualitativa	Análítica	Experimental
Sem protótipo	Análise de falhas	Análise de tolerâncias	-
Com protótipo virtual	Realidade virtual	Cálculos específicos	Simulações computacionais
Com protótipo não funcional	Clínicas (Focus group)	-	Análise experimental de tolerâncias
Com protótipo funcional	-	-	Planejamento de experimentos

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 364).

Por último, antes de agrupar as informações reunidas até esta etapa e formalizar a construção do documento intitulado “Projeto Detalhado”, Amaral (2006) sugere que os critérios dispostos no Quadro 12 sejam revisados.

Quadro 12. Critérios para avaliação do projeto detalhado.

Técnicos
Todos os SSCs foram especificados e aprovados?
Todas as interfaces dos SSCs foram avaliadas e aprovadas?
O protótipo foi aprovado e homologado com sucesso?
Os parâmetros críticos do produto e as especificações críticas foram avaliados criticamente e estão coerentes entre si e dentro do requerido?
A BOM reflete as necessidades dos demais processos?
Tecnologia
A tecnologia, que já estava madura e aprovada no final do projeto conceitual, continuou robusta durante o projeto detalhado e, principalmente, durante a atividade de testes e homologação?
Surgiram novas tecnologias ou ameaças que podem causar impacto no sucesso do produto?
Requisitos
Os requisitos dos clientes estão atualizados e suas mudanças foram consideradas durante o projeto detalhado?
Os requisitos de aceitação do produto estão formalizados para as próximas fases?
Documentos

Todos os documentos necessários foram criados e aprovados?
Todos os documentos foram classificados para possibilitar reuso posterior?
O sistema de gerenciamento de documentos está operante e aprovado?
Recursos
Todos os recursos foram projetados e aprovados?

Fonte: Adaptado de Amaral (2006, p. 385).

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através da aplicação da metodologia apresentada nas seções anteriores. Além da etapa de planejamento e dos projetos informacional, conceitual e detalhado, também é apresentado o processo de construção do software embarcado que compõem o produto, bem como seu manual de operação e a análise de desempenho do projeto.

4.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

A evolução das fases do planejamento do projeto ocorreu de acordo com a sequência disponibilizada por Amaral (2006) e apresentada previamente nesta pesquisa. Logo, a primeira tarefa executada foi a definição dos interessados no projeto, a qual deu origem ao Quadro 13.

Quadro 13. Interessados no projeto.

Importância	Parte interessada	Função	Poder	Interesse
Alta (25)	Augusto M. Garbrecht	Gerente de projeto	5 (Muito alto)	5 (Muito alto)
Alta (25)	Guilherme J. Beras	Equipe de projeto	5 (Muito alto)	5 (Muito alto)
Alta (20)	Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica da FAHOR	Cliente	5 (Muito alto)	4 (Alto)
Média (15)	FAHOR	Patrocinador	5 (Muito alto)	3 (Médio)
Média (12)	Acadêmicos da FAHOR	Cliente	4 (Alto)	3 (Médio)
Média (8)	Professores da FAHOR	Cliente	4	2

			(Alto)	(Baixo)
Baixa (1)	Fornecedores de componentes e serviços	Fornecedor	1 (Muito baixo)	1 (Muito baixo)

Fonte: O autor (2017).

Conforme pode ser visualizado no Quadro 13, foram identificadas três partes interessadas de importância alta (o autor desta pesquisa, o professor orientador e a coordenação do curso de Engenharia Mecânica da FAHOR), outras três partes interessadas de importância média (a FAHOR, como entidade patrocinadora, e os acadêmicos e professores da FAHOR) e uma parte com importância baixa, representada pelos fornecedores que o projeto virá a ter.

A importância indicada na primeira coluna do Quadro 13 foi obtida pela multiplicação dos valores presentes nas colunas “Poder” e “Interesse” de cada linha, obedecendo à seguinte divisão de valores para sua classificação:

- Importância baixa para valores entre 1 e 6;
- Importância média para valores entre 8 e 15;
- Importância alta para valores entre 16 e 25.

Após definidos os principais interessados no projeto se partiu para a elaboração do escopo do produto, o qual ficou definido segundo o Quadro 14.

Quadro 14. Escopo do produto.

Escopo do produto
Dispositivo eletrônico capaz de determinar o regime de escoamento da água no interior de tubulações de perfil circular com 20,0 mm de diâmetro interno, sendo este dotado de uma tela para informação do usuário, um sensor de fluxo para medição da vazão e uma placa Arduino para processamento dos dados. O produto ainda será compacto, leve e contará com um software embarcado com um código de programação de fácil modificação.

Fonte: O autor (2017).

As informações presentes no Quadro 14 já permitem ter uma ideia do que se espera do produto ao final desta pesquisa, que, neste caso, será representado pelo protótipo funcional a ser construído. Após definido, o escopo do produto se torna a

principal entrada para a elaboração do escopo do projeto, que, conforme disposto no Quadro 15, possui informações mais específicas sobre o que, de fato, será feito no decorrer do projeto.

Quadro 15. Escopo do projeto.

Título do projeto	Dispositivo para determinação do perfil de escoamento no interior de tubulações
Justificativa	O produto configura uma inovação tecnológica, uma vez que permitirá identificar o perfil de escoamento da água no interior das tubulações de forma simples e rápida, bem como uma inovação de aspecto educacional, ao contribuir para a compreensão de fenômenos ligados à mecânica dos fluidos.
Partes envolvidas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augusto M. Garbrecht e Guilherme J. Beras (Equipe de projeto); ▪ Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica da FAHOR (Cliente); ▪ FAHOR (Patrocinador); ▪ Acadêmicos e Professores da FAHOR (Cliente); ▪ Fornecedores de componentes e serviços.
Critérios de aceitação	Protótipo desenvolvido e capaz de executar as tarefas para as quais foi concebido.
Premissas	<ol style="list-style-type: none"> 1. A primeira versão do produto será concebida visando sua utilização em tubulações de diâmetro interno igual a 20,0 mm; 2. O orçamento para construção do protótipo será disponibilizado pela FAHOR; 3. Após construção, o protótipo ficará disponível para alunos e professores da FAHOR; 4. O protótipo será projetado, fabricado e programado pelo autor desta pesquisa.
Restrições	<ol style="list-style-type: none"> 1. O prazo para projeto e fabricação do protótipo é de 6 meses; 2. O orçamento disponibilizado pela FAHOR é de R\$ 600,00.
Exclusões do projeto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar fluido diferente de água; 2. Utilizar tubulações de perfil não circular.

Fonte: O autor (2017).

Além da justificativa e identificação dos clientes, tarefas estas já estabelecidas anteriormente, o escopo do projeto disposto no Quadro 15 traz informações importantes para o início do desenvolvimento do produto, como, por

exemplo, suas premissas e restrições, que podem ser definidas como o contexto no qual o produto será concebido. No caso específico deste projeto será considerado um orçamento máximo de R\$ 600,00 para sua execução, disponibilizado pela FAHOR (entidade patrocinadora), e sendo que este deverá ser concluído dentro de um prazo de seis meses. Outro ponto importante presente no escopo do projeto é a premissa de que a primeira versão do dispositivo deverá ser concebida para utilização em tubulações com 20,0 mm de diâmetro interno, bem como a premissa de que a fabricação e a montagem do protótipo serão de responsabilidade do autor do projeto.

Ainda presente no Quadro 15 estão as exclusões do projeto, importantes para se ter noção do que não será permitido, como, segundo identificado, utilizar o dispositivo em tubulações de diâmetro não circular ou que escoem fluidos diferentes de água, como óleos e gases.

Seguindo a recomendação feita por Amaral (2006), após sua elaboração em forma textual, o escopo do projeto foi detalhado e representado de forma gráfica, dando origem à EDT do projeto desta pesquisa, disposta na Figura 15.

Figura 15. Estrutura de decomposição do trabalho (EDT).



Fonte: O autor (2017).

De acordo com o disposto na Figura 15, para que o produto do projeto desta pesquisa, isto é, o dispositivo, possa ser concluído, será necessária a conclusão de 20 pacotes de trabalho, divididos entre as quatro principais entregas do projeto: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado.

A atividade de detalhar o escopo do projeto e, assim, elaborar a EDT se fez fundamental para a execução da tarefa subsequente, isto é, a determinação das atividades do projeto e elaboração do cronograma, disposto na Figura 16.

Figura 16. Cronograma do projeto.

Entregas	Atividades	Período					
		MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Planejamento do Projeto	Definir interessados no projeto	■					
	Definir escopo do produto	■					
	Definir e detalhar escopo do projeto	■					
	Realizar análise de riscos	■					
	Realizar orçamento do projeto	■					
	Definir indicadores de desempenho	■					
Projeto Informacional	Definir ciclo de vida do produto		■				
	Definir clientes		■				
	Identificar requisitos dos clientes		■				
	Realizar reunião com grupo de foco		■				
	Definir requisitos do produto		■				
Projeto Conceitual	Definir especificações do produto			■			
	Modelar funcionalmente o produto			■			
	Desenvolver princípios de solução			■			
	Pesquisar alternativas de solução			■			
	Construir matriz morfológica			■			
	Desenvolver concepções do produto			■			
	Definir arquitetura para as concepções			■			
	Selecionar concepção final			■			
Projeto Detalhado	Criar e detalhar SSCs				■		
	Modelar componentes				■		
	Modelar sub-sistemas				■		
	Especificar tolerâncias dos componentes				■		
	Simular montagem dos sub-sistemas				■		
	Modelar sistemas				■		
	Simular montagem dos sistemas				■		
	Especificar tolerâncias dos sub-sistemas				■		
	Simular montagem do produto				■		
	Detalhar desenhos dos componentes				■		
	Detalhar desenhos dos sub-sistemas				■		
	Detalhar desenhos dos sistemas				■		
	Detalhar desenhos do produto				■		
	Completar a estrutura do produto				■		
	Programar software				■		
	Encaminhar produção dos SSCs				■		
	Produzir SSCs				■		
	Fabricar protótipo				■		
	Testar protótipo				■		
	Elaborar manual de operação				■		
Revisar e finalizar documentos				■			

Fonte: O autor (2017).

Para elaboração do cronograma das atividades do projeto se fez uso de duas entradas principais: a restrição de prazo, que, segundo consta no escopo do projeto, é de seis meses, e a EDT, a partir da qual foi possível quantificar todo o esforço necessário à conclusão do projeto.

Dando sequência ao projeto, após concluído o cronograma, foram iniciados os estudos sobre os riscos aos quais o projeto estaria sujeito, os quais são apresentados no Quadro 16.

Quadro 16. Análise de riscos do projeto.

Severidade	Descrição do risco	Probabilidade	Impacto	Descrição do impacto	Ação	Descrição da ação
Alta (20)	Se o cronograma não for seguido o prazo de entrega do protótipo e dos documentos poderá não ser cumprido	4 (Alta)	5 (Muito alto)	A pesquisa ficará incompleta	Mitigar	Atualizar o cronograma semanalmente
Alta (16)	Se houver atraso na entrega de componentes a fabricação poderá atrasar	4 (Alta)	4 (Alto)	O cronograma poderá atrasar	Mitigar	Finalizar desenhos detalhados um mês antes da fabricação do protótipo e dar preferência para fornecedores do comércio local
Alta (16)	Se os componentes não atenderem às tolerâncias indicadas no desenho a montagem do protótipo poderá ser comprometida	4 (Alto)	4 (Alto)	Poderão ser necessárias atividades de retrabalho, causando atraso do cronograma e podendo afetar a estética do produto	Assumir	Verificar capacidade dos meios de fabricação dos fornecedores antes de iniciar o projeto detalhado
Média (12)	Se houver vazamento durante os testes do protótipo os componentes eletrônicos poderão ser danificados	3 (Média)	4 (Alto)	Componentes poderão ser inutilizados e será necessário comprar novos, aumentando os custos do projeto	Mitigar	Vedar todos os pontos que possam apresentar vazamento
Média (10)	Se o custo de fabricação do protótipo ultrapassar o valor disponível (R\$ 600,00) este não poderá ser construído	2 (Baixa)	5 (Muito alto)	Um dos objetivos da pesquisa não será alcançado e esta ficará incompleta	Mitigar	Fazer levantamento de preços com mais de um fornecedor
Média (8)	Se houver incompatibilidade entre componentes o funcionamento geral do sistema poderá ser comprometido	2 (Baixa)	4 (Alto)	Um dos objetivos da pesquisa não será alcançado e esta ficará incompleta	Mitigar	Pesquisar por componentes compatíveis
Média (8)	O produto poderá não funcionar de acordo com o desejado	2 (Baixa)	4 (Alto)	Um dos objetivos da pesquisa não será alcançado e esta ficará incompleta	Mitigar	Realizar testes ao longo do desenvolvimento do projeto detalhado
Baixa (3)	Se as tolerâncias dos componentes forem muito rígidas a fabricação poderá ter	1 (Muito baixa)	3 (Médio)	Elevará os custos de fabricação	Mitigar	Verificar capacidade dos meios de fabricação dos fornecedores

	custo elevado					antes de iniciar o projeto detalhado
Baixa (1)	Se o prazo de entrega da pesquisa for adiado haverá mais tempo para sua execução	1 (Muito baixa)	1 (Muito baixo)	Haverá mais tempo para a revisão dos documentos	Assumir	Confirmar o prazo de entrega ao início de cada entrega do projeto

Fonte: O autor (2017).

Conforme mostra o Quadro 16, foram identificados, ao todo, nove riscos aos quais o projeto poderá estar submetido, sendo que dentre estes, três possuem severidade alta, quatro têm severidade baixa, e dois são de severidade baixa. A classificação da severidade dos riscos é importante, pois ajuda a direcionar o foco dos estudos para àqueles riscos que terão impacto mais crítico sobre o projeto. O valor referente à severidade é obtido pela multiplicação dos valores presentes nas colunas “Probabilidade” e “Impacto” do risco, e sua classificação é feita da mesma forma que a utilizada para a classificação da importância das partes interessadas no projeto, apresentada na pág. 66 desta pesquisa.

Além de identificar os diversos riscos aos quais o projeto estará exposto, esta etapa é fundamental para determinar o plano de ação, no caso de um destes riscos, de fato, se concretizar. Os termos utilizados na coluna “Ação” tem o seguinte significado:

- **Mitigar:** tomar ações para diminuir a possibilidade de ocorrência;
- **Assumir:** aceitar as consequências do risco, caso este venha a acontecer.

Uma vez concluída a análise dos riscos se deu início à pesquisa por fornecedores, com a finalidade elaborar o orçamento do projeto, o qual pode ser visualizado no Quadro 17.

Quadro 17. Orçamento do projeto.

Componente	Quantidade	Valor unitário	Total
Adesivos e elementos gráficos	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Caixa plástica impermeável	2	R\$ 32,90	R\$ 65,80
Case para placa Arduino UNO	1	R\$ 21,90	R\$ 21,90
Display LCD 20x4 I2C Backlight Azul	1	R\$ 59,90	R\$ 59,90
Elementos de fixação	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Elementos de vedação	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Fonte de alimentação (9,0 V e 1,0 A) com Plug P4	1	R\$ 19,90	R\$ 19,90
Kit de jumpers rígidos	1	R\$ 24,90	R\$ 24,90
Serviços de corte laser	1	R\$ 35,00	R\$ 35,00
Placa Arduino Uno R3 + Cabo USB	1	R\$ 49,90	R\$ 49,90

Placa de fenolite perfurada	2	R\$ 3,90	R\$ 7,80
Protoboard com 400 pontos	1	R\$ 14,90	R\$ 14,90
Sensor de fluxo de água YF-S201	1	R\$ 34,90	R\$ 34,90
Tubos e conexões em PVC	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Total			R\$ 434,90

Fonte: O autor (2017).

O orçamento foi elaborado tendo como objetivo a fabricação do protótipo funcional, e os valores presentes no Quadro 17 são oriundos da pesquisa com diversos fornecedores e uma análise preliminar dos componentes que virão a ser necessários para sua execução. Como pode ser visualizado, o orçamento total para a fabricação do protótipo (R\$ 434,90) possui custo inferior ao valor disponibilizado pela entidade patrocinadora (R\$ 600,00), no entanto, devido à incerteza característica da fase de planejamento do projeto, esta margem se faz necessária, dimensionada como forma de mitigar o risco de severidade média ligado aos custos do projeto, apresentado previamente no Quadro 16.

O último pacote de trabalho, necessário para a entrega do planejamento do projeto é a elaboração de seus indicadores de desempenho e seus critérios de aceitação, os quais são dispostos no Quadro 18.

Quadro 18. Indicadores de desempenho do projeto.

Indicador	Método de medição	Critérios de aceitação
Cumprimento do orçamento	Acompanhamento mensal dos gastos	<ol style="list-style-type: none"> Soma final dos gastos deve ser inferior a R\$ 600,00; Gastos mensais não devem exceder 30% do valor disponível, isto é, R\$ 180,00.
Funcionamento do protótipo	Testes práticos (Funciona / Não funciona)	<ol style="list-style-type: none"> Testar o protótipo 10 vezes; Obter classificação "Funciona" em, no mínimo, 8 testes (80%); Não obter classificação "Não funciona" em mais do que 2 testes consecutivos.
Precisão de leitura da vazão	Comparação da leitura do protótipo com uma vazão conhecida	<ol style="list-style-type: none"> Realizar 10 comparações com diferentes valores de vazão conhecida; Precisão média da leitura do protótipo deve ser de $\pm 15\%$ a vazão conhecida; Precisão de uma leitura individual não deve exceder $\pm 25\%$ a vazão conhecida.

Fonte: O autor (2017).

De acordo com o Quadro 18, são três os indicadores que serão utilizados para a avaliação de desempenho do projeto, a qual será apresentada ao final desta

pesquisa. Uma vez definidos os indicadores de desempenho, a fase de planejamento do projeto foi concluída e a fase do projeto informacional pôde ser iniciada. Deve-se ressaltar que é conveniente armazenar as informações levantadas nesta seção, para eventuais consultas durante o desenvolvimento das demais fases do projeto.

4.2 PROJETO INFORMACIONAL

Seguindo com o desenvolvimento da metodologia adaptada de Amaral (2006), a segunda entrega desta pesquisa é o projeto informacional do produto, o qual, de acordo com a EDT apresentada na Figura 15, pág. 65, é composto por quatro pacotes de trabalho: a determinação do ciclo de vida do produto e seus clientes, a investigação dos requisitos dos clientes, a definição dos requisitos do projeto e sua transformação em especificações do produto.

A primeira etapa do projeto informacional foi definir o ciclo de vida do produto, seguida pela definição dos clientes em cada etapa deste ciclo. Ambas as informações estão dispostas no Quadro 19.

Quadro 19. Ciclo de vida e clientes do projeto.

Etapa do ciclo de vida	Clientes		
	Externos	Intermediários	Internos
Planejamento	-	-	Equipe de projeto
Projeto	-	-	Equipe de projeto
Fabricação dos SSCs	Fornecedores	FAHOR	Gerente do projeto
Montagem do protótipo	-	-	Gerente do projeto
Teste do protótipo	Grupo de foco	-	Equipe de projeto
Utilização	Alunos, Professores e Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica	FAHOR	-
Apoio Técnico / Manutenção	-	-	Gerente do projeto
Reciclagem / Descarte	-	FAHOR	Gerente do projeto

Fonte: O autor (2017).

As informações presentes no Quadro 19 mostram que são cinco os principais clientes do projeto: o autor desta pesquisa (gerente do projeto), o professor orientador desta pesquisa (compõe, junto com o autor desta pesquisa, a

equipe de projeto), os fornecedores, a entidade patrocinadora, e os clientes que farão uso direto do produto (alunos, professores e coordenação do curso de Engenharia Mecânica da FAHOR).

O termo “grupo de foco” presente no Quadro 19 faz menção a um grupo formado por representantes dos alunos, professores e a coordenação do curso de Engenharia Mecânica da FAHOR, os quais foram reunidos, junto com a equipe de projeto, para se identificar os requisitos que estes tinham para o produto. Após esta reunião, os requisitos foram agrupados por semelhança e separados de acordo com a etapa do ciclo de vida a que se relacionavam, o que pode ser visto no Quadro 20.

Quadro 20. Requisitos dos clientes do produto.

Ciclo de vida	#	Requisitos dos clientes
Planejamento	1	Documentar todas as etapas do projeto
Projeto	2	Ter projeto simplificado
	3	Ter custo reduzido
	4	Utilizar componentes padronizados
Fabricação dos SSCs	5	Utilizar recursos disponíveis na FAHOR e/ou mercado local
	6	Componentes comprados devem ser de fácil aquisição
Montagem do protótipo	7	Ter montagem simplificada
	8	Ser desmontável
Utilização	9	Ser de fácil operação
	10	Ser compacto
	11	Ser leve
	12	Ser confiável
	13	Ser de fácil interpretação
	14	Ser seguro
	15	Conter a identificação do Curso e da Faculdade
	16	Possuir manual de operação
Apoio Técnico / Manutenção	17	Ter manutenção reduzida
	18	Ser de fácil manutenção
	19	Ter manutenção de baixo custo
	20	Ser de fácil programação
Reciclagem / Descarte	21	Utilizar componentes reutilizáveis
	22	Ter vida útil adequada

Fonte: O autor (2017).

linha foi somada a quantidade de vezes que o requisito aparecia no diagrama e contabilizado um somatório com base nos pesos respectivos a cada letra atribuída.

A hierarquização dos requisitos ocorreu através de um cálculo percentual entre o resultado presente na coluna “Soma” de cada requisito com o somatório do peso de todos os requisitos. Por último, este valor foi normalizado, atribuindo-se o valor 10 para o requisito com o maior percentual e o valor 0 (zero) para o requisito com menor valor. Para os requisitos que ficaram neste intervalo, a importância normalizada (coluna “VC Normalizado”) foi obtida por uma regra de correspondência entre valores. Ao final da aplicação do Diagrama de Mudge se construiu o Quadro 21, que apresenta os requisitos do cliente em ordem decrescente de importância.

Quadro 21. Hierarquia dos requisitos dos clientes do produto.

#	Requisito	Importância	VC
1	Ser seguro	105	10
2	Ser de fácil interpretação	80	8
3	Ser de fácil operação	76	7
4	Ter custo reduzido	60	6
5	Ser confiável	56	5
6	Ser de fácil manutenção	55	5
7	Ter manutenção de baixo custo	50	5
8	Ter manutenção reduzida	44	4
9	Utilizar recursos disponíveis na FAHOR e/ou mercado local	31	3
10	Possuir manual de operação	28	3
11	Utilizar componentes reutilizáveis	27	3
12	Ter projeto simplificado	26	2
13	Componentes comprados devem ser de fácil aquisição	17	2
14	Ser de fácil programação	17	2
15	Ter vida útil adequada	16	2
16	Utilizar componentes padronizados	13	1
17	Ser compacto	12	1
18	Ser leve	11	1
19	Ter montagem simplificada	6	1
20	Ser desmontável	2	0
21	Documentar todas as etapas do projeto	1	0
22	Conter a identificação do Curso e da Faculdade	0	0

Fonte: O autor (2017).

Se observados os requisitos presentes no Quadro 21, alguns destes são passíveis de dupla interpretação ou, ainda, não permitem uma correta análise do que realmente se espera do produto. Para resolver este problema, foram elaborados os requisitos do projeto, disponíveis no Quadro 22.

Quadro 22. Requisitos do projeto.

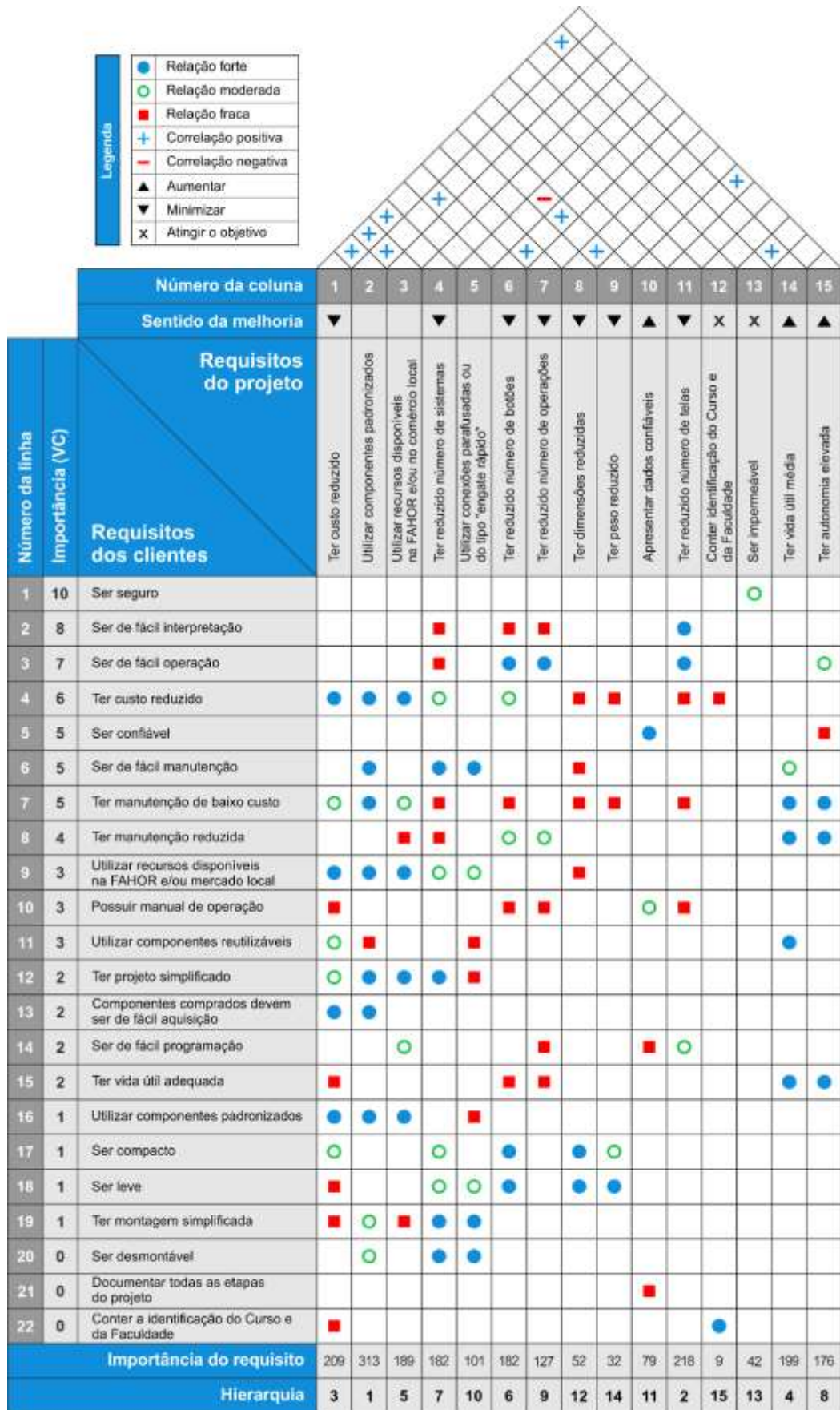
#	Requisitos de projeto
1	Ter custo reduzido
2	Utilizar componentes padronizados
3	Utilizar recursos disponíveis na FAHOR e/ou no comércio local
4	Ter reduzido número de sistemas
5	Utilizar conexões parafusadas ou do tipo "engate rápido"
6	Ter reduzido número de botões
7	Ter reduzido número de operações
8	Ter dimensões reduzidas
9	Ter peso reduzido
10	Apresentar dados confiáveis
11	Ter reduzido número de telas
12	Conter identificação do Curso e da Faculdade
13	Ser impermeável
14	Ter vida útil média
15	Ter autonomia elevada

Fonte: O autor (2017).

Assim como os requisitos dos clientes, os requisitos do projeto também devem ser hierarquizados e, em adição, devem possuir valores-meta, isto é, um valor que limite a variação destes requisitos para, assim, garantir a qualidade do produto final e a satisfação dos clientes. Conforme já mencionado, a ferramenta utilizada para hierarquização dos requisitos do projeto é intitulada QFD (*Quality Function Deployment*), e, após sua utilização, foram obtidas as especificações do

produto. O QFD realizado para o produto desta pesquisa pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18. QFD para hierarquização dos requisitos do projeto.



Fonte: O autor (2017).

O resultado do QFD é a hierarquização dos requisitos do projeto, que pode ser visualizada na última linha da Figura 18. Após hierarquização, fez-se necessário atribuir valores-meta para estes requisitos, transformando-os, assim, nas especificações do produto. É comum separar as especificações em três grupos, os chamados “terços”, de modo a configurar uma divisão visual que permite priorizar os requisitos de maior importância. O terço superior é apresentado no Quadro 23.

Quadro 23. Terço superior das especificações do produto.

#	Requisito	Meta	Forma de avaliação	Aspectos indesejados
1	Utilizar componentes padronizados	70%	Análise de projeto	Componentes com processo de fabricação especial
2	Ter reduzido número de telas	1	Análise de projeto	Não atender ao requisito
3	Ter custo reduzido	≤ R\$ 400,00	Soma dos custos	Custo de fabricação elevado
4	Ter vida útil média	≥ 2 anos	Monitoramento	Vida útil reduzida
5	Utilizar recursos disponíveis na FAHOR e/ou no comércio local	Atender requisito	Análise de projeto	Ser necessário o uso de máquinas e/ou ferramentas especiais

Fonte: O autor (2017).

As especificações presentes no Quadro 23 podem ser consideradas as de maior importância para o sucesso do produto, pois, através da aplicação do QFD, são as que apresentam relação mais forte com as expectativas dos clientes. O Quadro 24 apresenta o terço médio das especificações.

Quadro 24. Terço médio das especificações do produto.

#	Requisito	Meta	Forma de avaliação	Aspectos indesejados
6	Ter reduzido número de botões	≤ 2	Análise de projeto	Dificuldade para operar o produto
7	Ter reduzido número de sistemas	≤ 8	Análise de projeto	Dificuldade para montar e/ou projetar o produto
8	Ter autonomia elevada	≥ 3 horas	Análise de projeto	Exigir troca de bateria de forma frequente
9	Ter reduzido número de operações	≤ 3	Análise de projeto	Dificuldade para operar o produto
10	Utilizar conexões parafusadas ou do tipo "engate rápido"	≥ 75%	Análise de projeto	Dificuldade para desmontar o produto e/ou elevar o peso do produto

Fonte: O autor (2017).

O último dos terços é apresentado no Quadro 25. É necessário destacar que as informações presentes no quadro não devem ser ignoradas durante as próximas fases do projeto, pois, embora não tenham uma relação tão forte com os requisitos do cliente, estas especificações também impactarão no sucesso do projeto.

Quadro 25. Terço inferior das especificações do produto.

#	Requisito	Meta	Forma de avaliação	Aspectos indesejados
11	Apresentar dados confiáveis	Precisão $\geq 80\%$	Análise de projeto	Produto possuir leitura não precisa
12	Ter dimensões reduzidas	$< 300 \times 200 \times 200$ mm	Análise de projeto	Produto grande e difícil de manipular
13	Ser impermeável	100%	Monitoramento	Vazamentos
14	Ter peso reduzido	$\leq 2,0$ kg	Análise de projeto	Produto pesado e difícil de manipular
15	Conter identificação do Curso e da Faculdade	Atender requisito	Análise de projeto	Produto sem identificação

Fonte: O autor (2017).

A definição das especificações do produto marcou o final da fase do projeto informacional. Depois de feita a revisão de todas as informações levantadas até esta etapa foi dado início à próxima fase do processo de desenvolvimento de produtos: o projeto conceitual.

4.3 PROJETO CONCEITUAL

A próxima etapa desta pesquisa, de acordo com a EDT, é o projeto conceitual, composto por quatro pacotes de trabalho: modelamento funcional do produto, matriz morfológica contendo os princípios de solução para as funções do produto, alternativas de solução, e a seleção da concepção final. As atividades de analisar os SSCs, a ergonomia e a estética do produto e definir sua arquitetura, apresentadas na metodologia desta pesquisa, foram utilizadas durante o desenvolvimento das demais atividades, e, por esse motivo, não configuram um pacote de trabalho específico.

A primeira tarefa executada no projeto conceitual foi definir a estrutura de funções do produto, isto é, realizar seu modelamento funcional, que foi iniciado pela determinação da função global do produto, disposta na Figura 19.

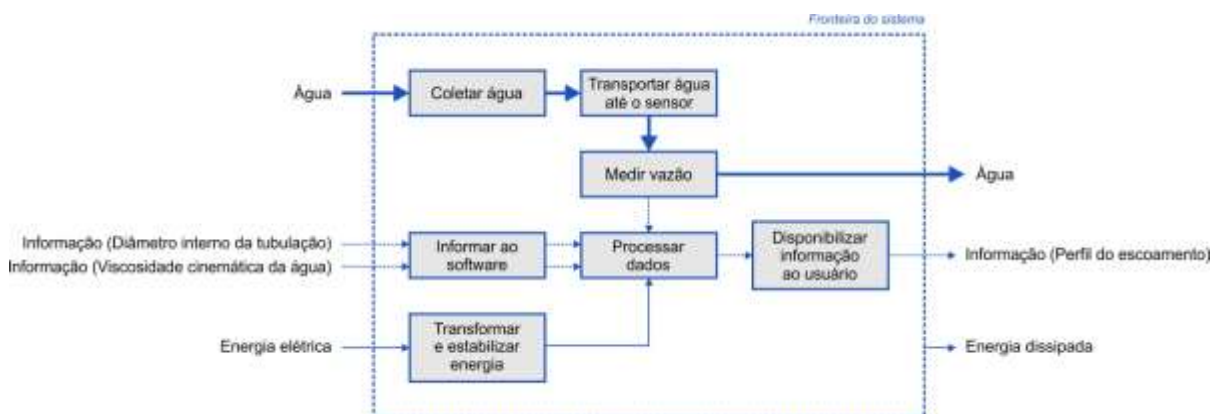
Figura 19. Função global do produto.



Fonte: O autor (2017).

Conforme mostra a Figura 19, a função global do produto é determinar o perfil do escoamento, sendo as principais entradas: um fluxo de energia (elétrica), um fluxo de material (água) e dois fluxos de informação (diâmetro interno da tubulação e viscosidade cinemática da água), e as principais saídas: um fluxo de energia (energia dissipada geral, na forma de vibrações, ruídos, calor e outros), um fluxo de material (água) e um fluxo de informação (perfil do escoamento). Após sua definição, a função global foi desdobrada numa série de funções de menor complexidade, segundo mostra a Figura 20.

Figura 20. Estrutura de funções do produto.



Fonte: O autor (2017).

A estrutura de funções mostrada na Figura 20 representa o modelamento funcional do produto, que, uma vez definida, torna-se a principal fonte de informações para a pesquisa por princípios de solução para suas funções e, conseqüentemente, construção da matriz morfológica destes princípios, disponibilizada na Figura 21.

Figura 21. Matriz morfológica dos princípios de solução para as funções do produto.

Funções	Princípios de solução		
	1	2	3
Coletar água	 <i>Luva roscável</i>	 <i>Luva soldável</i>	 <i>Tubo flexível</i>
Transportar água até o sensor	 <i>Luva roscável</i>	 <i>Luva soldável</i>	 <i>Tubo flexível</i>
Medir vazão	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>
Informar ao software	 <i>Botões</i>	 <i>Fixar via programação</i>	 <i>Teclado matricial</i>
Processar dados	 <i>Placa Arduino MEGA</i>	 <i>Placa Arduino NANO</i>	 <i>Placa Arduino UNO</i>
Disponibilizar informação ao usuário	 <i>Display LCD</i>	 <i>Display LED 7 segmentos x 4 dígitos</i>	 <i>Display OLED</i>
Transformar e estabilizar energia	 <i>Bateria recarregável</i>	 <i>Fonte de alimentação</i>	 <i>Porta USB conectada ao notebook</i>

Fonte: O autor (2017).

A matriz presente na Figura 21 foi construída através da busca, para cada uma das funções indicadas na Figura 20, por princípios de solução, isto é, componentes ou recursos que possam executar a função em análise. As imagens presentes na matriz foram retiradas de catálogos disponibilizados por fornecedores.

Uma vez levantados os possíveis princípios de solução para cada função se fez necessário combiná-los, no maior número de maneiras possíveis, a fim de se obter as concepções do produto. Devido às características de cada princípio, algumas combinações não foram possíveis, ou, ainda, uma análise preliminar da concepção permitiu eliminá-la dentre as que teriam possibilidade de se tornar a concepção final. A Figura 22 apresenta as cinco concepções consideradas mais adequadas para seguirem à etapa de comparação e escolha da concepção final.

Figura 22. Alternativas de concepção para o produto.

Funções	Concepções				
	1	2	3	4	5
Coletar água	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>
Transportar água até o sensor	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>	 <i>Luva roscaável</i>
Medir vazão	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>	 <i>Sensor de Fluxo de Água YF-S201</i>
Informar ao software	 <i>Botões</i>	 <i>Fixar via programação</i>	 <i>Fixar via programação</i>	 <i>Teclado matricial</i>	 <i>Teclado matricial</i>
Processar dados	 <i>Placa Arduino MEGA</i>	 <i>Placa Arduino UNO</i>	 <i>Placa Arduino NANO</i>	 <i>Placa Arduino MEGA</i>	 <i>Placa Arduino UNO</i>
Disponibilizar informação ao usuário	 <i>Display OLED</i>	 <i>Display LCD</i>	 <i>Display LED 7 segment. x 4 dig.</i>	 <i>Display LCD</i>	 <i>Display LCD</i>
Transformar e estabilizar energia	 <i>Bateria recarregável</i>	 <i>Fonte de alimentação</i>	 <i>Bateria recarregável</i>	 <i>Fonte de alimentação</i>	 <i>Fonte de alimentação</i>

Fonte: O autor (2017).

Uma vez definidas as concepções com maior possibilidade de se tornar a versão final do produto, se deu início à última etapa do projeto conceitual, que é a decisão, dentre estas concepções, pela que, de fato, será transformada no produto entregue aos clientes. Conforme sugerido por Amaral (2006), foi utilizada uma matriz para auxiliar no processo de tomada desta decisão, a qual pode ser visualizada na Figura 23.

Figura 23. Matriz de decisão para escolha da concepção final do produto.

#	Requisito	Importância	Concepções									
			1	2	3	4	5					
1	Utilizar componentes padronizados	313	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Ter reduzido número de telas	218	+1	218	+1	218	-1	-218	+1	218	+1	218
3	Ter custo reduzido	209	-1	-209	0	0	0	0	-1	-209	0	0
4	Ter vida útil média	199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Utilizar recursos disponíveis na FAHOR e/ou no comércio local	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Ter reduzido número de botões	182	-1	-182	+1	182	+1	182	-1	-182	-1	-182
7	Ter reduzido número de sistemas	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Ter autonomia elevada	176	-1	-176	+1	176	-1	-176	+1	176	+1	176
9	Ter reduzido número de operações	127	-1	-127	+1	127	+1	127	-1	-127	-1	-127
10	Utilizar conexões parafusadas ou do tipo "engate rápido"	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Apresentar dados confiáveis	79	-1	-79	+1	79	-1	-79	+1	79	+1	79
12	Ter dimensões reduzidas	52	-1	-52	0	0	+1	52	-1	-52	0	0
13	Ser impermeável	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Ter peso reduzido	32	-1	-32	0	0	+1	32	-1	-32	0	0
15	Conter identificação do Curso e da Faculdade	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso da concepção			-639	782	-80	-129	164					

Fonte: O autor (2017).

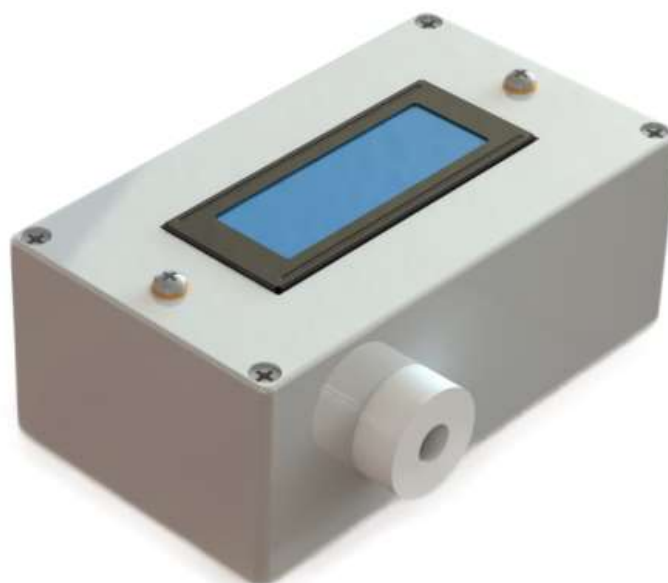
Para construção da matriz presente na Figura 23, todas as concepções foram comparadas com os requisitos de projeto, determinados durante a fase do projeto informacional, e, a cada comparação, se buscou determinar o impacto da concepção em destaque sobre os requisitos. Para mensurar este impacto foram atribuídos valores numéricos da seguinte forma:

- Valor "+1" para concepções com impacto positivo sobre o requisito;
- Valor "0" quando este impacto era neutro;
- Valor "-1" para concepções com influências negativas sobre o requisito.

A linha inferior da matriz mostrada na Figura 23 indica o peso de cada concepção após o processo de análise de seus impactos sobre os requisitos e, como pode ser visualizado, a segunda concepção foi a que apresentou o maior peso, sendo, por isso, a concepção mais adequada para ser convertida na versão final do produto.

Antes de seguir à fase do projeto detalhado é comum que se faça uma representação do aspecto final que se espera do produto, seja em forma de esboço a mão, croqui, desenho detalhado ou modelamento 3D. Para este projeto se optou por utilizar o último recurso citado, o qual pode ser visualizado na Figura 24.

Figura 24. Modelamento 3D da concepção final do produto.



Fonte: O autor (2017).

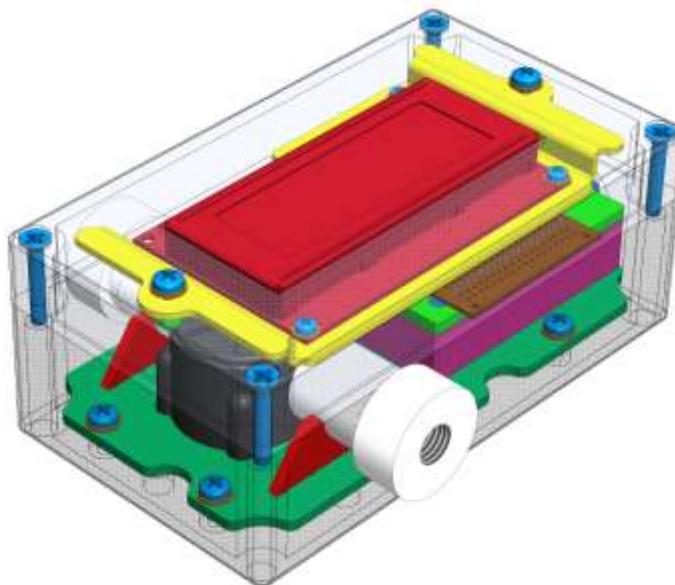
Conforme já mencionado, este desenho inicial, necessariamente, não precisa ser idêntico à versão final, até mesmo pelo fato de que todos os SSCs serão desenvolvidos e analisados na próxima etapa do processo de desenvolvimento do produto. A Figura 24 tem como principal objetivo orientar a equipe de projeto quanto às expectativas em relação à forma, arquitetura e estética do produto.

4.4 PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado é a última entrega desta pesquisa, sendo composta por cinco pacotes de trabalho: desenhos detalhados dos SSCs, programação do software embarcado, fabricação do protótipo funcional, análise do desempenho do projeto e elaboração do manual de operação do produto.

A partir das informações levantadas até esta fase do processo de planejamento do produto, principalmente, as decisões tomadas ao final da etapa do projeto conceitual, onde se optou pela concepção final do produto, parte-se para a análise e desenvolvimentos dos SSCs que compõem o produto, os quais podem ser visualizados no *APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DO DISPOSITIVO*. A Figura 25 apresenta um desenho do dispositivo depois de finalizado o processo de desenvolvimento e validação dos SSCs.

Figura 25. Detalhe dos componentes internos no produto final.



Fonte: O autor (2017).

Na Figura 25, foi aplicada transparência ao corpo do dispositivo, de modo a possibilitar a visualização dos componentes em seu interior. Após a finalização dos desenhos detalhados se fez o preenchimento da estrutura do produto, a qual se encontra no Quadro 26.

Quadro 26. Estrutura do produto (*BOM – Bill Of Materials*).

Nível	Código	Descrição	Quantidade	Especificação
1 (Produto)	TFC C.J 07	DISPOSITIVO	1	-
4 (Componente)	TFC C 17	Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4	1	-
4 (Componente)	-	Parafuso Máquina M4x25	4	Fenda Philips / Cabeça chata Norma DIN 13 (ISO 965)
2 (Sistema)	TFC C.J 03	C.J. CORPO INFERIOR	1	-
4 (Componente)	TFC C 01	Corpo Inferior	1	-
4 (Componente)	TFC C 07	Luva	2	-
4 (Componente)	TFC C 11	Sensor de Fluxo de Água YF-S201	1	-
4 (Componente)	-	Arruela Lisa M4	4	Norma ANSI B 18.22.1 - N
4 (Componente)	-	Parafuso Máquina M4x8	4	Fenda Philips / Cabeça panela Norma DIN 13 (ISO 965)
3 (Sub-sistema)	TFC C.J 02	C.J. BASE	1	-
4 (Componente)	TFC C 03	Base	1	-
4 (Componente)	TFC C 08	Case Arduino Inferior	1	-
4 (Componente)	TFC C 09	Case Arduino Superior	1	-
4 (Componente)	TFC C 10	Arduino UNO R3	1	-
4 (Componente)	-	Arruela Lisa M4	2	Norma ANSI B 18.22.1 - N
4 (Componente)	-	Parafuso M2x5 com Flange	3	Fenda Philips / Cabeça panela Norma DIN 13 (ISO 965)
4 (Componente)	-	Parafuso Máquina M4x8	2	Fenda Philips / Cabeça panela Norma DIN 13 (ISO 965)

Nível	Código	Descrição	Quantidade	Especificação
3 (Sub-sistema)	TFC CJ 01	CJ. SUPORTE DA LUVA	2	-
4 (Componente)	TFC C 04	Suporte da Luva	2	-
4 (Componente)	TFC C 05	Reforço	2	-
3 (Sub-sistema)	TFC CJ 04	CJ. CIRCUITO ELETRÔNICO	1	-
4 (Componente)	TFC C 13	Placa Fenolite Perfurada 5x7 cm	1	-
4 (Componente)	TFC C 14	Barra de Pinos 2x15 180°	1	-
4 (Componente)	TFC C 15	Barra de Pinos 2x18 180°	1	-
4 (Componente)	TFC C 16	Barra de Pinos 2x4 180°	2	-
2 (Sistema)	TFC CJ 06	CJ CORPO SUPERIOR	1	-
4 (Componente)	TFC C 02	Corpo Superior	1	-
4 (Componente)	-	Arruela Lisa M4	4	Norma ANSI B 18.22.1 - N
4 (Componente)	-	Parafuso Máquina M4x12	2	Fenda Philips / Cabeça panela Norma DIN 13 (ISO 965)
4 (Componente)	-	Porca Sextavada Auto Travante M4	2	Norma DIN 13 (ISO 965)
3 (Sub-sistema)	TFC CJ 05	CJ. MONTAGEM DO DISPLAY	1	-
4 (Componente)	TFC C 06	Suporte do Display	1	-
4 (Componente)	TFC C 12	Display LCD 20x4 I2C	1	-
4 (Componente)	-	Arruela Lisa M3	3	Norma ANSI B 18.22.1 - N
4 (Componente)	-	Parafuso Máquina M3x6	3	Fenda Philips / Cabeça panela Norma DIN 13 (ISO 965)

Fonte: O autor (2017).

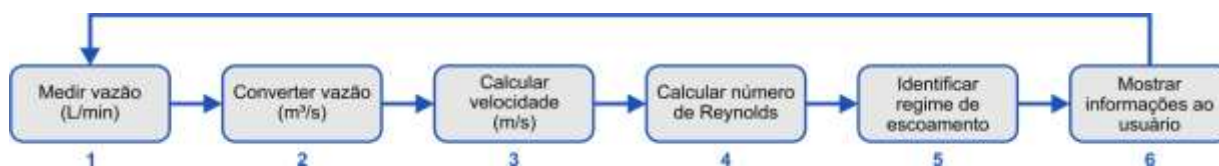
A estrutura do produto é um recurso que permite ter conhecimento de todos os componentes que o formam, bem como da visualização das relações entre estes. Após preenchimento de sua estrutura, a fabricação do produto pôde ser iniciada.

Para melhor compreensão, os demais pacotes de trabalho desta pesquisa serão divididos em três seções: o desenvolvimento sistema eletrônico, onde será apresentado o código segundo o qual o dispositivo foi programado e o circuito eletrônico que este utiliza, a descrição do funcionamento do produto junto com a elaboração de seu manual, e, por último, a análise de desempenho do projeto, onde se fará a apresentação do protótipo fabricado, bem como a análise e descrição dos testes realizados.

4.4.1 Sistema eletrônico

O código elaborado para o software utilizado no produto desta pesquisa se encontra no *APÊNDICE B – CÓDIGO DO SOFTWARE EMBARCADO*, e tem seu funcionamento dividido em seis etapas principais, as quais são realizadas segundo o ciclo mostrado na Figura 26.

Figura 26. Ciclo executado pelo software embarcado.



Fonte: O autor (2017).

A vazão do escoamento é medida pelo sensor de fluxo de água YF-S201, o qual faz uso de um sensor de efeito Hall para realizar tal medição. Demais especificações deste componente podem ser observadas no *ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201*.

A análise de sua ficha técnica permite concluir que, a cada 1,0 L/min de vazão, o sensor de efeito Hall captura, aproximadamente, oito pulsos, com uma tolerância de 10%. A medição da vazão, em L/min, e sua conversão para o sistema internacional de unidades (m³/s) ocorrem, respectivamente, nas linhas 35 e 36 do código, conforme pode ser visualizado no *APÊNDICE B*.

O cálculo da velocidade do escoamento é executado segundo a Equação (7), obtida pela combinação das Equações (5) e (6), disponíveis, respectivamente, nas páginas 18 e 19 desta pesquisa.

$$v_1 = \frac{Q_2}{A_1} \quad (7)$$

Sendo:

v_1 – Velocidade do escoamento na tubulação (m/s);

Q_2 – Vazão medida pelo sensor (m³/s);

A_1 – Seção transversal no interior da tubulação (m²).

O cálculo da velocidade do escoamento, executado na linha 37 do código, faz uso da área interior do tubo (em m²), calculada na linha 29, bem como da vazão (em m³/s), calculada na linha 36.

Para realização da quarta etapa do ciclo, isto é, calcular o número de Reynolds, foi utilizada a Equação (2), disposta na página 15 desta pesquisa, a qual, no código, é executada na linha 38 e faz uso, além da velocidade do escoamento,

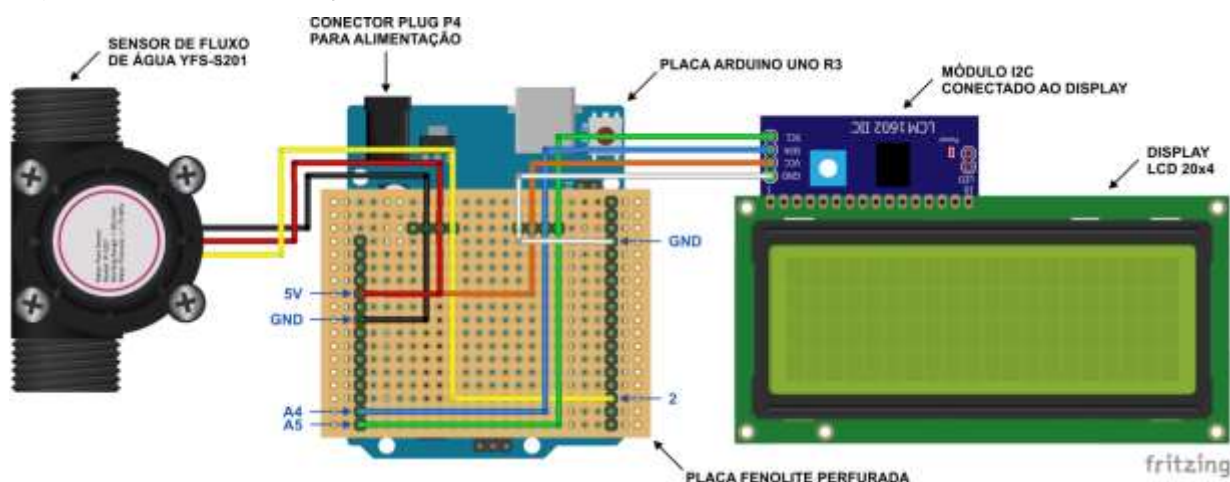
da viscosidade cinemática da água e do diâmetro interno da tubulação, valores estes que são inseridos no código nas linhas 14 e 15, respectivamente.

Conforme indicado nas premissas do escopo do projeto, o dispositivo foi projetado para trabalhar com tubulações de diâmetro interno igual a 20,00 mm. A viscosidade cinemática da água foi considerada como tendo o valor de $1,01 \cdot 10^{-3}$, obtida ao se considerar a temperatura ambiente como 20° C na tabela disponibilizada por Fox (2006, p. 719), a qual pode ser encontrada no *ANEXO B – PROPRIEDADES DA ÁGUA (UNIDADES SI)*.

A caracterização do perfil do escoamento foi realizada com base em seu número de Reynolds, seguindo os valores limites mostrados na página 17 desta pesquisa. Após a identificação do regime, que, no código, ocorre entre as linhas 53 e 64, o software informa o usuário através do display LCD, conforme mostrado entre as linhas 41 e 51.

Uma vez programado o software embarcado se partiu para a construção do circuito eletrônico, sendo a conexão entre os componentes dada de acordo com a Figura 27.

Figura 27. Representação esquemática do circuito eletrônico.



Fonte: O autor (2017).

Conforme mostra a Figura 27, o circuito eletrônico presente no dispositivo é constituído por quatro componentes principais: uma placa Arduino Uno, um sensor de fluxo de água YF-S201, um display LCD 20x4 com módulo i2c integrado, e uma placa de fenolite, sobre a qual foi montado o circuito eletrônico responsável pela integração de todos os componentes.

4.4.2 Funcionamento do produto

As informações levantadas até a fase do projeto conceitual permitem afirmar que o produto desta pesquisa deveria ser de simples fabricação e operação, afirmação esta que também se faz verdadeira e necessária para seu protótipo, o qual é exposto na Figura 28.

Figura 28. Protótipo funcional do produto.



Fonte: O autor (2017).

Com o objetivo de facilitar a utilização do produto, este foi concebido de forma que fossem necessárias apenas duas operações para colocá-lo em funcionamento: conectar a tubulação no dispositivo e conectá-lo à fonte de alimentação. No *APÊNDICE C – MANUAL DE OPERAÇÃO DO PRODUTO*, estão disponíveis informações mais detalhadas sobre seu funcionamento e operação.

Assim que as operações mencionadas acima forem realizadas, o sistema eletrônico do produto realiza todas as demais etapas de forma autônoma, segundo o ciclo descrito na Figura 26 (pág. 85), cabendo ao usuário apenas monitorar os dados, que lhe são informados através de uma tela única. A Figura 29 mostra a tela do protótipo em quatro condições diferentes de regime de escoamento.

Figura 29. Detalhes da tela do protótipo.



Fonte: O autor (2017).

4.4.3 Análise do desempenho do projeto

Para analisar o desempenho do projeto foram utilizados os indicadores de desempenho presentes no Quadro 18 (pág. 69), contudo, primeiro se se fez necessário verificar se o produto atendia aos requisitos de seus clientes, análise esta que foi realizada pela comparação das especificações do protótipo com as especificações-meta do produto, a qual pode ser verificada no Quadro 27.

Quadro 27. Análise de atendimento das especificações do produto.

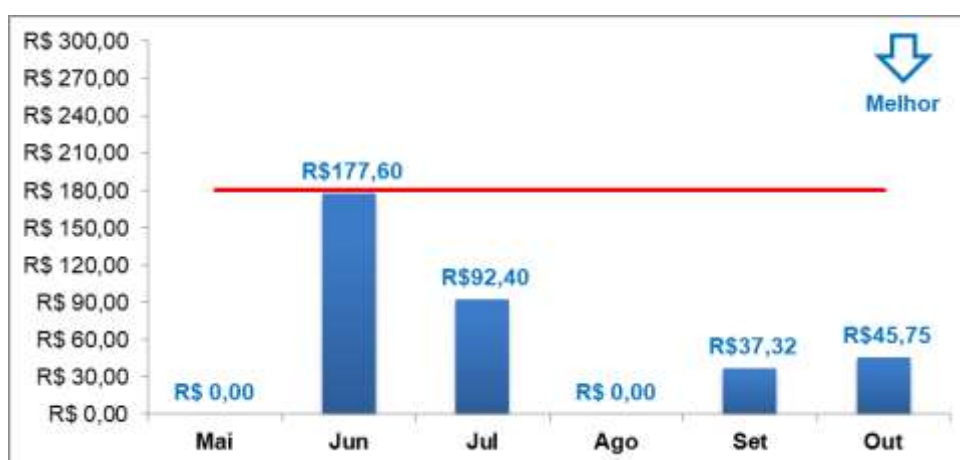
#	Requisito	Meta	Verificado no protótipo
1	Utilizar componentes padronizados	70%	76%
2	Ter reduzido número de telas	1	1
3	Ter custo reduzido	≤ R\$ 400,00	R\$ 353,07
4	Ter vida útil média	≥ 2 anos	Não mensurado*
5	Utilizar recursos disponíveis na FAHOR e/ou no comércio local	Atender requisito	Requisito atendido
6	Ter reduzido número de botões	≤ 2	0
7	Ter reduzido número de sistemas	≤ 8	6 (2 Sistemas e 4 Subsistemas)
8	Ter autonomia elevada	≥ 3 horas	Requisito atendido
9	Ter reduzido número de operações	≤ 3	3
10	Utilizar conexões parafusadas ou do tipo "engate rápido"	≥ 75%	85%
11	Apresentar dados confiáveis	Precisão ≥ 80%	90% (Média)
12	Ter dimensões reduzidas	< 300 x 200 x 200 mm	115 x 157 x 64 mm (aprox.)
13	Ser impermeável	100%	Requisito atendido
14	Ter peso reduzido	≤ 2,0 kg	0,5 kg
15	Conter identificação do Curso e da Faculdade	Atender requisito	Requisito atendido

Fonte: O autor (2017).

Conforme evidenciado pelo Quadro 27, com exceção da vida útil do produto, a qual não pôde ser mensurada devido às limitações de tempo desta pesquisa, todos os demais requisitos do projeto foram cumpridos, podendo se concluir, assim, que o dispositivo projetado está de acordo com as expectativas de seus clientes.

O primeiro indicador estabelecido para determinar o desempenho do projeto está relacionado com o cumprimento do orçamento, o qual apresentou comportamento segundo a Figura 30.

Figura 30. Indicador de desempenho: cumprimento do orçamento.

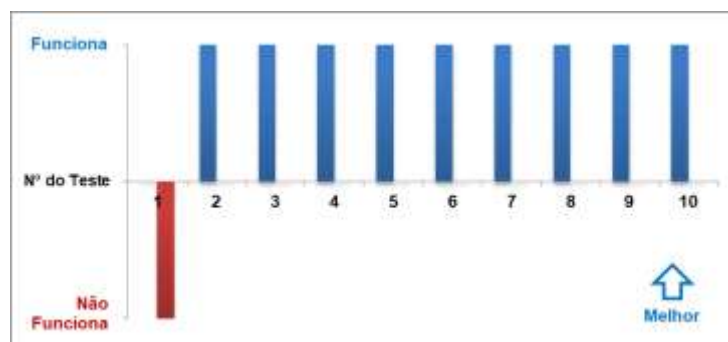


Fonte: O autor (2017).

Os valores presentes na Figura 30 permitem concluir que o projeto teve sucesso quanto ao cumprimento de seu orçamento, visto que ambos os critérios de aceitação foram cumpridos: a soma de todos os gastos (R\$ 353,07) ficou abaixo de R\$ 600,00, e em nenhum mês os gastos excederam 30% do valor disponível.

Para verificação do segundo indicador, que busca avaliar o funcionamento do protótipo, foram realizados 10 testes consecutivos, nos quais se avaliou se o protótipo funcionava de acordo com o esperado. O resultado dos testes aparece na Figura 31.

Figura 31. Indicador de desempenho: funcionamento do protótipo.



Fonte: O autor (2017).

Os dados presentes na Figura 31 comprovam que o protótipo funcionou de acordo com o esperado em 90% dos testes. O fato de o primeiro teste ter recebido classificação “não funciona” decorre do fato de que, neste teste, o cabo de alimentação do produto havia sido fixado de forma errada e, uma vez percebido este erro operacional, o produto não apresentou outras falhas de funcionamento. As observações feitas durante estes testes permitem afirmar que, com a correta instalação do dispositivo, assegurada pelo manual de operação, o produto não apresentará falhas durante sua utilização.

Para possibilitar a verificação do último indicador de desempenho, que analisa a precisão da leitura da vazão feita pelo dispositivo, este foi testado nas condições em que será usado, através da instalação mostrada na Figura 32.

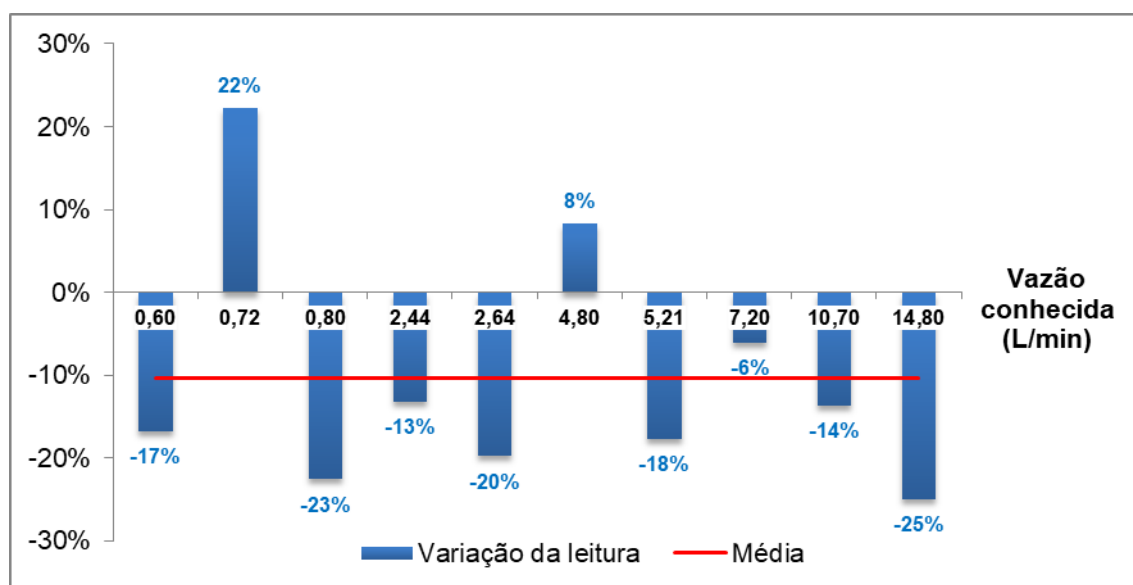
Figura 32. Instalação utilizada nos testes de precisão de leitura da vazão.



Fonte: O autor (2017).

Como pode ser observado na Figura 32, o dispositivo foi conectado a uma tubulação de diâmetro interno igual a 20,0 mm de comprimento, pela qual escoava um fluxo de água com vazão conhecida. Uma vez realizadas as conexões estas foram vedadas e o dispositivo foi ligado, de modo que foi possível comparar o valor da vazão conhecida com a leitura apresentada pelo protótipo, o que pode ser verificado na Figura 33.

Figura 33. Indicador de desempenho: precisão de leitura da vazão.



Fonte: O autor (2017).

A determinação da vazão do escoamento foi realizada através da coleta do volume de água que passava pelo dispositivo em determinado intervalo de tempo. A determinação deste volume foi realizada com o auxílio de um recipiente graduado destinado à medição de volumes.

Os critérios de aceitação para o indicador mostrado na Figura 33 exigiam que a variação média das leituras fosse inferior a 15% o valor da vazão conhecida e, ainda, leituras individuais deveriam ter variações inferiores a 25% a vazão conhecida. Os dados mostrados na Figura 33 permitem aprovar este indicador do projeto, uma vez que a variação média das leituras foi de -10% o valor da vazão média, permitindo afirmar que o protótipo possui uma precisão de 90%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da adaptação da metodologia apresentada por Amaral (2006) em seu livro “Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo” foi desenvolvido o projeto de um dispositivo capaz de determinar, de maneira simples, o perfil do escoamento da água no interior de tubulações de diâmetro circular, tornando esta pesquisa uma importante inovação tecnológica.

O projeto do dispositivo partiu de uma necessidade identificada no mercado e foi composto por quatro entregas principais: o planejamento do projeto, o projeto informacional, o projeto conceitual e o projeto detalhado, sendo que, em cada uma destas fases, foram explicadas suas particularidades, atividades constituintes e a conexão de cada atividade com o processo de desenvolvimento de produtos (PDP), disponibilizando esta pesquisa como uma referência sobre o assunto em meio à comunidade acadêmica.

Ao final da pesquisa foi construído um protótipo funcional do produto, o qual pode ser aplicado a escoamentos com vazões entre 1,0 L/min e 30,0 L/min sob uma pressão máxima de 2,0 MPa. Além do protótipo também foi elaborado seu manual de operação, os quais, diante dos testes realizados e amparados pela análise de desempenho realizada ao final do projeto detalhado, permitem concluir que todos os objetivos propostos foram atingidos, estando, assim, solucionado o problema de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- BARCAUI, A. B. et al. **Gerenciamento do tempo em projetos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- BAXTER, M. **Projeto de produto**: guia prático para o design de novos produtos. 3.ed. Trad. de Itiro Iida. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2011.
- BORGES, F. M.; RODRIGUES, C. L. P. **Pontos passíveis de melhoria no método de projeto de produto de Pahl e Beitz**. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 271-281, mar. 2010
- BRUNETI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2.ed. São Paulo: Pearson, 2008.
- EXNER, H. et al. **Hidráulica básica**: princípios básicos e componentes da tecnologia dos fluidos. Atibaia: Bosch Rexroth AG, 2013.
- FEGHALI, J. P. **Mecânica dos fluidos**: para estudantes de engenharia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1974, v.2.
- FOX, R. B.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6.ed. Trad. De Ricardo Nicolau Nassar Koury, Geraldo Augusto Campolina França. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- MAGRAB, E. B. **Integrated product and process design and development** - The product realization process. Boca Raton: CRC Press, 1997.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design**: a systematic approach. 2.ed. London: Springer-Verlag, 1996.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. 5.ed. Pensilvânia, 2013.
- SALLES JÚNIOR, C. A. C. et al. **Gerenciamento de riscos em projetos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- TELLES, P. C. S. **Tubulações industriais**: materiais, projeto, montagem. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- WHITE, F. M. **Mecânica dos fluidos**. 6.ed. Trad. de Mario Moro Fecchio, Nelson Manzanares Filho. Porto Alegre: AMGH, 2011.

APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DO DISPOSITIVO

Nas próximas 25 páginas encontram-se os desenhos detalhados de todos os SSCs que compõem o produto, seguindo a ordem mostrada no Quadro 28.

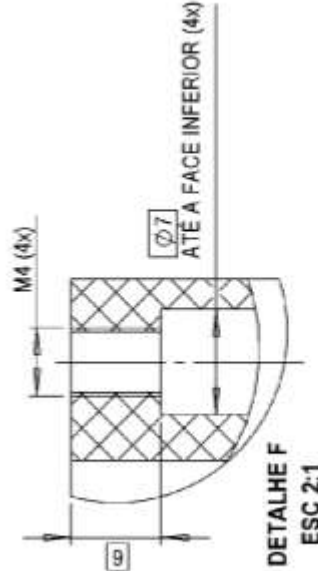
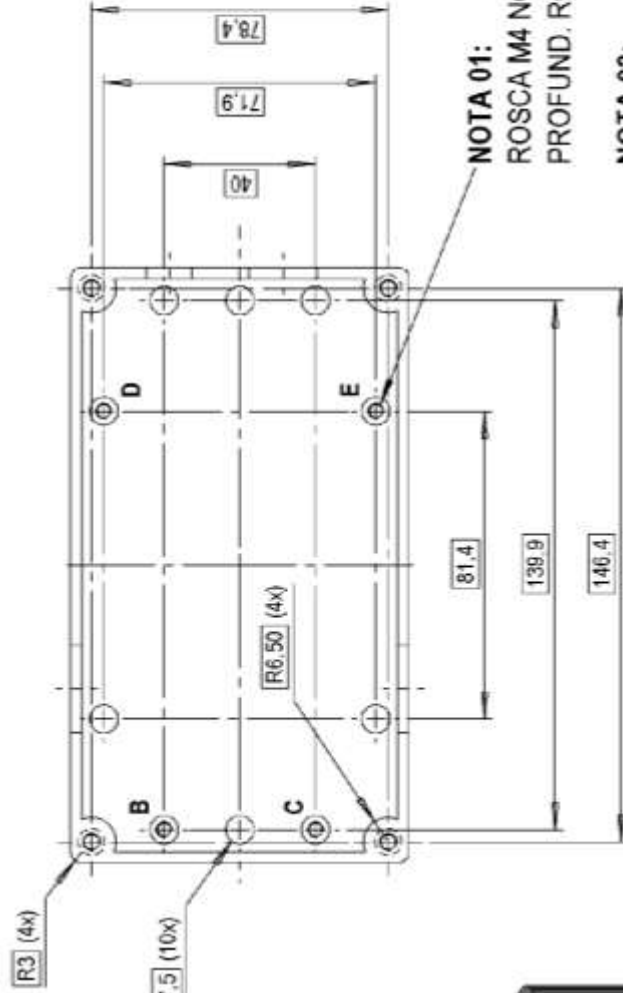
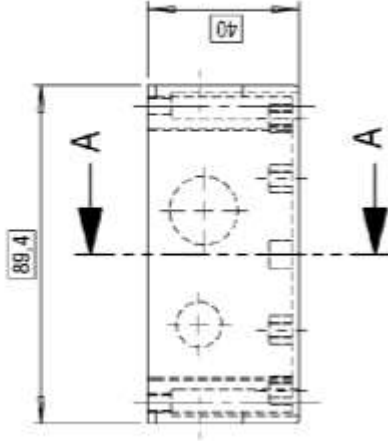
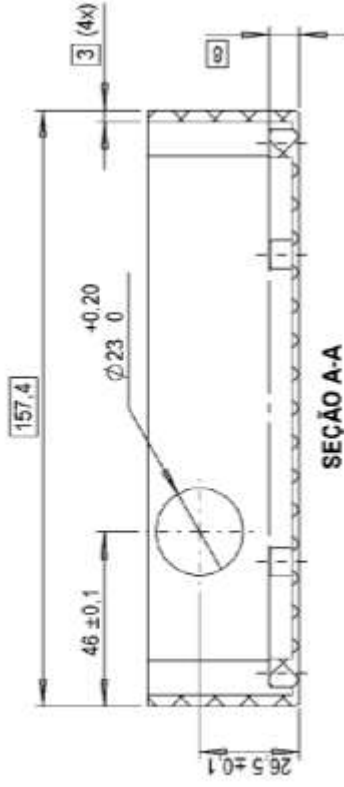
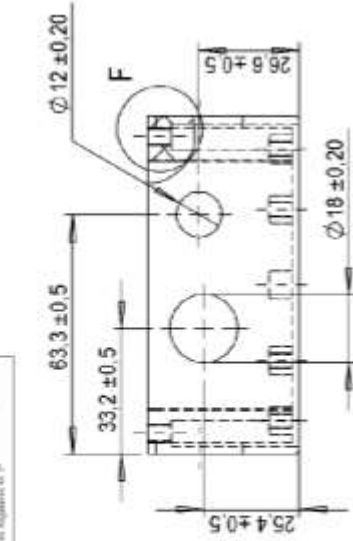
Quadro 28. Lista de desenhos detalhados do produto.

#	Código	Descrição	Quantidade	Nível na BOM
1	TFC C 01	CORPO INFERIOR	1	4 (Componente)
2	TFC C 02	CORPO SUPERIOR	1	4 (Componente)
3	TFC C 03	BASE	1	4 (Componente)
4	TFC C 04	SUPORTE DA LUVA	2	4 (Componente)
5	TFC C 05	REFORÇO	2	4 (Componente)
6	TFC C 06	SUPORTE DO DISPLAY	1	4 (Componente)
7	TFC C 07	LUVA	2	4 (Componente)
8	TFC C 08	CASE ARDUINO INFERIOR	1	4 (Componente)
9	TFC C 09	CASE ARDUINO SUPERIOR	1	4 (Componente)
10	TFC C 10	ARDUINO UNO R3	1	4 (Componente)
11	TFC C 11	SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201	1	4 (Componente)
12	TFC C 12	DISPLAY LCD 20x4 I2C	1	4 (Componente)
13	TFC C 13	PLACA FENOLITE PERFURADA 5x7 cm	1	4 (Componente)
14	TFC C 14	BARRA DE PINOS 2x15 180°	1	4 (Componente)
15	TFC C 15	BARRA DE PINOS 2x18 180°	1	4 (Componente)
16	TFC C 16	BARRA DE PINOS 2x4 180°	2	4 (Componente)
17	TFC C 17	FONTE DC CHAVEADA 9V 1A PLUG P4	1	4 (Componente)
18	TFC CJ 01	CJ. SUPORTE DA LUVA	2	3 (Subsistema)
19	TFC CJ 02	CJ. BASE	1	3 (Subsistema)
20	TFC CJ 03	CJ. CORPO INFERIOR	1	2 (Sistema)
21	TFC CJ 04	CJ. CIRCUITO ELETRÔNICO	1	3 (Subsistema)
22	TFC CJ 05	CJ. MONTAGEM DO DISPLAY	1	3 (Subsistema)
23	TFC CJ 06	CJ. CORPO SUPERIOR	1	2 (Sistema)
24	TFC CJ 07	DISPOSITIVO	1	1 (Produto)
25	TFC CJ 07	DISPOSITIVO (VISTAS COMPLEMENTARES)	1	1 (Produto)

Fonte: O autor (2017).

TO: REVISÕES NÃO ESPECIFICADAS	
01	01/01/17
02	01/01/17
03	01/01/17
04	01/01/17
05	01/01/17
06	01/01/17
07	01/01/17
08	01/01/17
09	01/01/17
10	01/01/17

Dimensiones Angulares em °



NOTA 01:
ROSCA M4 NOS RESSALTOS B - C - D - E
PROFUND. ROSCA: 6.0 mm

NOTA 02:
ARREDONDAR ARESTAS EXTERNAS (R1,5)



VISTA ISOMÉTRICA



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht

Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht

Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título: Título complementar
CORPO INFERIOR

Escala
1:2

Material
CAIXA DE PLÁSTICO ABS

1º DIEDRO

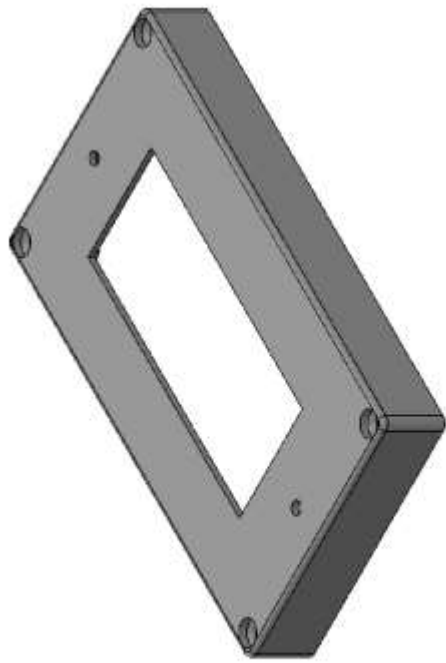
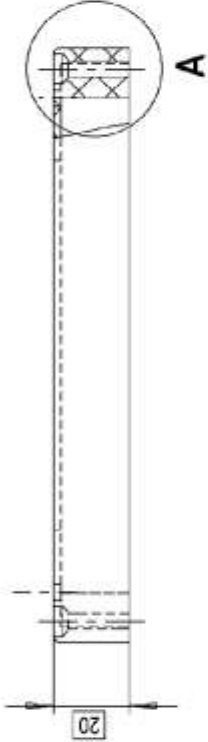
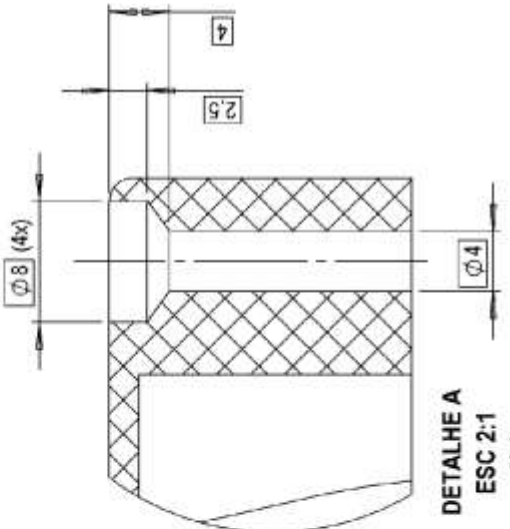
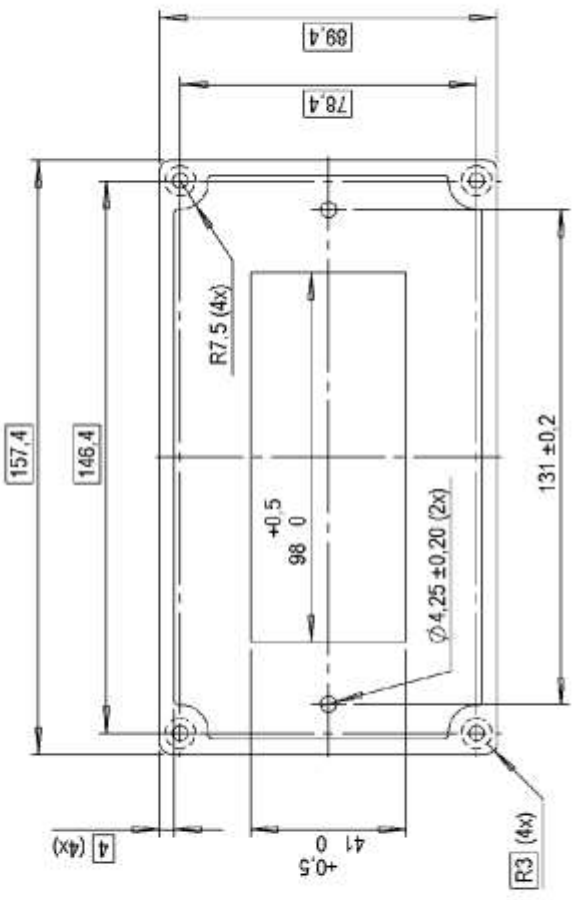
Código
TFC C 01

Versão
01

Data
15/09/2017



Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Áreas de solda	±0,15
Áreas de solda	±0,15
Áreas de solda	±0,15
Áreas de solda	±0,15



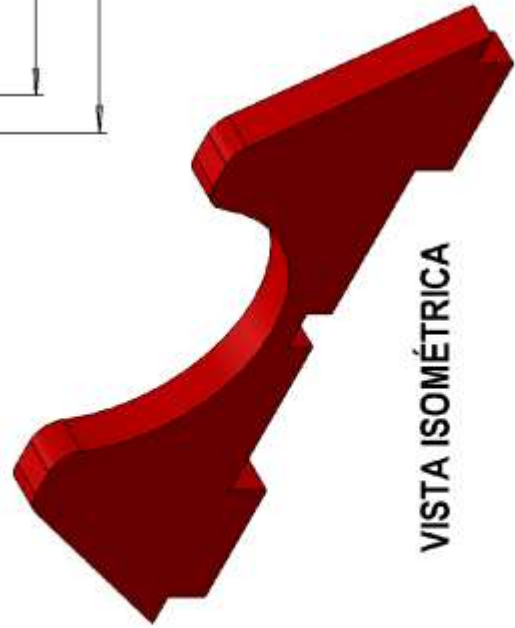
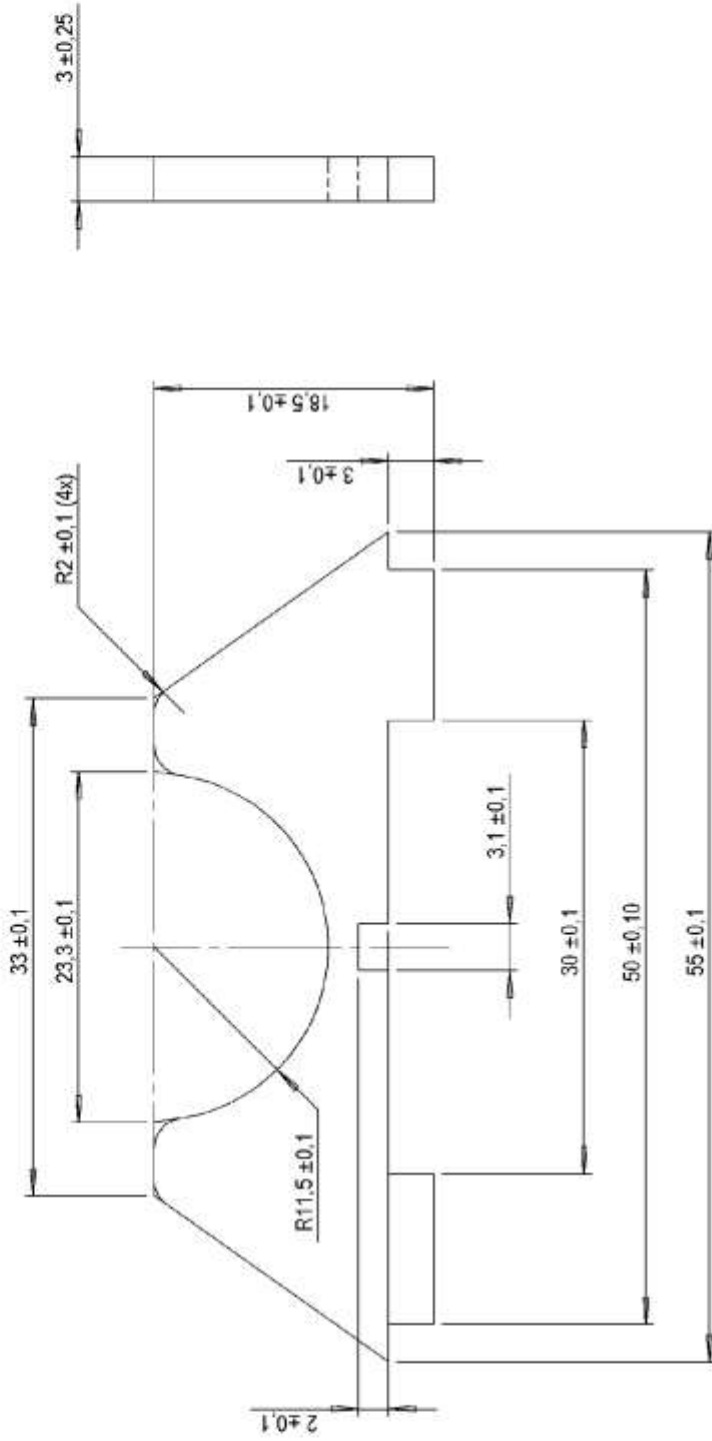
VISTA ISOMÉTRICA

NOTA:
ARREDONDAR ARESTAS EXTERNAS (R1,5)

		Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	Título complementar CORPO SUPERIOR	1º DIEDRO	
		Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht		Código TFC C 02	
Aprovado por Guilherme Jost Beras	Escala 1:2	Material CAIXA DE PLÁSTICO ABS	Versão 01	Data 16/09/2017	Folha 01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Áreas de superfície	±0,15
Formas de borda	±0,15
Formas de furos	±0,15
Formas de ranhuras	±0,15

Desenhado por: J. J. J. J.



VISTA ISOMÉTRICA



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
SUPORTE DA LUIVA
Escala
2:1
Material
CHAPA DE ACRILICO 3,0 mm

1º DIEDRO



Código
TFC C 04

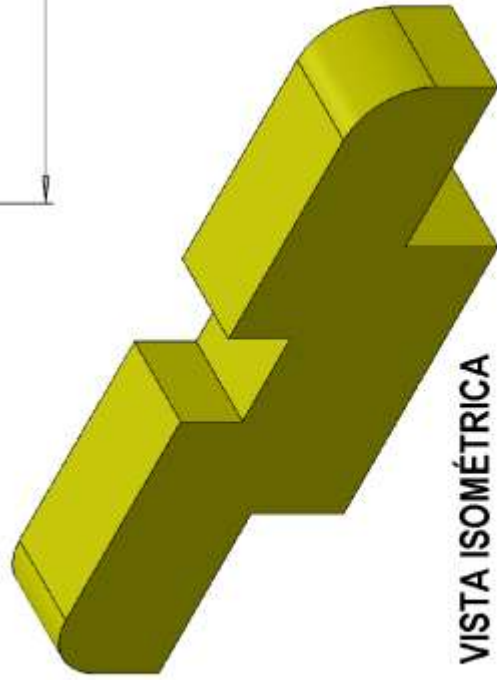
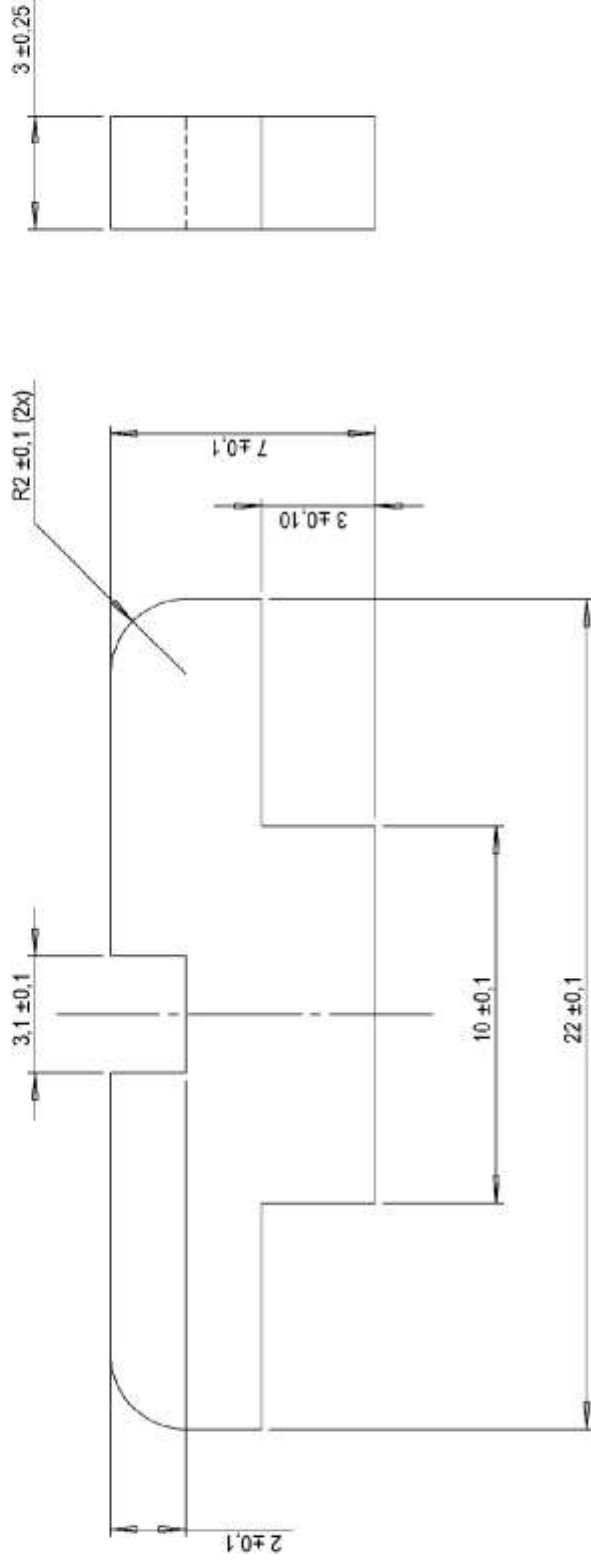
Versão
01

Data
16/09/2017

Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS			
Dimensões	até 30 mm	até 30 mm	até 30 mm
Acabamento	15/50	15/50	15/50
Acabamento	15/50	15/50	15/50

Desenhado por: Augusto Marcel Garbrecht



VISTA ISOMÉTRICA



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht

Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht

Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
REFORÇO

Material
CHAPA DE ACRILICO 3,0 mm

Escala
5:1

1º DIEDRO



Código
TFC C 05

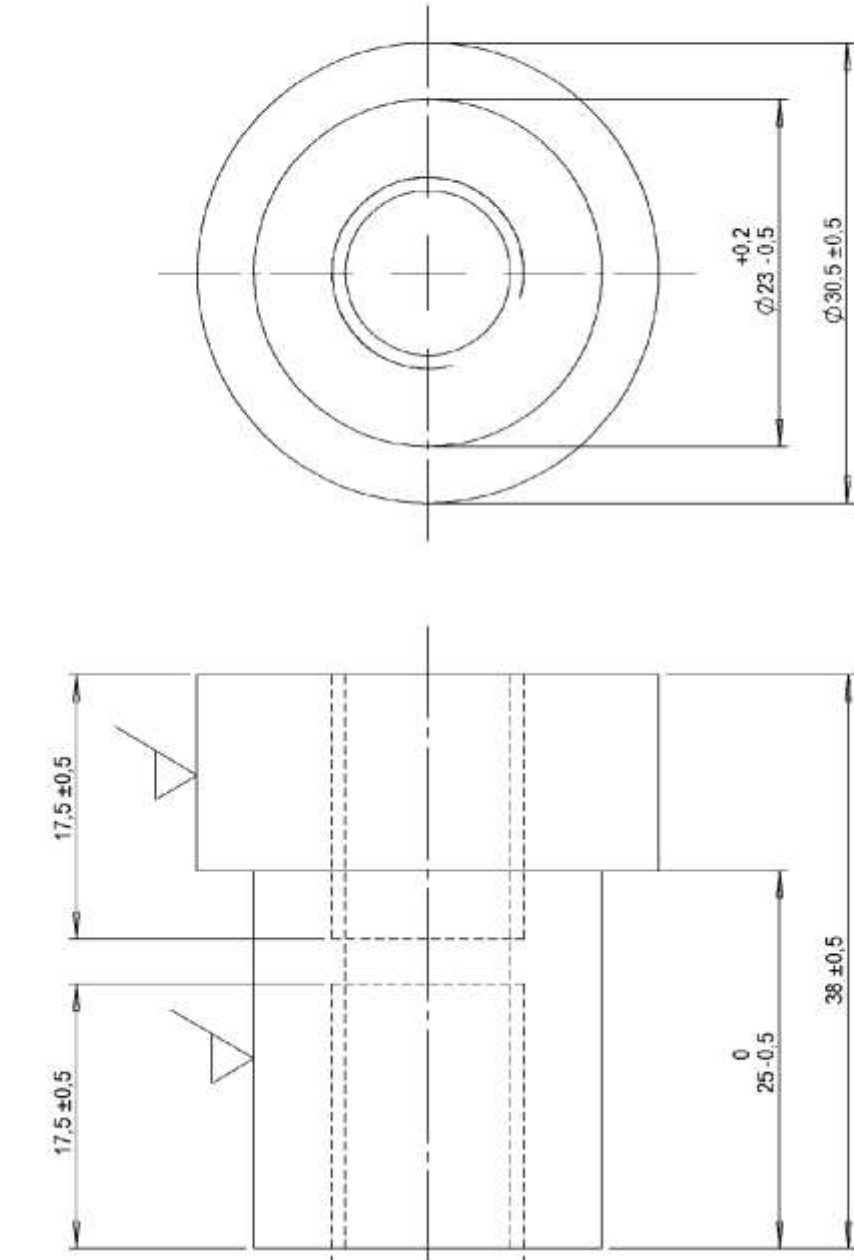
Versão
01

Data
16/09/2017

Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Diâmetro	±0,15
Comprimento	±0,5
Ângulos	±0,5
Formas	±0,15
Outros	±0,15

ROSCA 1/2" - 13 FIOS/POL. (2X)



VISTA ISOMÉTRICA
ESC 1:1



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
LUVA

Material
LUVA DE PVC 1/2"

Escala
2-1

Versão
01

Data
16/09/2017

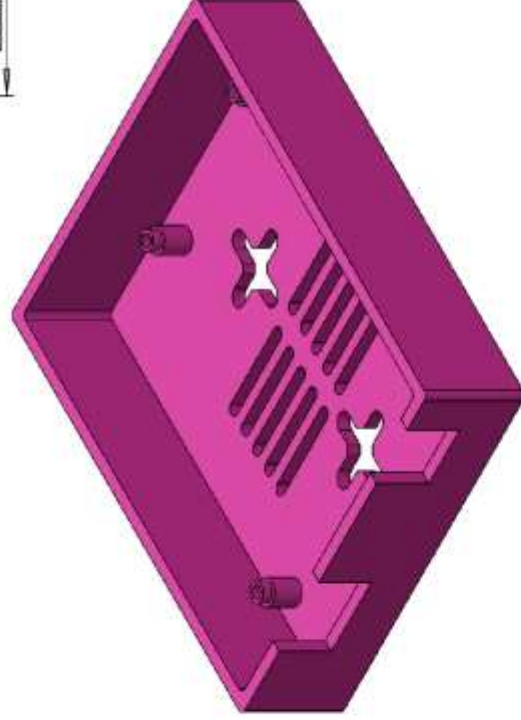
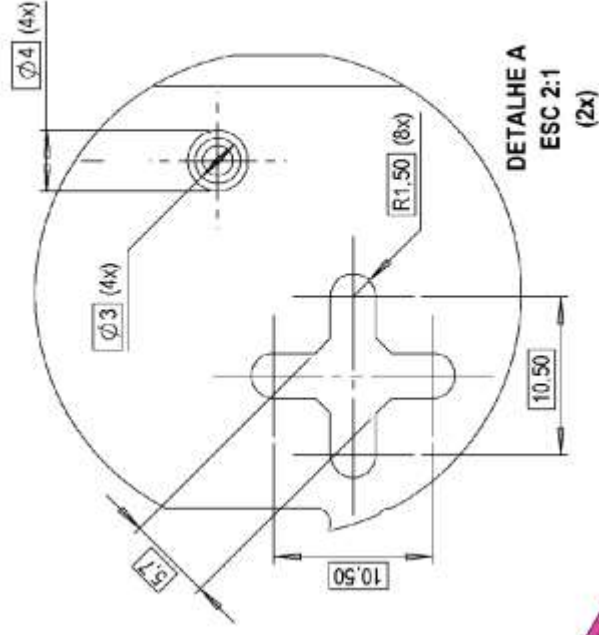
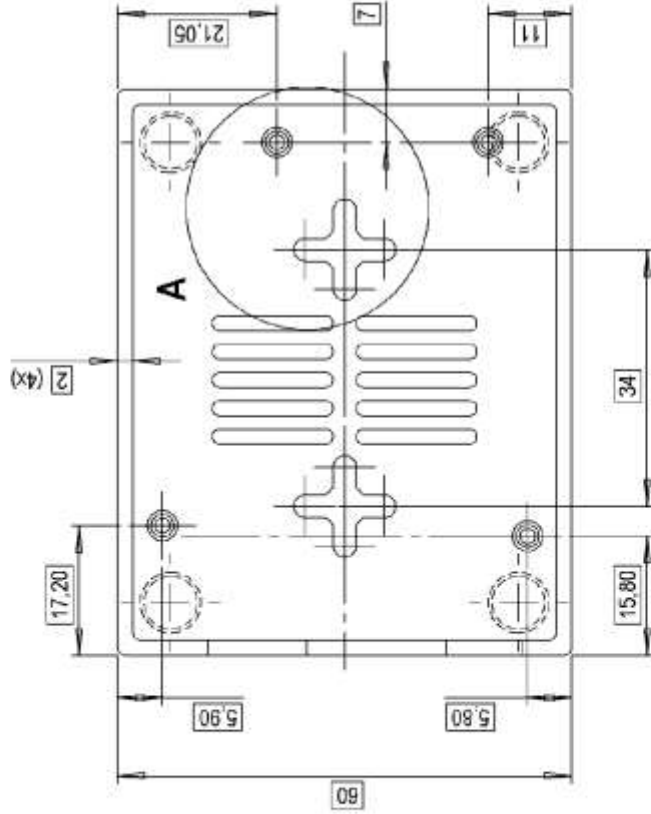
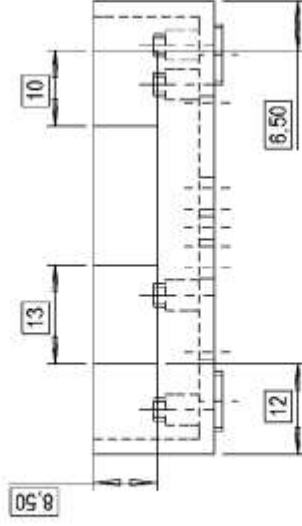
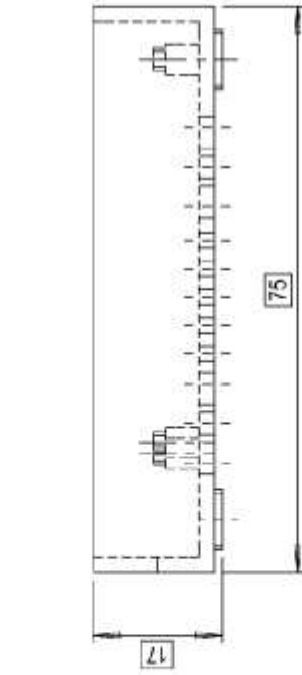
Folha
01/01

1º DIEDRO



Código
TFC C 07

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Ángulos	±0,15
Perfurações	±0,15
Perfurações de 10 a 20	±0,15
Perfurações de 20 a 30	±0,15
Perfurações de 30 a 40	±0,15
Perfurações de 40 a 50	±0,15
Perfurações de 50 a 60	±0,15
Perfurações de 60 a 70	±0,15
Perfurações de 70 a 80	±0,15
Perfurações de 80 a 90	±0,15
Perfurações de 90 a 100	±0,15



VISTA ISOMÉTRICA

**COMPONENTE
COMPRADO**

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título complementar
CASE ARDUINO INFERIOR
Escala
1:1
Material
PLASTICO ABS

1º DIEDRO

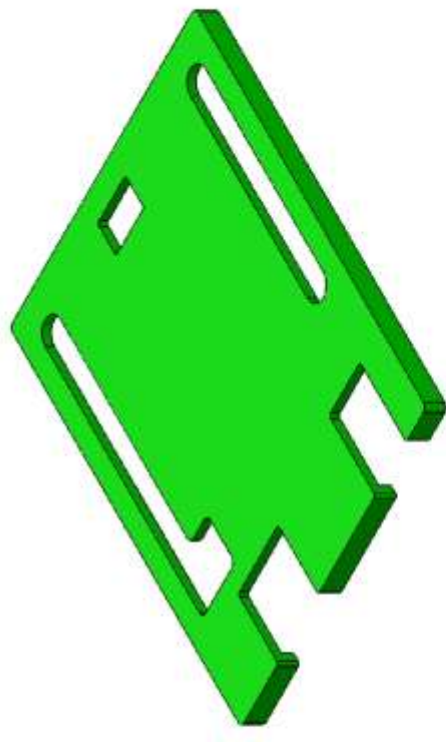
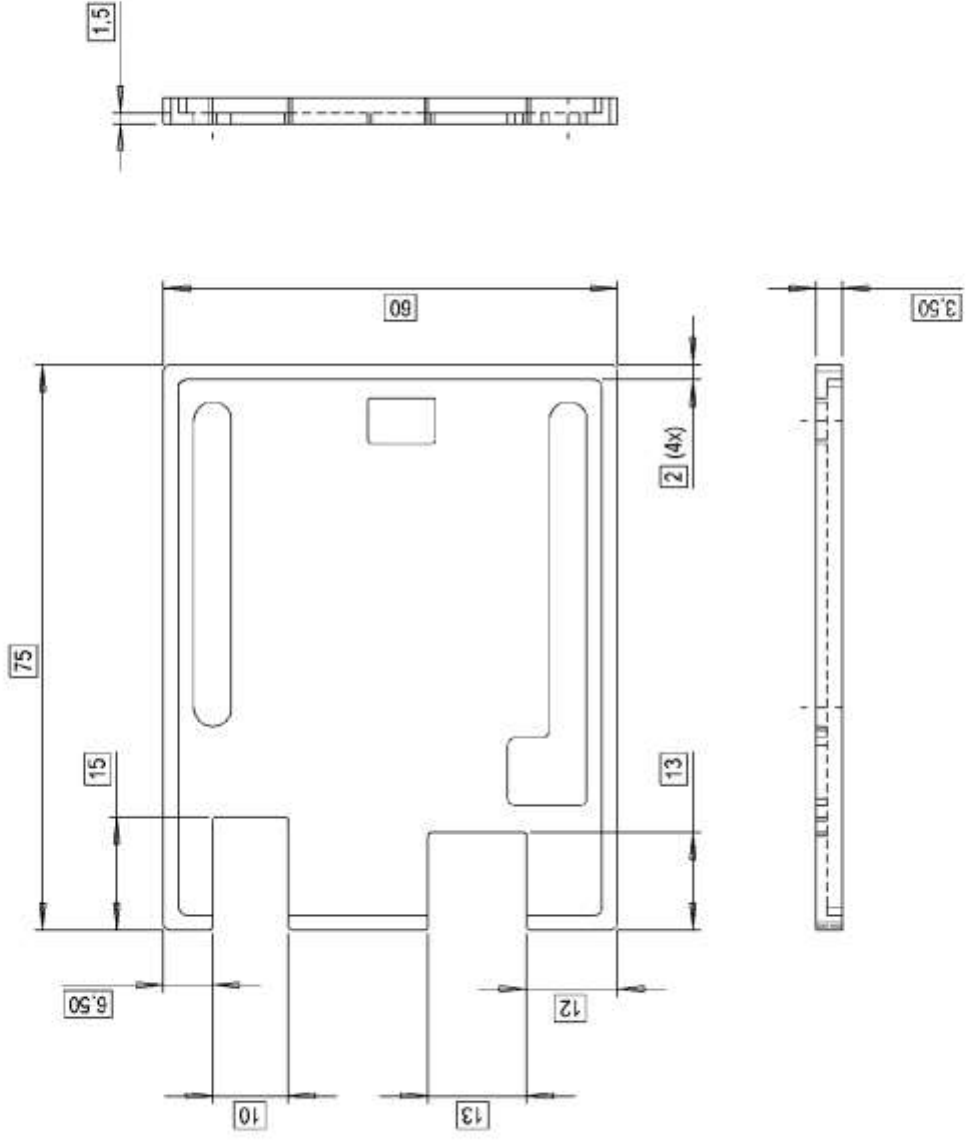
Código
TFC C 08

Versão
01
Data
17/09/2017
Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
até 12 mm	±0,15 mm
até 30 mm	±0,20 mm
até 50 mm	±0,25 mm
até 100 mm	±0,30 mm
até 150 mm	±0,35 mm
até 200 mm	±0,40 mm
até 300 mm	±0,45 mm
até 500 mm	±0,50 mm
até 1000 mm	±0,60 mm

COMPONENTE COMPRADO

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR



VISTA ISOMÉTRICA

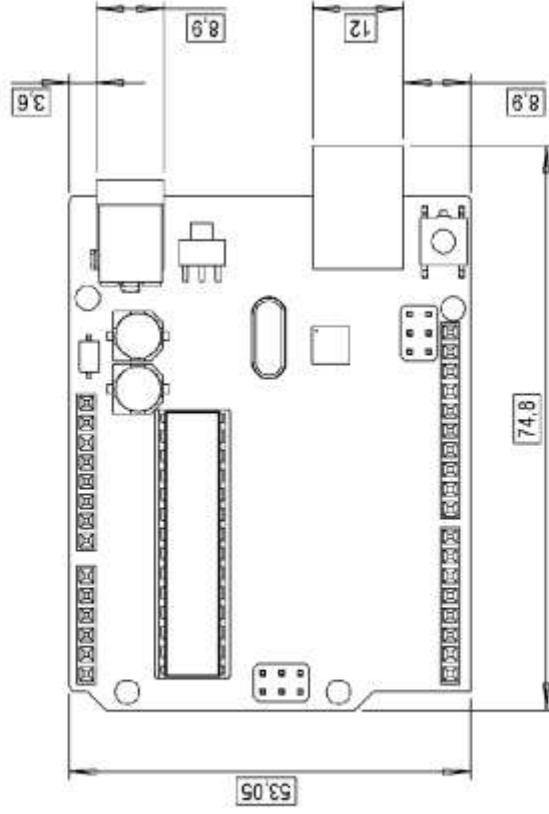
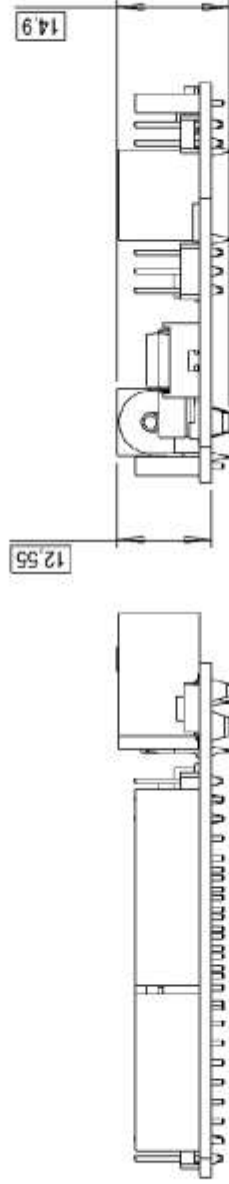
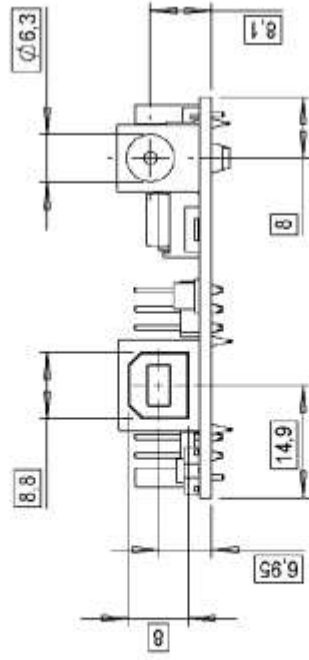


Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
CASE ARDUINO SUPERIOR
Escala
1:1
Material
PLASTICO ABS

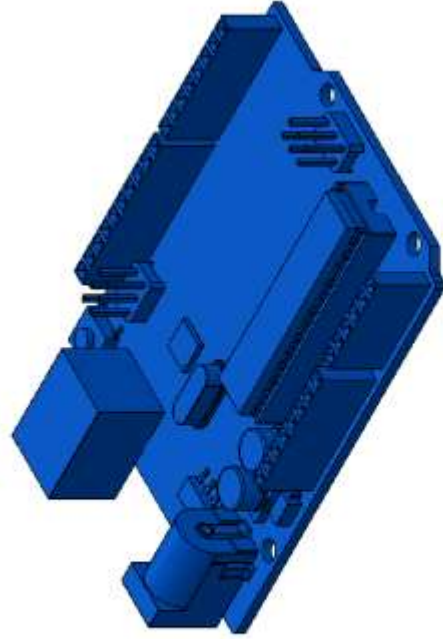
1º DIEDRO
Código
TFC C 09
Versão
01
Data
17/09/2017
Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Angulos	±0,5
Perfurações	H7/g6
Acabamento	Ra 0,4



COMPONENTE COMPRADO

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR



VISTA ISOMÉTRICA



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht

Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht

Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
ARDUINO UNO R3

Código
TFC C 10

Versão
01

Data
17/09/2017

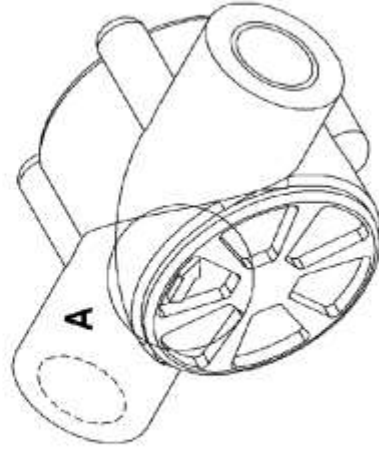
Folha
01/01



TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Ángulos	±0,5
Superfícies planas	±0,05
Superfícies cilíndricas	±0,05
Superfícies esféricas	±0,15
Superfícies cônicas	±0,15

COMPONENTE COMPRADO

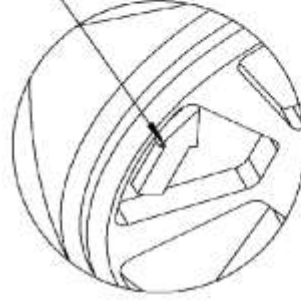
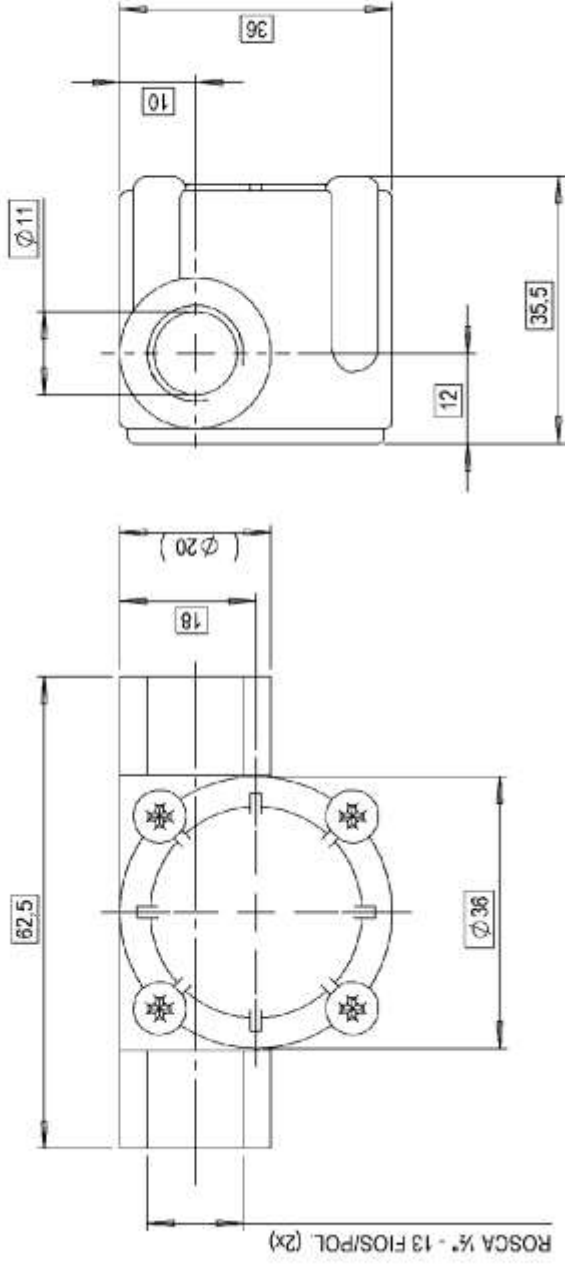
ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR



VISTA ISOMÉTRICA AUXILIAR



VISTA ISOMÉTRICA



DETALHE A
ESC 2:1

NOTA:
OBSERVAR SENTIDO
DO FLUXO DURANTE
MONTAGEM FINAL



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
**SENSOR DE FLUXO DE
ÁGUA YF-S201**

1º DIEDRO

Código
TFC C 11

Escala
1:1

Material

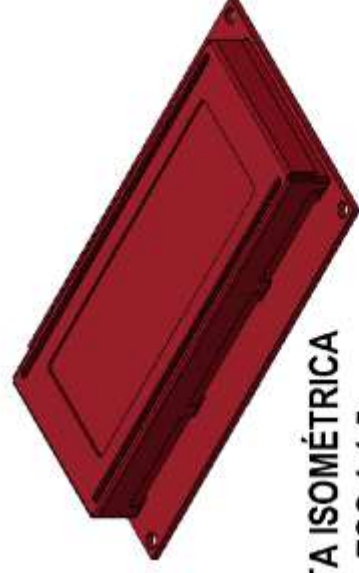
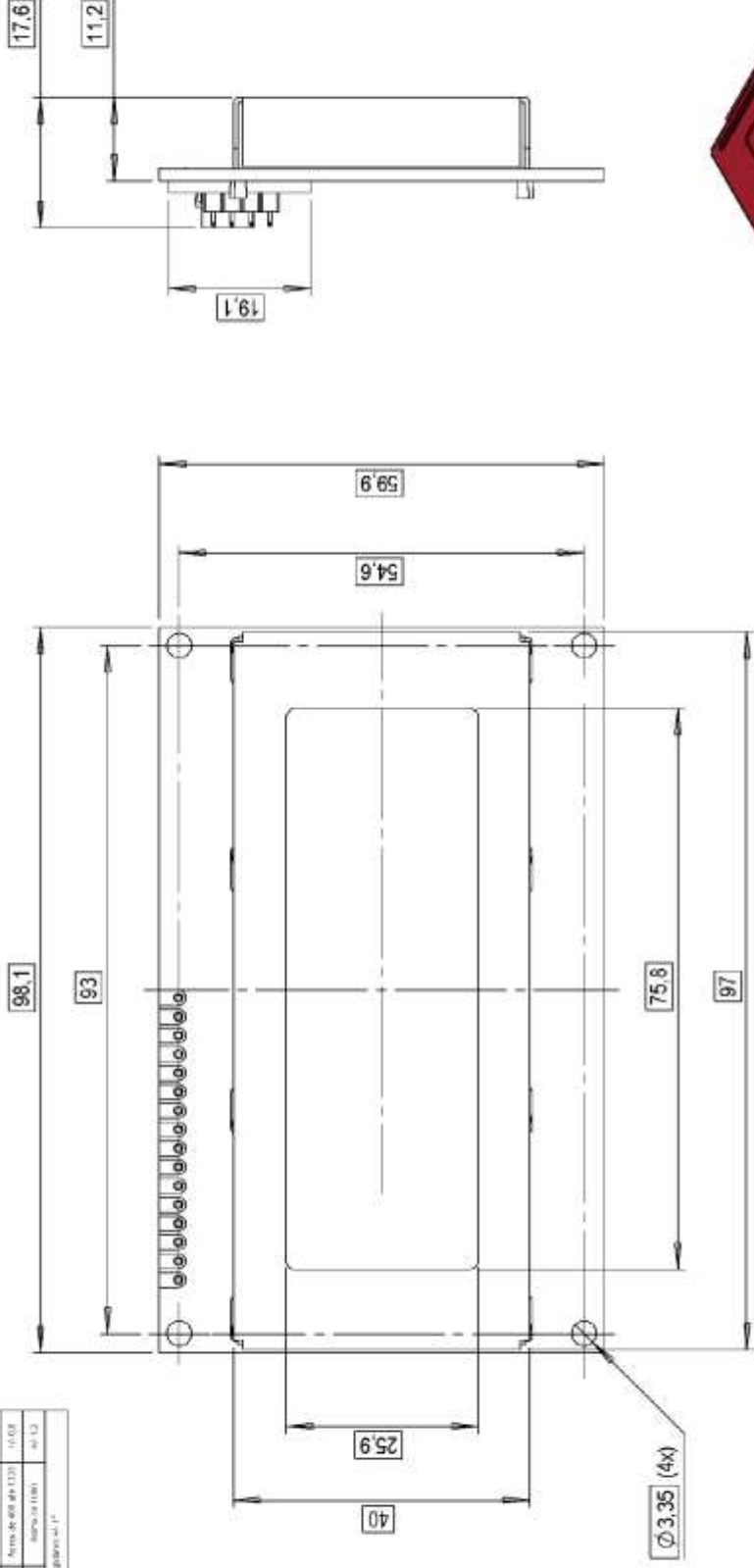
Versão
01

Data
17/09/2017

Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS			
Dimensões	h6/d9	h8/d9	h9/d9
Distâncias	±0,10	±0,15	±0,20
Ângulos	±0,10	±0,15	±0,20
Formas	±0,10	±0,15	±0,20

Desenhado por: J. B. S. / 17/09/2017



VISTA ISOMÉTRICA
ESC 1:1,5

**COMPONENTE
COMPRADO**

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título: Título complementar
DISPLAY LCD 20x4 I2C

Código
TFC C 12

1º DIEDRO



Escala
1:1

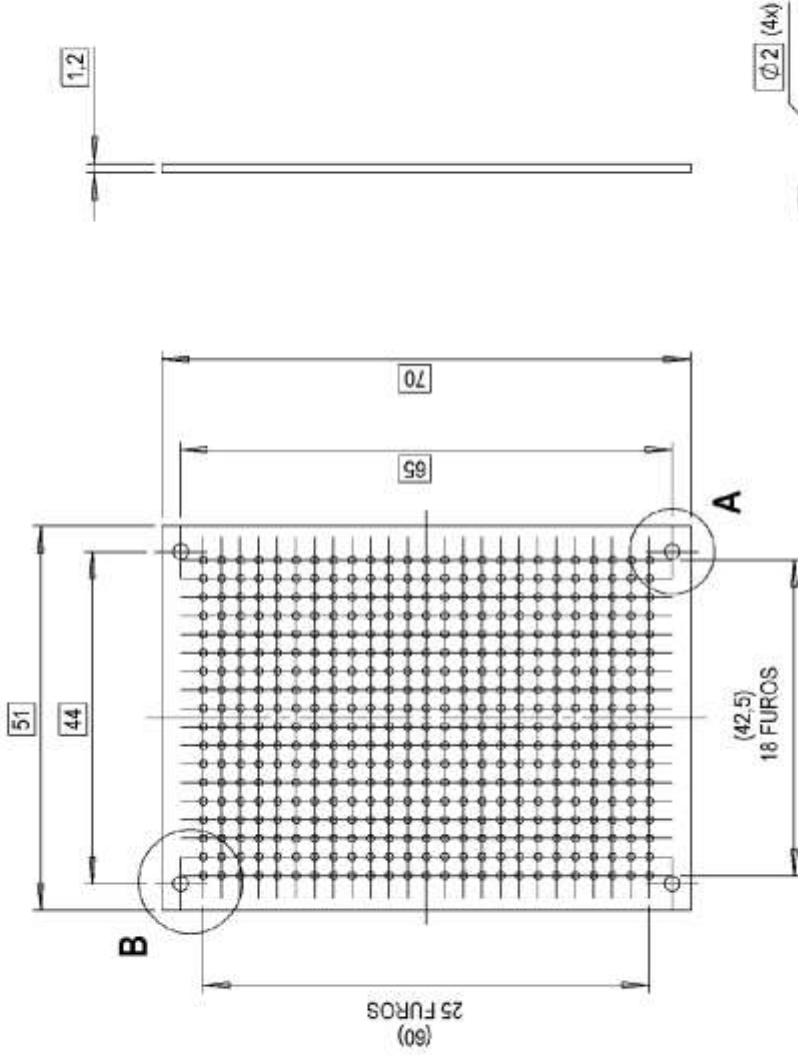
MATERIAL

Versão
01

Data
17/09/2017

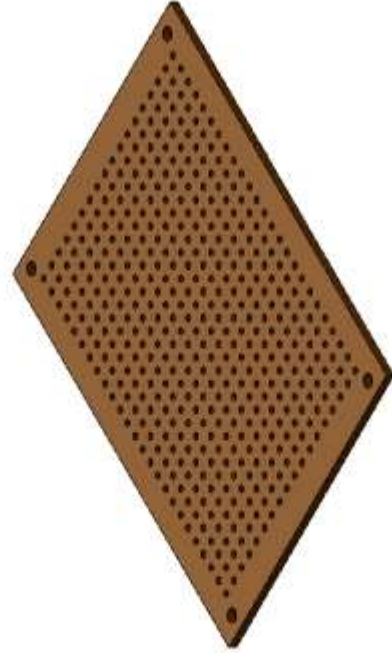
Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Medidas	±0,15
Áreas	±0,15
Perímetros	±0,15
Ângulos	±0,15
Distâncias	±0,15
Formas	±0,15



COMPONENTE COMPRADO

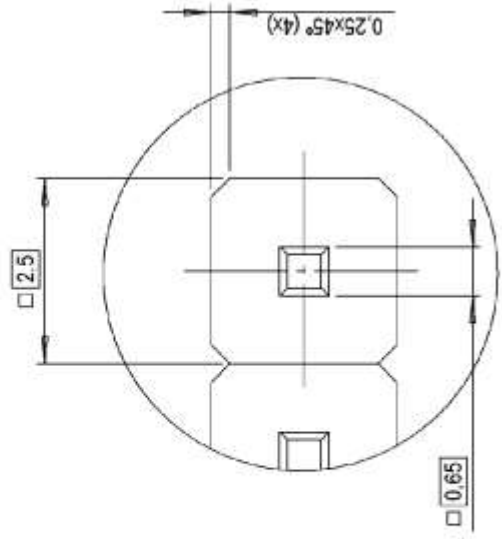
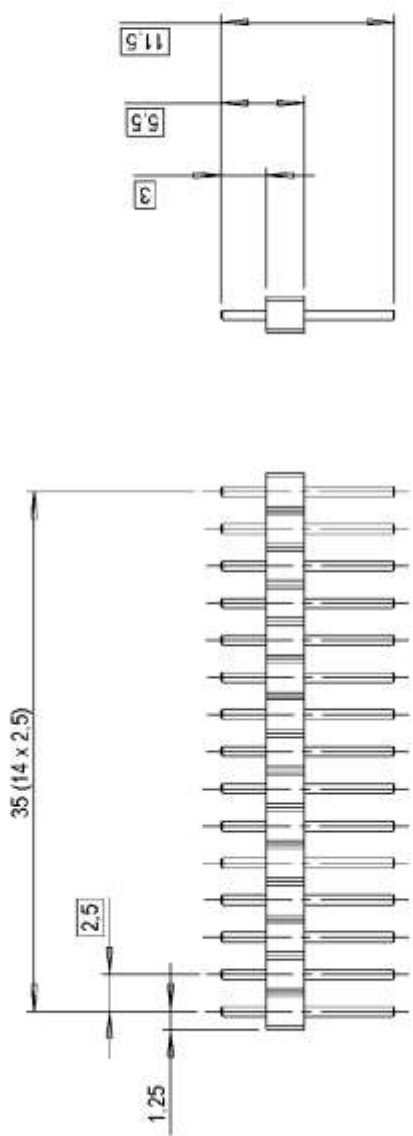
ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR



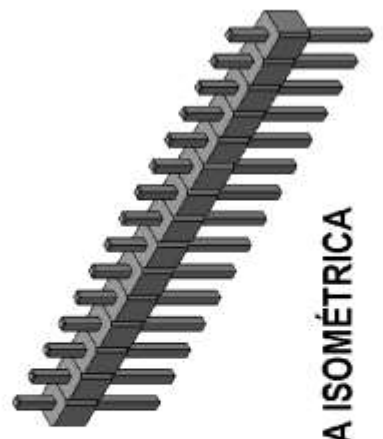
VISTA ISOMÉTRICA

		Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	1º DIEDRO	Folha 01/01
		Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht		Data 17/09/2017
Código TFC C 13		Material .	Versão 01	
Título, Título complementar PLACA DE FENOLITE PERFORADA 5x7 cm		Escala 1:1	Material .	

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Áreas	±0,15
Áreas de solda	±0,15
Áreas de solda	±0,15
Áreas de solda	±0,15
Áreas de solda	±0,15



DETALHE A
ESC 10:1



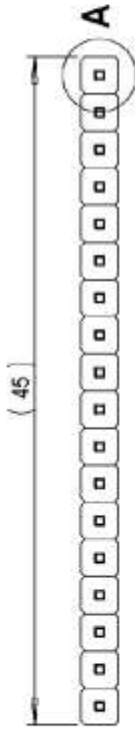
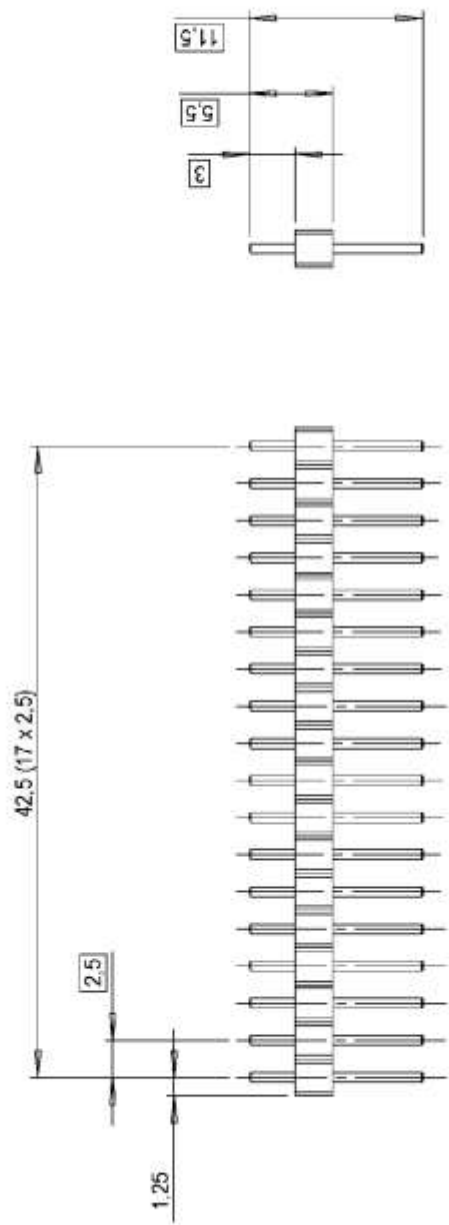
VISTA ISOMÉTRICA

COMPONENTE COMPRADO

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR

	Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	Título complementar BARRA DE PINOS 2x15 180°	1° DIEDRO	Folha 01/01
	Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht	Material	180°	Data 17/09/2017
	Aprovado por Guilherme Jost Beras	Escala 2:1	Versão 01	

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Ángulos	±0,5
Perfurações	±0,15
Acabamento	±0,15



DETALHE A
ESC 10:1



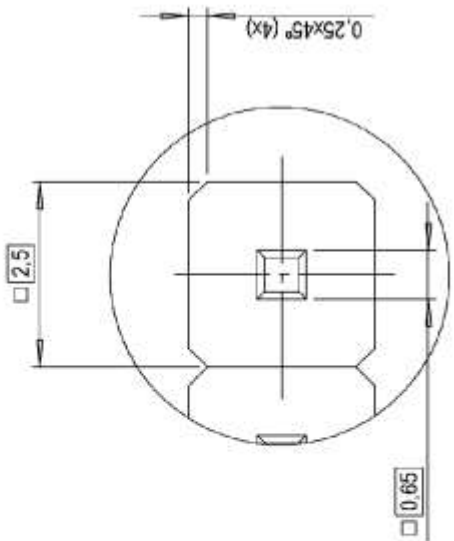
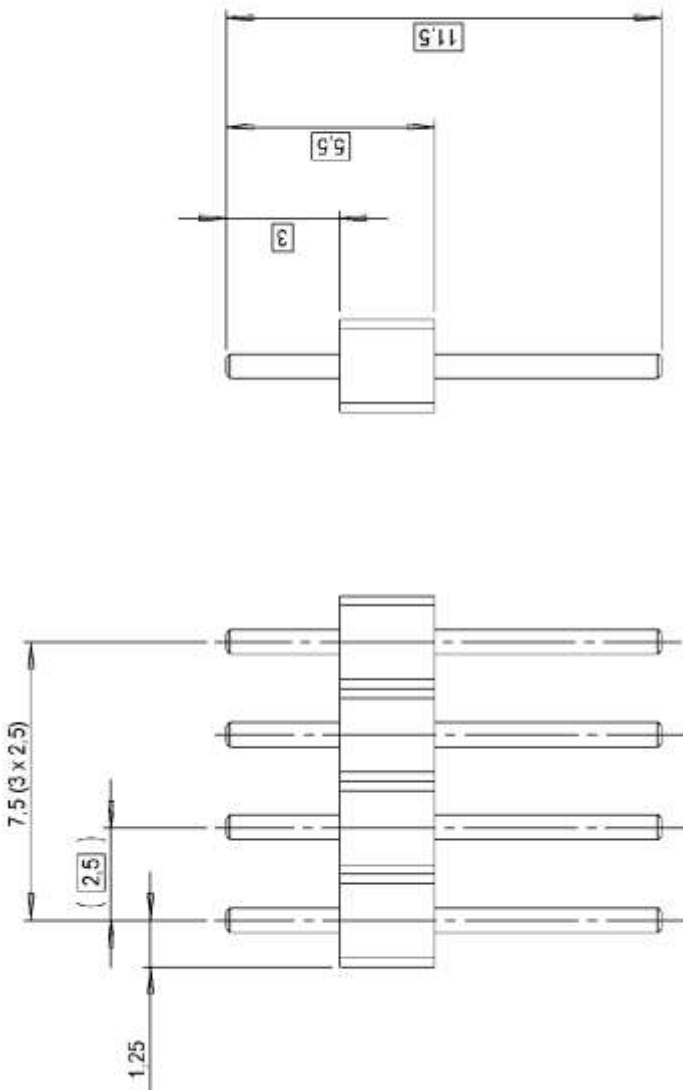
VISTA ISOMÉTRICA

COMPONENTE COMPRADO

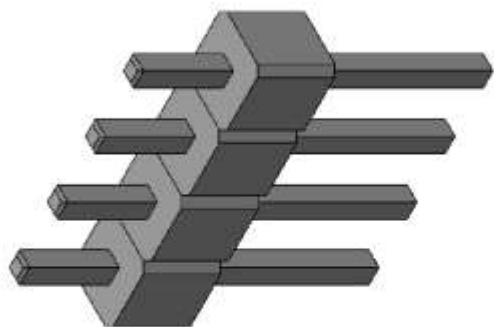
ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR

		Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	Título, Título complementar BARRA DE PINOS 2x18 180°	1º DIEDRO	
		Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht	Código TFC C 15	Versão 01	
Aprovado por Guilherme Jost Beras		Escola 2-1	MATERIAL	Versão 01	Folha 01/01

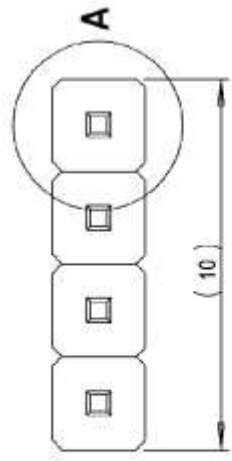
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Área 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	±0,15
Área 1	±0,30



DETALHE A
ESC 10:1



VISTA ISOMÉTRICA

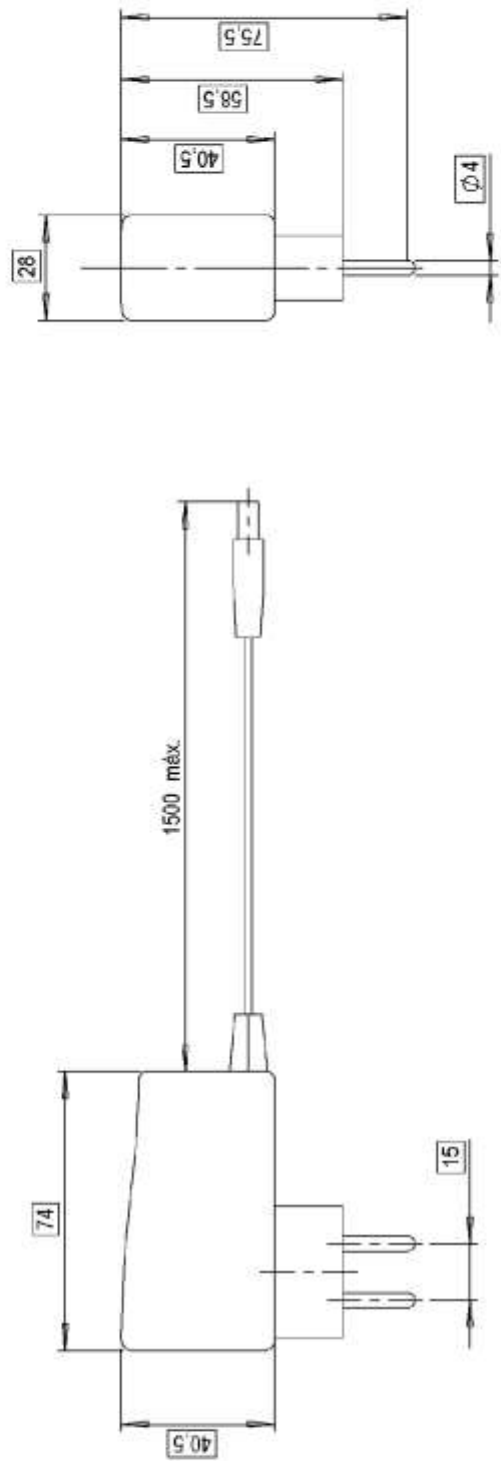
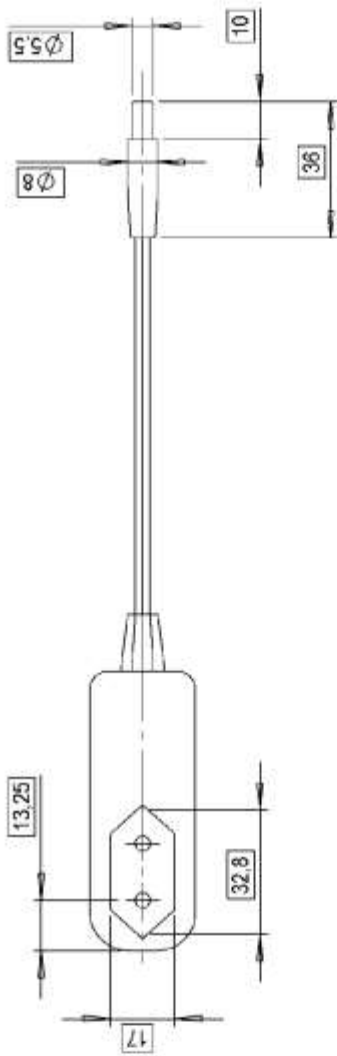


**COMPONENTE
COMPRADO**

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR

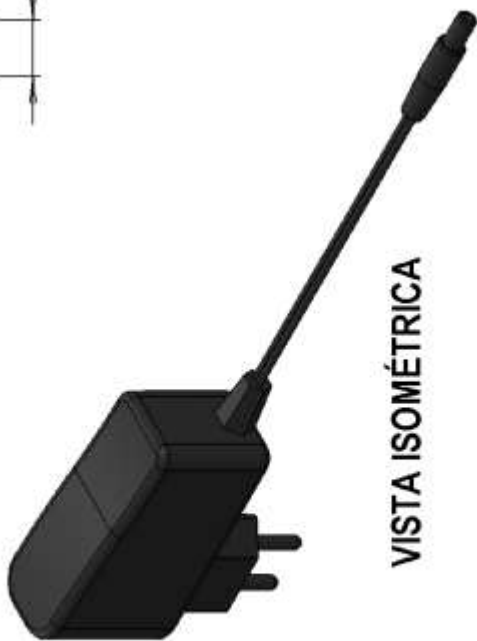
	Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	Título, Título complementar BARRA DE PINOS 2x4 180°	1º DIEDRO 
	Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht	Escala 5:1	Código TFC C 16
Aprovado por Guilherme Jost Beras	Material	Versão 01	Data 17/09/2017
			Folha 01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Dimensões	±0,15
Diâmetro	±0,15
Comprimento	±0,15
Ângulo	±0,15
Forma	±0,15
Superfície	±0,15
Outros	±0,15



**COMPONENTE
COMPRADO**

ESPECIFICAÇÕES E COTAS CONFORME FORNECEDOR

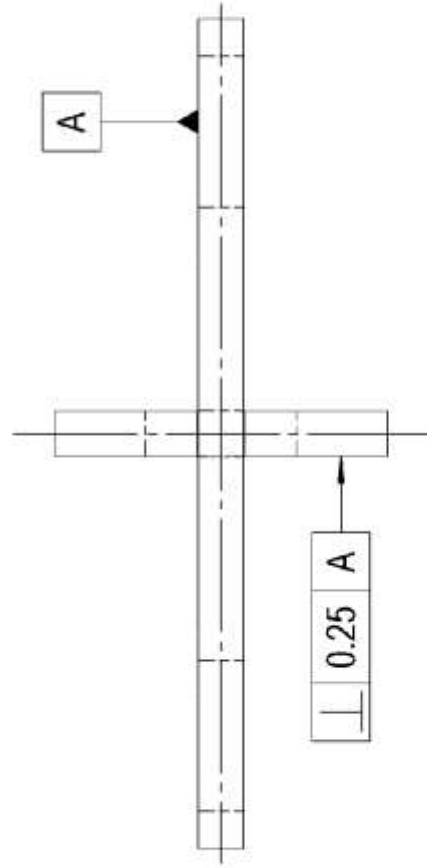
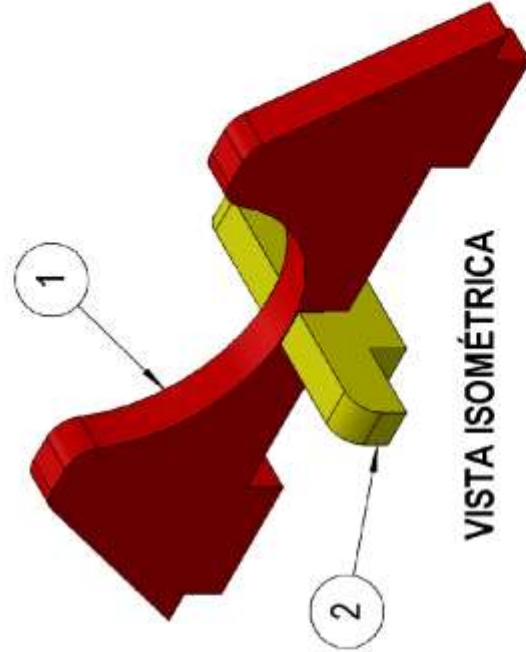
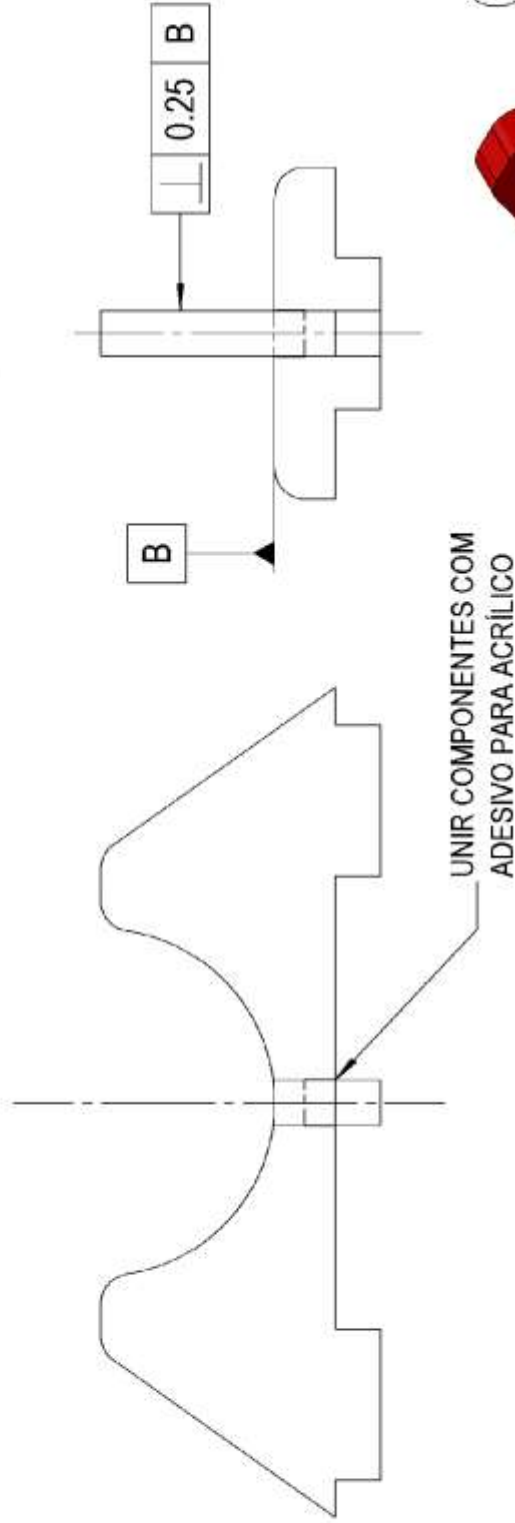


VISTA ISOMÉTRICA

		Referência Técnica Augusto Marcol Garbrecht	Título, Título complementar FONTE DC CHAVEADE 9V 1A COM PLUG P4	 1º DIEDRO
		Desenhado por Augusto Marcol Garbrecht		
Aprovado por Guilherme Jost Beras	Escola 1:2	Material	Versão 01	Data 17/09/2017
			Folha 01/01	

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS			
Dimensões nominais	+/- 0,1 mm	Acima de 120 até 1000	+/- 0,15
Acima de 1000	+/- 0,2 mm	Acima de 120 até 1000	+/- 0,2
Acima de 1000 até 10000	+/- 0,3 mm	Acima de 1000 até 10000	+/- 0,3
Acima de 10000 até 100000	+/- 0,5 mm	Acima de 10000 até 100000	+/- 0,5
Acima de 100000 até 1000000	+/- 0,7 mm	Acima de 100000 até 1000000	+/- 0,7
Acima de 1000000 até 10000000	+/- 1,0 mm	Acima de 1000000 até 10000000	+/- 1,0

Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC C.04	SUPORTE DA LUVA	1
2	TFC C.05	REFORÇO	1



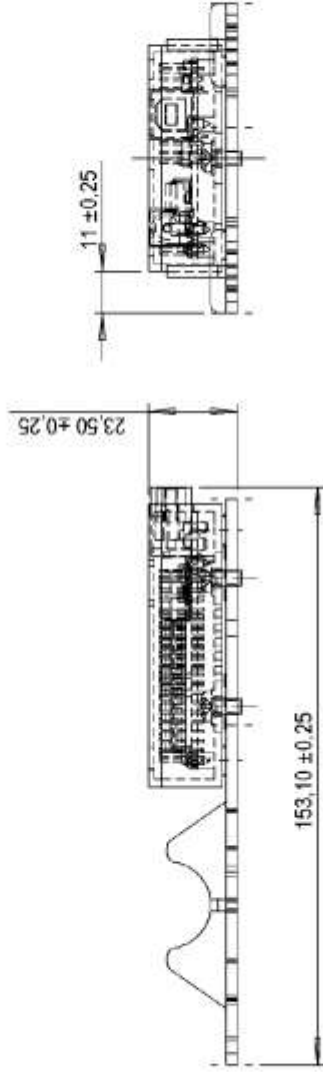
Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
C.J. SUPORTE DA LUVA
Escala
2:1
Material
.Versão
01
Data
18/09/2017

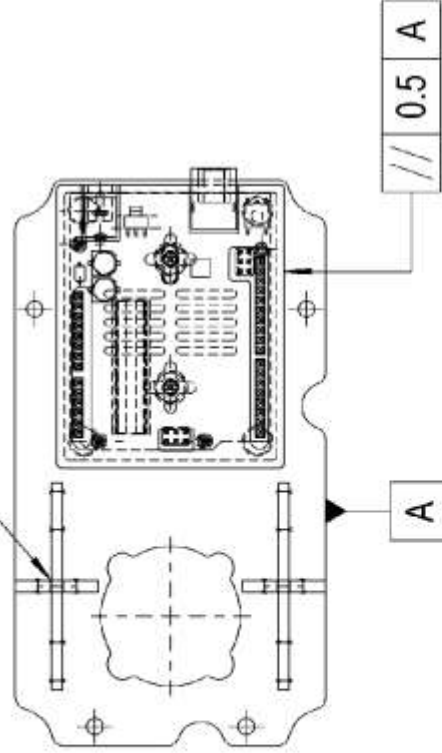
1º DIEDRO
Código
TFC C.J 01
Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
ÁREA DE FURTO	±0,01 mm
ÁREA DE ENCAIXE	±0,05 mm
ÁREA DE ENCAIXE DE ENCAIXE	±0,02 mm
ÁREA DE ENCAIXE DE ENCAIXE	±0,02 mm
ÁREA DE ENCAIXE DE ENCAIXE	±0,02 mm

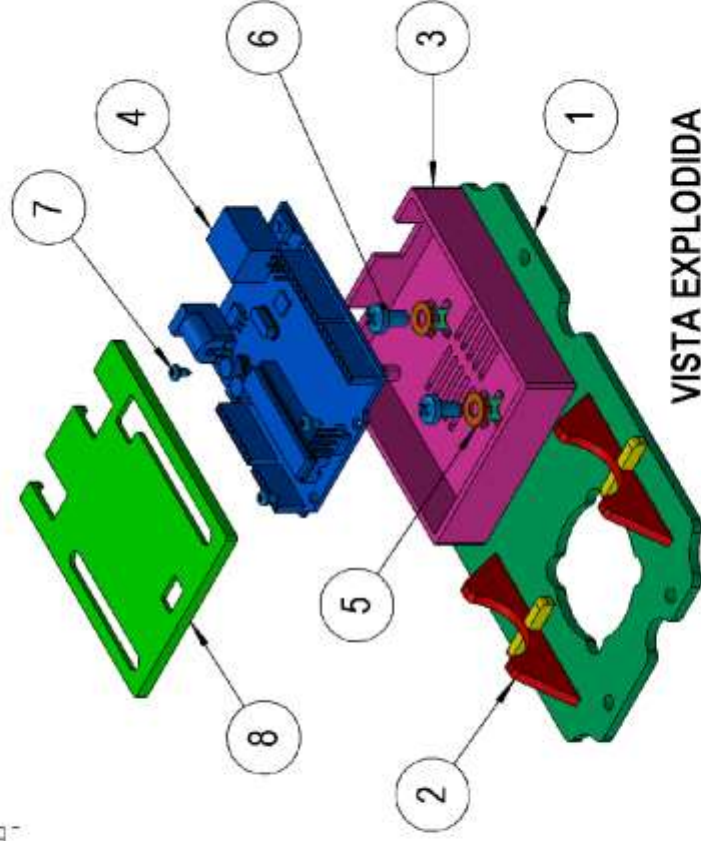
Dimensionar de acordo com o 1º



UNIR COMPONENTES COM
ADESIVO PARA ACRILICO (2x)



Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC C 03	BASE	1
2	TFC CJ 01	CJ. SUPORTE DA LUVA	2
3	TFC C 08	CASE ARDUINO INFERIOR	1
4	TFC C 10	ARDUINO UNO R3	1
5	-	ARRUELA LISA M4	2
6	-	PARAFUSO MÁQUINA M4x8 FENDA PHILIPS - CABEÇA PANELA	2
7	-	PARAFUSO M2x5 COM FLANGE FENDA PHILIPS - CABEÇA PANELA	3
8	TFC C 09	CASE ARDUINO SUPERIOR	1



VISTA EXPLODIDA



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht

Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht

Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
C.J. BASE

Escala
1:2

Materiais

.

1º DIEDRO

Código
TFC C.J 02

Versão
01

Data
18/09/2017

Folha
01/01

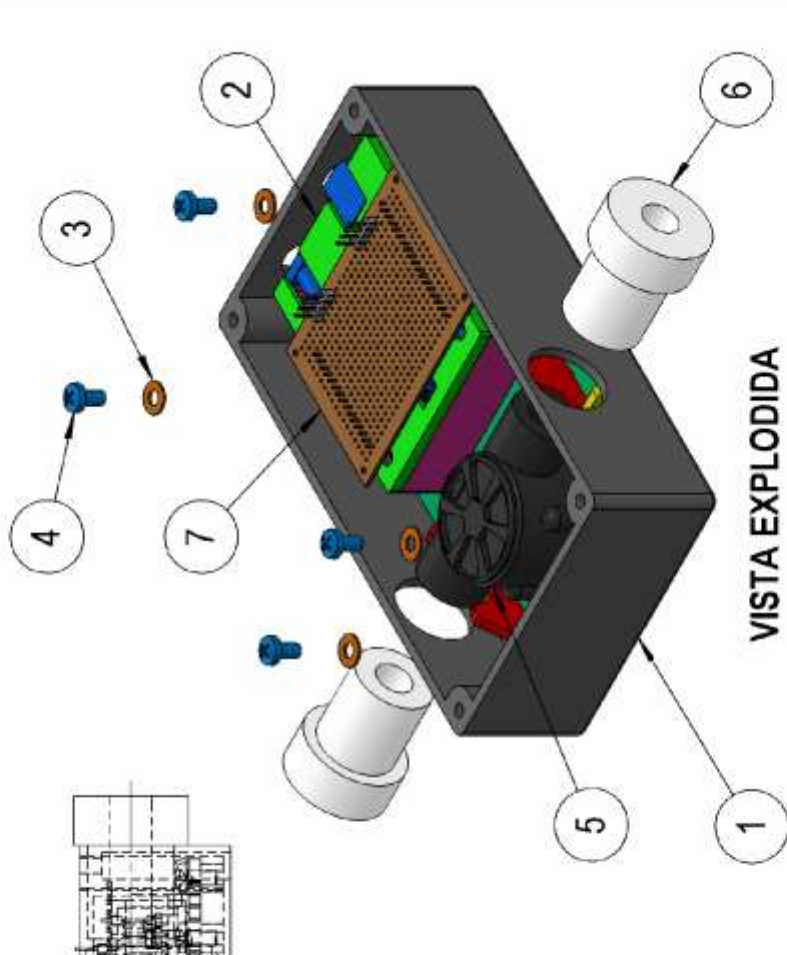
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS			
ÁREA 1/06	±0,01 mm	ÁREA 05, 07, 08, 09, 10, 11, 12	±0,15
ÁREA 02, 03, 04, 05	±0,02	ÁREA 06, 08, 09, 10, 11, 12	±0,05
ÁREA 01, 02, 03, 04, 05	±0,10	ÁREA 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12	±0,15

Dimensionar de acordo com o 1º

NOTA:
OBSERVAR SENTIDO DO FLUXO



DETALHE A
ESC 1:1



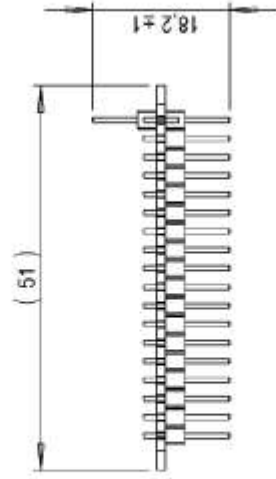
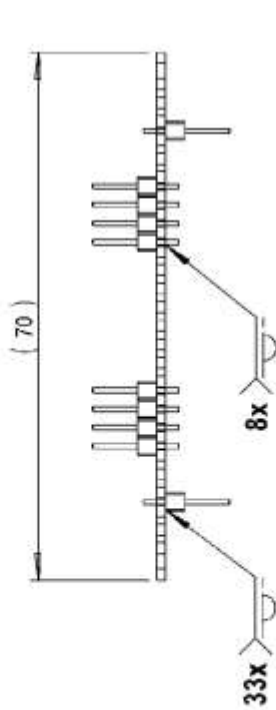
VISTA EXPLODIDA

Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC C 01	CORPO INFERIOR	1
2	TFC CJ 02	CJ. BASE	1
3	-	ARRUELA LISA M4	4
4	-	PARAFUSO MÁQUINA M4x8 FENDA PHILIPS - CABEÇA PANELA	4
5	TFC C 11	SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201	1
6	TFC C 07	LUVA	2
7	TFC CJ 04	CJ. CIRCUITO ELETRÔNICO	1

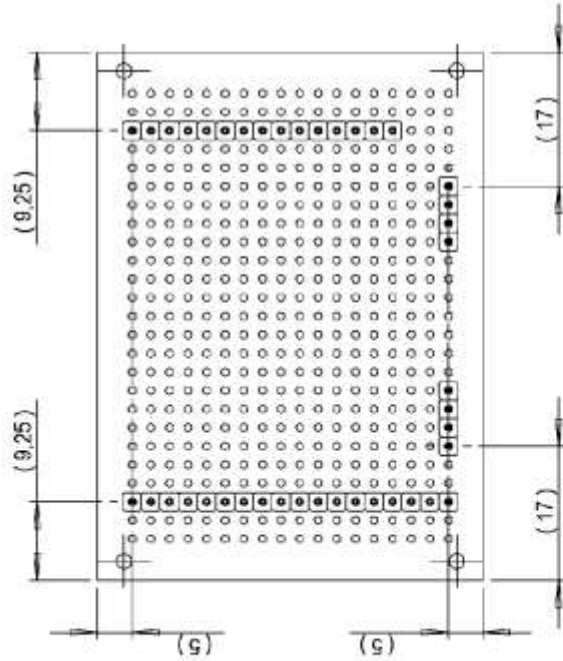
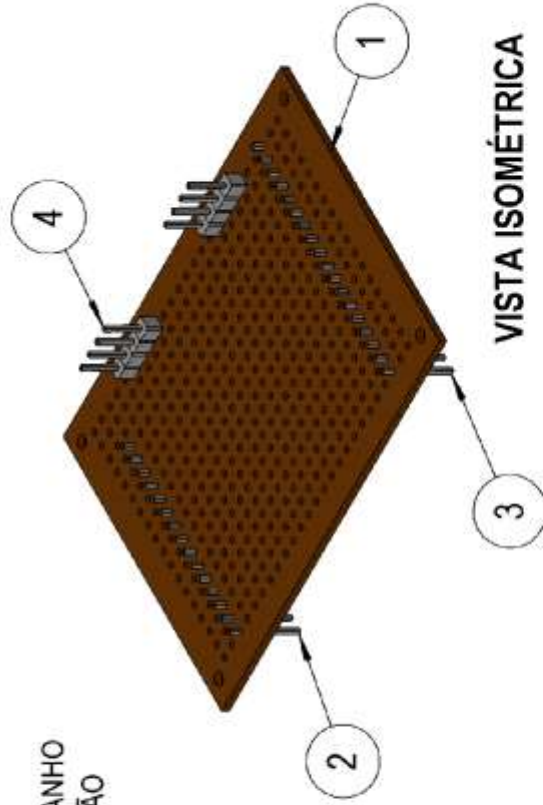
		Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	Título complementar C.J. CORPO INFERIOR	1º DIEDRO	
		Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht	Escala 1:2	Versão 01	
Aprovado por Guilherme Jost Beras		Material	Código TFC C J 03	Folha 01/01	

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
MM ± 0,10	MM ± 0,20
MM ± 0,15	MM ± 0,30
MM ± 0,20	MM ± 0,40
MM ± 0,25	MM ± 0,50
MM ± 0,30	MM ± 0,60
MM ± 0,35	MM ± 0,70
MM ± 0,40	MM ± 0,80
MM ± 0,45	MM ± 0,90
MM ± 0,50	MM ± 1,00

Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC C 13	PLACA FENOLITE PERFORADA 5x7 cm	1
2	TFC C 14	BARRA DE PINOS 2x15 180º	1
3	TFC C 15	BARRA DE PINOS 2x18 180º	1
4	TFC C 16	BARRA DE PINOS 2x4 180º	2



NOTA:
SOLDAR UTILIZANDO ESTANHO
COMO MATERIAL DE ADIÇÃO



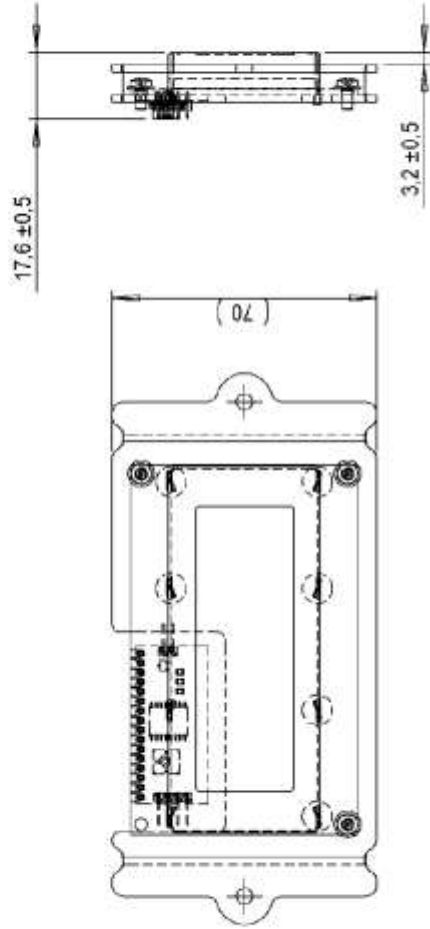
Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
C.J. CIRCUITO ELETRÔNICO
Escala
1:1
Material
.
Versão
01

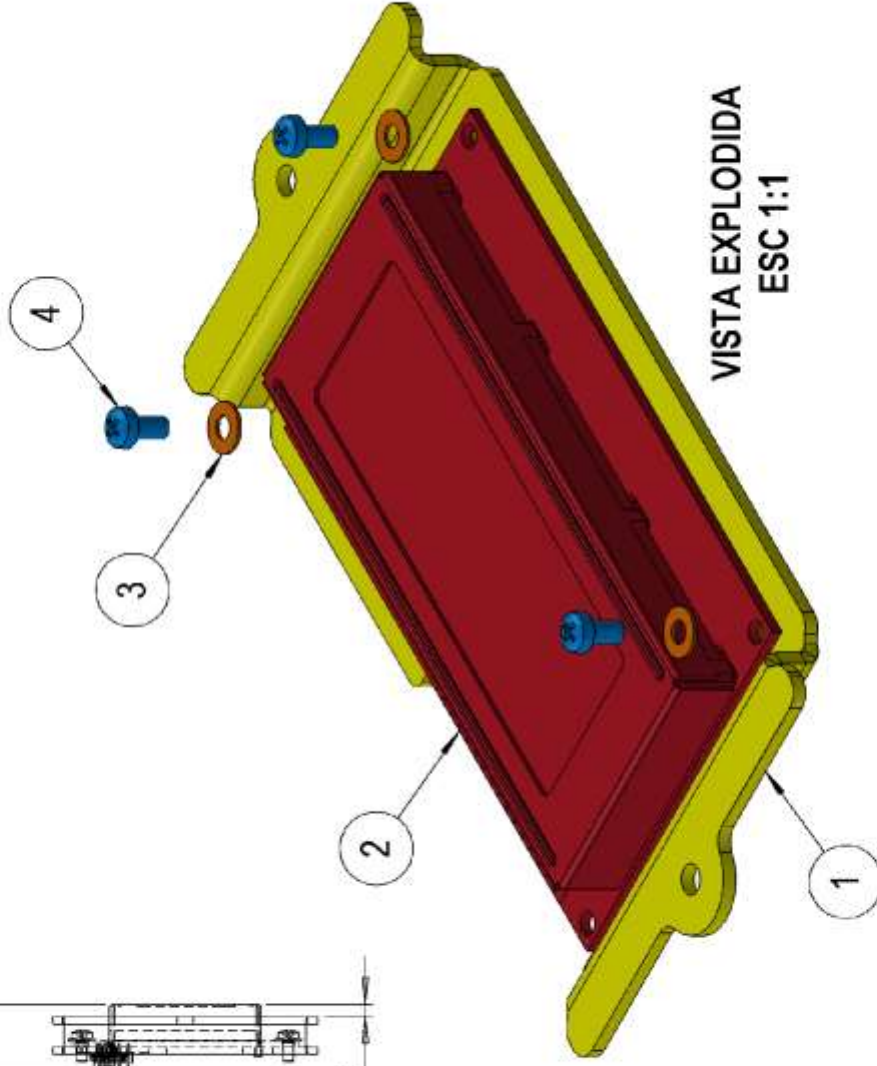
1º DIEDRO
Código
TFC C.J 04
Data
18/09/2017
Folha
01/01

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
ÁREA DE FIM	+0,15 / 0
ÁREA DE INÍCIO	0 / +0,15
ÁREA DE TRANSIÇÃO	+0,15 / 0
ÁREA DE FIM	+0,15 / 0

Dimensionar de acordo com o 1º



Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC C 06	SUPOORTE DO DISPLAY	1
2	TFC C 12	DISPLAY LCD 20x4 I2C	1
3	-	ARRUELA LISA M3	3
4	-	PARAFUSO MÁQUINA M3x6 FENDA PHILIPS - CABEÇA PANELA	3



VISTA EXPLODIDA
ESC 1:1



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título, Título complementar
C.J. MONTAGEM DO DISPLAY

Código
TFC C.J 05

Escala
1:2

MATERIAL

.

1º DIEDRO



Versão
01

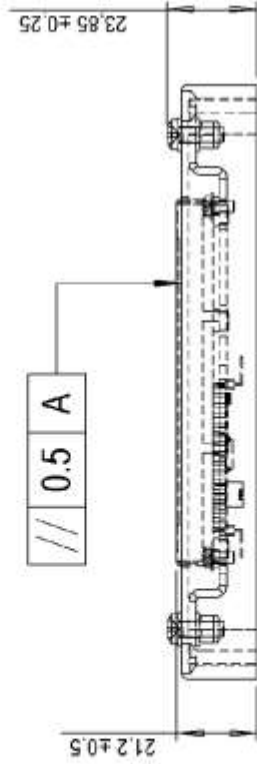
Data
18/09/2017

Folha
01/01

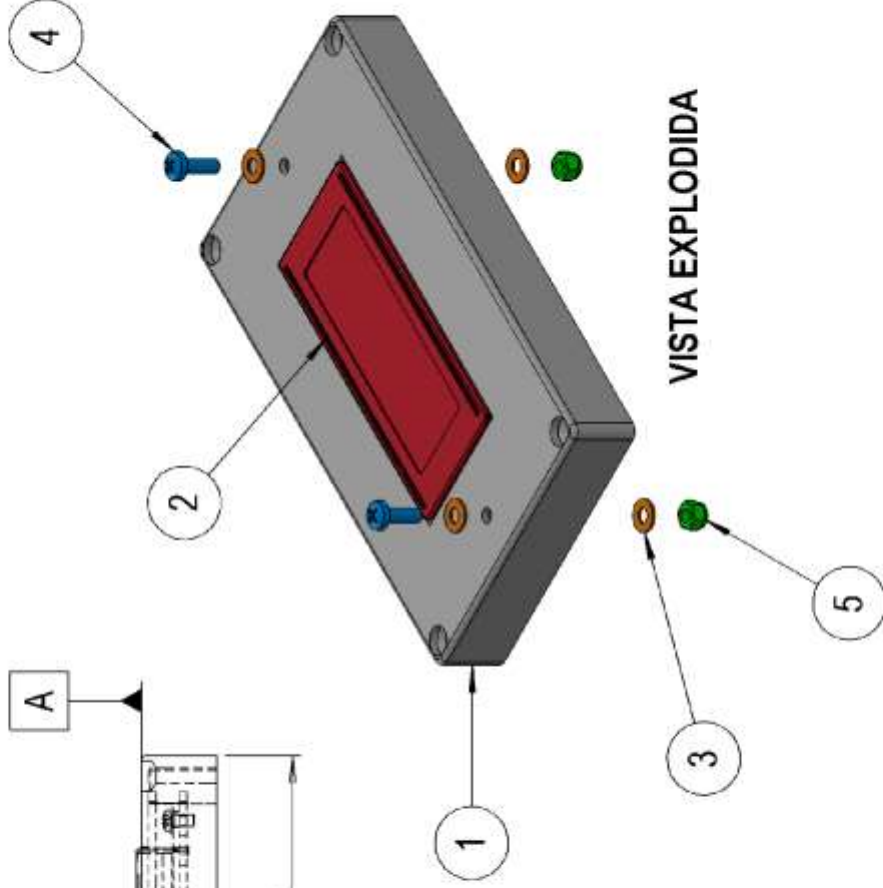
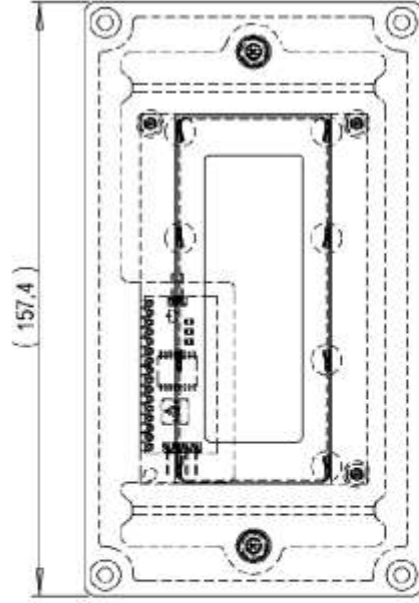
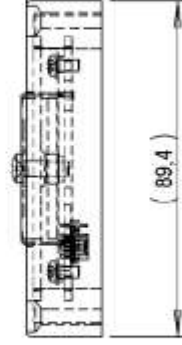
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
Medidas	±0,15
Medidas de 0 a 30	±0,10
Medidas de 30 a 120	±0,15
Medidas de 120 a 300	±0,20
Medidas de 300 a 1000	±0,30

Dimensões em milímetros

Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC C 02	CORPO SUPERIOR	1
2	TFC CJ 05	CJ. MONTAGEM DO DISPLAY	1
3	-	ARRUELA LISA M4	4
4	-	PARAFUSO MÁQUINA M4x12 FENDA PHILIPS - CABEÇA PANELA	2
5	-	PORCA SEXTAVADA AUTO TRAVANTE M4	2



0.5 A



VISTA EXPLODIDA



Referência Técnica
Augusto Marcel Garbrecht
Desenhado por
Augusto Marcel Garbrecht
Aprovado por
Guilherme Jost Beras

Título complementar
C.J. CORPO SUPERIOR

Código
TFC C.J 06

Escala
1:2

Material
.

Versão
01

Data
18/09/2017

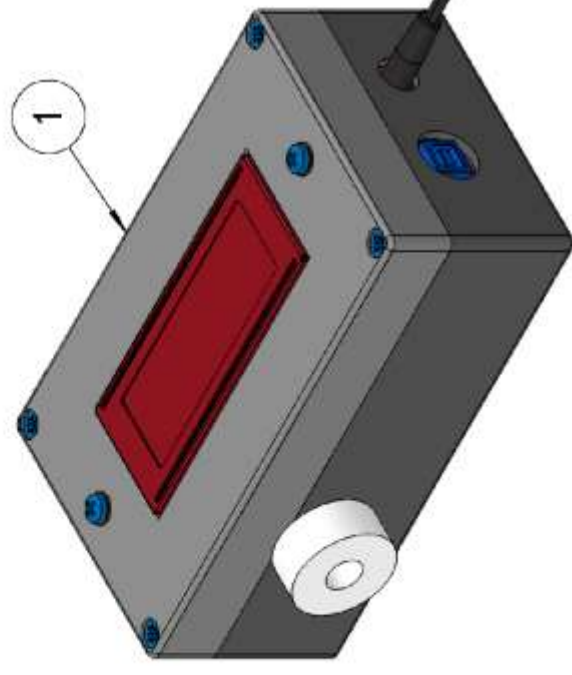
Folha
01/01



1º DIEDRO

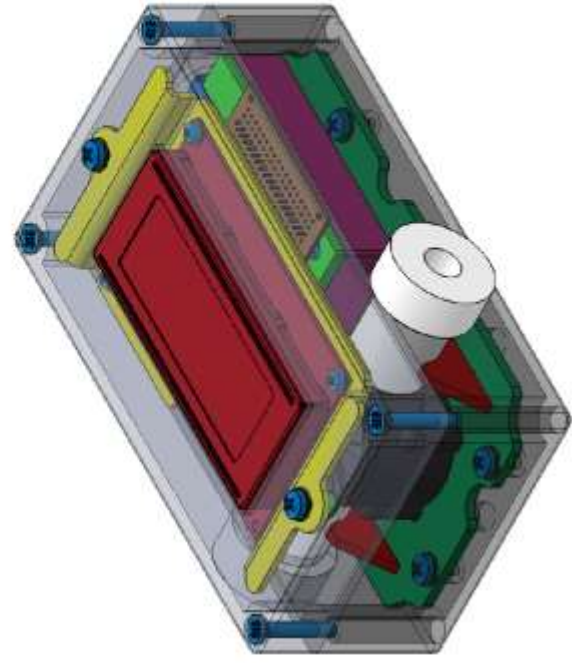
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS	
30.000	+/- 0,15
0,001	+/- 0,05
0,002	+/- 0,10
0,005	+/- 0,20
0,010	+/- 0,40
0,020	+/- 0,80
0,050	+/- 1,60
0,100	+/- 3,20
0,200	+/- 6,40
0,500	+/- 16,00
1,000	+/- 32,00
2,000	+/- 64,00
5,000	+/- 160,00
10,000	+/- 320,00
20,000	+/- 640,00
50,000	+/- 1600,00
100,000	+/- 3200,00
200,000	+/- 6400,00
500,000	+/- 16000,00
1000,000	+/- 32000,00

Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE
1	TFC CJ 07	DISPOSITIVO	1
2	TFC C 17	FONTE DC CHAVEADA - 9V 1A COM PLUG P4	1



VISTA ISOMÉTRICA 01
DISPOSITIVO EM UTILIZAÇÃO

NOTA:
ESPECIFICAÇÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO:
1. CORRENTE CONTÍNUA
2. TENSÃO DE SAÍDA: 9,0 V
3. CORRENTE DE SAÍDA: 1,0 A



VISTA ISOMÉTRICA 02
DETALHE DOS COMPONENTES INTERNOS



Referência Técnica Augusto Marcel Garbrecht	Título, Título complementar DISPOSITIVO	1º DIEDRO
Desenhado por Augusto Marcel Garbrecht	VISTAS COMPLEMENTARES	
Aprovado por Guilherme Jost Beras	Escala 1:2	Versão 01
	Material	Data 18/09/2017
		Folha 02/02

Código TFC C.J 07	
Versão 01	Data 18/09/2017
Material	Folha 02/02

APÊNDICE B – CÓDIGO DO SOFTWARE EMBARCADO

SOFTWARE_TFC_2017_Augusto_Marcel_Garbrecht

```

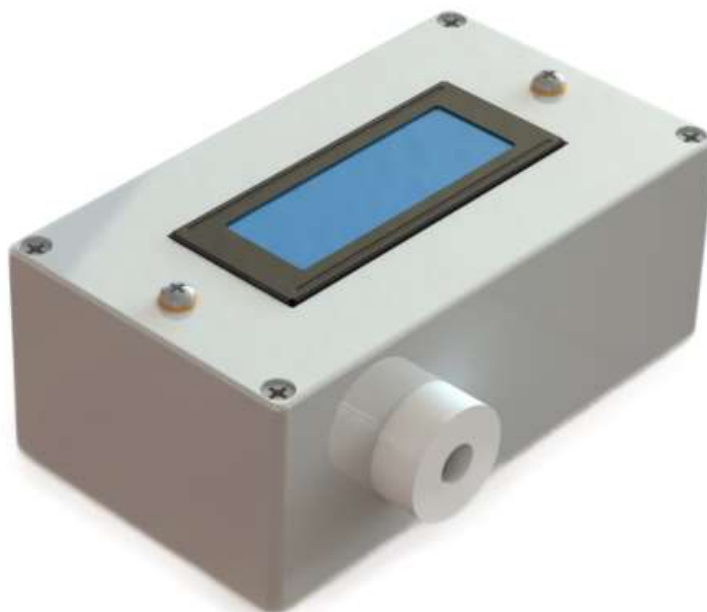
1 // CONFIGURAÇÃO DO SENSO DE FLUXO
2 byte ParadaSensorHall = 0;
3 byte SensorHall = 2;
4 float FatorCorrecao = 8;
5 volatile byte ContagemPulsos;
6 unsigned long TempoAnterior;
7
8 // CONFIGURAÇÃO DO DISPLAY LCD
9 #include <Wire.h>
10 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
11 LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
12
13 // VARIÁVEIS
14 float ViscosidadeAgua = 0.00000101;
15 float DimetroOH = 20.00;
16 float DimetroInterno;
17 float Vazao_L_min;
18 float Vazao_m3_s;
19 float AreaTubo;
20 float Velocidade;
21 float Reynolds;
22
23 void setup() {
24   Serial.begin(9600);
25   pinMode(SensorHall, INPUT);
26   lcd.begin(20,4);
27   lcd.setBacklight(HIGH);
28   DimetroInterno = DimetroOH / 1000;
29   AreaTubo = 3.14159265 * (DiametroInterno / 2) * (DiametroInterno / 2);
30   Inicializacao();
31 }
32
33 void loop() {
34   if ((millis() - TempoAnterior) > 1000) {
35     Vazao_L_min = ((1000.0 / (millis() - TempoAnterior)) * ContagemPulsos) / FatorCorrecao;
36     Vazao_m3_s = Vazao_L_min / 60000.0;
37     Velocidade = Vazao_m3_s / AreaTubo;
38     Reynolds = Velocidade * DimetroInterno / ViscosidadeAgua;
39     TempoAnterior = millis();
40
41     lcd.clear();
42     lcd.setCursor(0,0);   lcd.print("VAZAO:");
43     lcd.setCursor(7,0);  lcd.print(Vazao_L_min,3);
44     lcd.setCursor(13,0); lcd.print("L/min");
45     lcd.setCursor(0,1);  lcd.print("VELOCIDADE:");
46     lcd.setCursor(12,1); lcd.print(Velocidade,2);
47     lcd.setCursor(17,1); lcd.print("m/s");
48     lcd.setCursor(0,2);  lcd.print("REYNOLDS:");
49     lcd.setCursor(10,2); lcd.print(Reynolds,2);
50     lcd.setCursor(0,3);  lcd.print("REGIME:");
51     lcd.setCursor(8,3);
52
53     if (Reynolds == 0.0) {
54       lcd.print("Sem Fluxo");
55     }
56     else if (Reynolds > 0.0 && Reynolds < 2000.0) {
57       lcd.print("Laminar");
58     }
59     else if (Reynolds >= 2000.0 && Reynolds < 2400.0) {
60       lcd.print("Transico");
61     }
62     else {
63       lcd.print("Turbulenta");
64     }
65     ContagemPulsos = 0;
66     attachInterrupt(ParadaSensorHall, ContadorPulsos, FALLING);
67   }
68 }
69
70 void ContadorPulsos() {
71   ContagemPulsos++;
72 }
73
74 void Inicializacao() {
75   lcd.clear();
76   lcd.setCursor(2,0);   lcd.print("TFC ENG MECANICA");
77   lcd.setCursor(4,1);  lcd.print("FARUS - 2017");
78   lcd.setCursor(0,3);  lcd.print("AUGUSTO M. GARBRECHT");
79   delay(5000);
80   lcd.clear();
81   lcd.setCursor(5,0);   lcd.print("ORIENTADOR:");
82   lcd.setCursor(1,1);  lcd.print("GUILHERME J. SERAS");
83   lcd.setCursor(4,3);  lcd.print("FARUS - 2017");
84   delay(5000);
85   lcd.clear();
86   lcd.setCursor(0,0);   lcd.print("DIAMETRO:");
87   lcd.setCursor(10,0); lcd.print(DiametroOH,2);
88   lcd.setCursor(16,0); lcd.print("mm");
89   lcd.setCursor(0,1);  lcd.print("FLUIDO: AGUA");
90   lcd.setCursor(2,3);  lcd.print("INICIALIZANDO...");
91   delay(5000);
92   lcd.clear();
93 }

```

Números de linha para referência

APÊNDICE C – MANUAL DE OPERAÇÃO DO PRODUTO

APRESENTAÇÃO



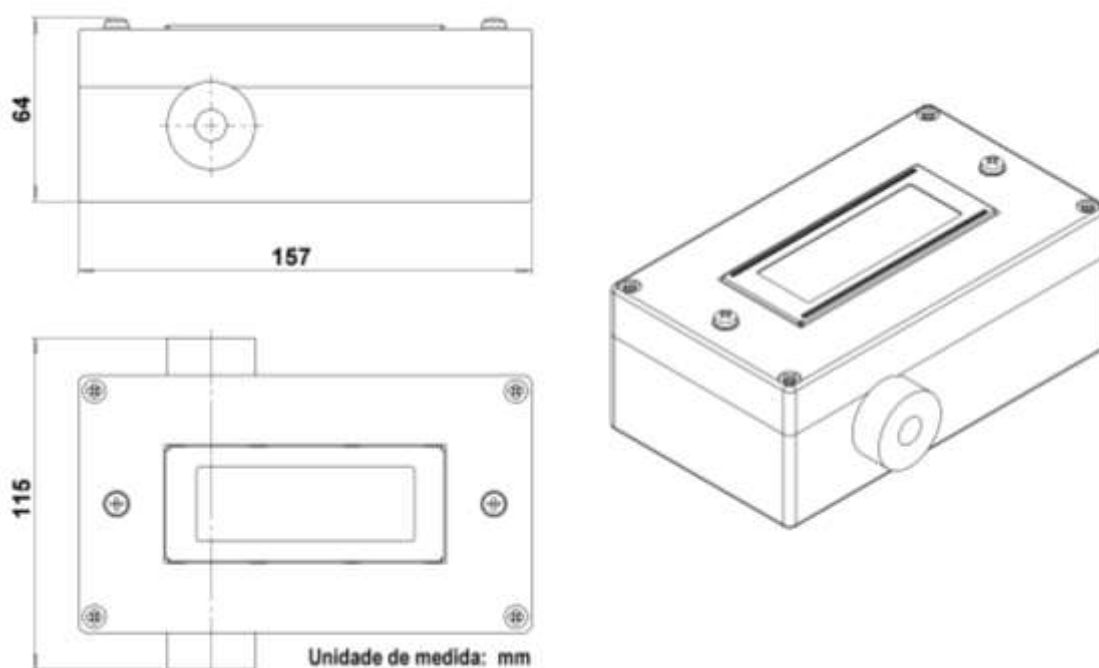
Este manual tem o objetivo de orientar sobre as melhores práticas durante a operação do dispositivo projetado durante o trabalho final de curso intitulado “PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE ESCOAMENTO NO INTERIOR DE TUBULAÇÕES”, de autoria de Augusto Marcel Garbrecht, apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob orientação do Professor Me. Guilherme Jost Beras.

O produto alvo deste manual é um dispositivo eletrônico capaz de determinar o regime de escoamento da água no interior de tubulações de perfil circular com 20,0 mm de diâmetro interno, sendo este dotado de uma tela para informação do usuário, um sensor de fluxo para medição da vazão e uma placa Arduino para processamento dos dados.

- **Criado por:** Augusto Marcel Garbrecht
- **Revisado por:** Guilherme Jost Beras
- **Revisão:** 01
- **Data:** 13 de Outubro de 2017

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

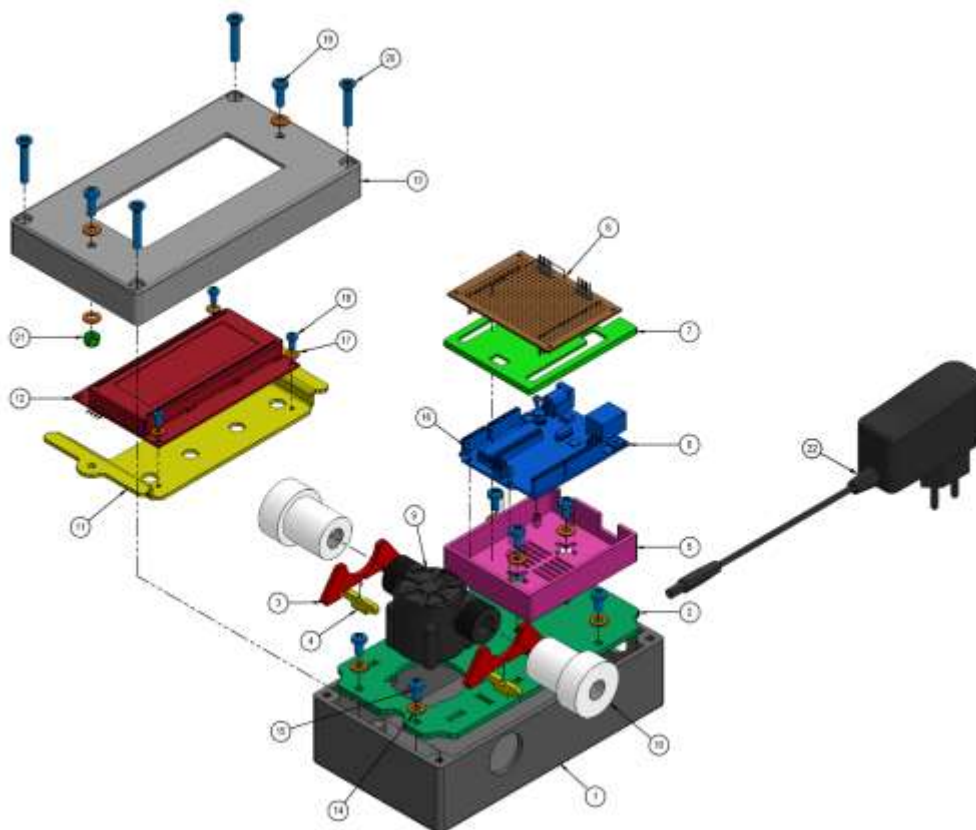
1. **Capacidade de vazão:** 1,0 L/min a 30,0 L/min
2. **Pressão máxima:** 2,0 MPa
3. **Precisão da leitura:** 90%
4. **Tensão de alimentação recomendada:** 9,0 V
5. **Tensão de alimentação limite:** 5,0 a 12,0 V
6. **Peso do dispositivo:** 0,5 kg
7. **Dimensões:**



ATENÇÃO

**NÃO UTILIZAR FONTE DE
ALIMENTAÇÃO COM
TENSÃO DE SAÍDA
SUPERIOR A 12 V**

LISTA DE COMPONENTES



#	Descrição	Quantidade
1	Corpo Inferior	1
2	Base	1
3	Suporte da Luva	2
4	Reforço	2
5	Case Arduino Inferior	1
6	Arduino UNO R3	1
7	Case Arduino Superior	1
8	Circuito Eletrônico	1
9	Sensor de Fluxo de Água YF-S201	1
10	Luva	2
11	Suporte do Display	1
12	Display LCD 20x4 I2C	1
13	Corpo Superior	1
14	Arruela Lisa M4	10
15	Parafuso Máquina M4x8	6
16	Parafuso M2x5 com Flange	3
17	Arruela Lisa M3	3
18	Parafuso Máquina M3x6	3
19	Parafuso Máquina M4x12	2
20	Parafuso Máquina M4x25	4
21	Porca Sextavada Auto Travante M4	2
22	Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4	1

INSTRUÇÕES PARA OPERAÇÃO

Para o correto funcionamento do produto são necessárias duas operações para sua instalação e duas operações para colocá-lo em funcionamento, devendo se seguida a seguinte sequência:

1. Conectar o dispositivo à tubulação de entrada do fluxo;
2. Conectar o dispositivo à tubulação de saída do fluxo;
3. Conectar o dispositivo à fonte de alimentação;
4. Liberar a passagem de fluxo pelo dispositivo.

Passo 01: Conectar o dispositivo à tubulação de entrada do fluxo

A região de entrada do dispositivo conta com uma conexão dotada de rosca interna ½”, no entanto, devido às características da tubulação, pode se fazer necessário o uso de adaptadores para promover a conexão entre esta e o dispositivo, como, por exemplo, luvas e flanges.

A região de entrada do fluxo no dispositivo encontra-se em sua parte superior e está identificada da seguinte forma:



Passo 02: Conectar o dispositivo à tubulação de saída do fluxo

A conexão presente na região de saída do dispositivo é idêntica à de entrada, assim, os procedimentos para sua instalação são os mesmos do Passo 01. A região de saída do fluxo encontra-se na parte inferior do dispositivo e conta com a seguinte identificação:



Recomendações gerais para os Passos 01 e 02

- Vedar as conexões roscadas com fita veda rosca;
- Não realizar esforços extremos durante o aperto da conexão;
- Nos casos que for necessário o uso de adaptadores para promover a conexão entre dispositivo e tubulações, fazer uso de componentes com rosca correspondente à presente no dispositivo;
- Observar para não inverter o sentido do fluxo que passa pelo dispositivo.

ATENÇÃO

**NÃO UTILIZAR FLUIDO
DIFERENTE DE ÁGUA**

Passo 03: Conectar o dispositivo à fonte de alimentação

O dispositivo pode ser energizado de duas formas diferentes: através de sua porta USB, ou através de seu conector para fontes de alimentação com Plug P4. A região de conexão do dispositivo à fonte de alimentação fica no lado direito do dispositivo, conforme imagem abaixo.



O dispositivo foi concebido para ser utilizado junto com uma fonte de alimentação de tensão 9,0 V e corrente contínua, que acompanha o produto, e deve ser conectada à região de conexão por Plug P4. No entanto, caso se faça necessário utilizar o dispositivo conectado a um computador, pode ser utilizada sua porta USB para alimentá-lo.

Assim que conectado à fonte de alimentação o dispositivo será iniciado automaticamente, cabendo ao usuário apenas realizar a leitura das informações que lhe serão apresentadas.

ATENÇÃO

**NÃO UTILIZAR FONTE DE
ALIMENTAÇÃO COM
TENSÃO DE SAÍDA
SUPERIOR A 12 V**

Passo 04: Liberar a passagem de fluxo pelo dispositivo

A passagem do fluxo pelo dispositivo deve ser iniciada somente após este ter sido iniciado. De uma forma geral recomenda-se:

- Verificar a vedação de todas as conexões;
- Verificar se o dispositivo já foi iniciado;
- Não iniciar a passagem de fluxo de maneira abrupta, isto é, aumentar a vazão do escoamento de maneira lenta e gradual;
- Monitorar a vazão que passa pelo dispositivo, de modo que esta não exceda os 30,0 L/min;
- Caso forem constatados vazamentos, o escoamento deve ser bloqueado e o dispositivo desligado;
- Ainda no caso de vazamentos, após desligar o dispositivo, deve-se procurar a região de vazamento e realizar a vedação apropriada.

INSTRUÇÕES PARA INTERPRETAÇÃO DA LEITURA

A tela presente no dispositivo, através da qual são apresentadas as informações ao usuário, é composta por quatro linhas de texto, sendo que cada linha mostra uma informação específica, conforme mostra a imagem abaixo.



ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA YF-S201

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
Flow Range 100L/H-1800H-L/H		
Flow (L/H)	Freqz (HZ)	Error range
120	16	±10
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	

Connection method:

YIFA the plastics Ltd
Product Introduction

- Model: YF-S21
- Product: Non-stall sensor
- Flow Range: 1-30L/MIN
- (1) Connection Method:

(2) Voltage Range: 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: F=7Q(L/MIN)
 Coefficient of error: ±5%
 (4) Flow-Pulse:
 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5. BOM

No.	Item	Material	Qty
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Holt		1
8	Impeller	POM	1
9	Stainless steel axis	SUS304	1
10			
11			

ANEXO B – PROPRIEDADES DA ÁGUA (UNIDADES SI)

Tabela A.8 Propriedades da Água (Unidades SI)

Temperatura, T (°C)	Massa Específica, ρ (kg/m ³)	Viscosidade Dinâmica, μ (N · s/m ²)	Viscosidade Cinemática, ν (m ² /s)	Tensão Superficial, σ (N/m)	Pressão de Vapor, p_v (kPa)	Módulo de Compressibilidade, E_v (GPa)
0	1000	1,76E-03	1,76E-06	0,0757	0,661	2,01
5	1000	1,51E-03	1,51E-06	0,0749	0,872	
10	1000	1,30E-03	1,30E-06	0,0742	1,23	
15	999	1,14E-03	1,14E-06	0,0735	1,71	
20	998	1,01E-03	1,01E-06	0,0727	2,34	2,21
25	997	8,93E-04	8,96E-07	0,0720	3,17	
30	996	8,00E-04	8,03E-07	0,0712	4,25	
35	994	7,21E-04	7,25E-07	0,0704	5,63	
40	992	6,53E-04	6,59E-07	0,0696	7,38	
45	990	5,95E-04	6,02E-07	0,0688	9,59	
50	988	5,46E-04	5,52E-07	0,0679	12,4	2,29
55	986	5,02E-04	5,09E-07	0,0671	15,8	
60	983	4,64E-04	4,72E-07	0,0662	19,9	
65	980	4,31E-04	4,40E-07	0,0654	25,0	
70	978	4,01E-04	4,10E-07	0,0645	31,2	
75	975	3,75E-04	3,85E-07	0,0636	38,6	
80	972	3,52E-04	3,62E-07	0,0627	47,4	
85	969	3,31E-04	3,41E-07	0,0618	57,8	
90	965	3,12E-04	3,23E-07	0,0608	70,1	2,12
95	962	2,95E-04	3,06E-07	0,0599	84,6	
100	958	2,79E-04	2,92E-07	0,0589	101	

Fonte: Fox (2006, p. 719).