

CENTRO UNIVERSITÁRIO TERESA D'ÁVILA
MESTRADO PROFISSIONAL EM DESIGN, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

CRISTIANO AUGUSTO CUNHA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA METODOLOGIA
DE DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO**

**LORENA
2017**

CRISTIANO AUGUSTO CUNHA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA METODOLOGIA
DE DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação – Stricto Sensu – Mestrado Profissional em Design, Tecnologia e Inovação. Centro Universitário Teresa D'Ávila, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design, Tecnologia e Inovação. Área de concentração – Design, Tecnologia e Inovação. Linha de pesquisa: Projeto de Produto.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro
CO-ORIENTADOR: Prof. Me. Adriano José Sorbile

**LORENA
2017**

S586d

Silva, Cristiano Augusto Cunha
Desenvolvimento de produto aerogerador de
pequeno porte para geração de energia elétrica por
meio da metodologia de design centrado no usuário/
Cristiano Augusto Cunha Silva, orientado por Rosinei
Batista Ribeiro, Adriano José Sorbille, Lorena,
UNIFATEA, 2017.
82 páginas

1. Aerogerador. 2. Design de produto. 3. Energia
Renovável

I. Desenvolvimento de produto aerogerador de
pequeno porte para geração de energia elétrica por
meio da metodologia de design centrado no usuário
II. Rosinei Batista Ribeiro

CDU-658.512.2

Cristiano Augusto Cunha Silva

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO AEROGERADOR DE
PEQUENO PORTE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
POR MEIO DA METODOLOGIA DE DESIGN CENTRADO NO
USUÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação - Stricto Sensu - Mestrado Profissional em Design, Tecnologia e Inovação. Centro Universitário Teresa D'Ávila, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Mestre em Design, Tecnologia e Inovação.

Orientador: Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro

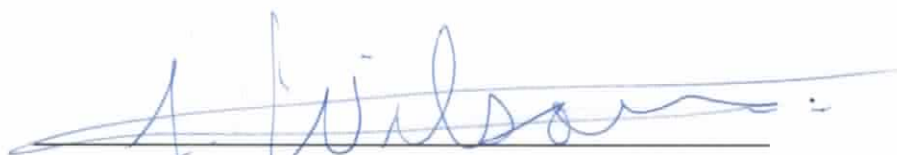
Data: 04/ agosto / 2017

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro (Orientador)
Centro Universitário Teresa D'Ávila / UNIFATEA



Prof. Dr. José Wilson de Jesus Silva
Centro Universitário Teresa D'Ávila / UNIFATEA



Prof. Dr. Emerson Augusto Raymundo
FATEC – Pindamonhangaba/SP

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho só foi possível graças ao apoio de meus orientadores Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro, Prof. Me. Adriano José Sorbille e Prof. Dr. Jorge Luiz Rosa que acreditaram no trabalho mesmo nos momentos mais conturbados, sempre estendendo a mão de forma amigável, muitas vezes ultrapassando suas obrigações como professores e atuando como verdadeiros amigos.

Desde 2007, quando iniciei minha graduação em Desenho Industrial na então Faculdades Integradas Teresa D'Ávila, até agora, com o Mestrado no Centro Universitário Teresa D'Ávila, tive momentos de grande aprendizado e desenvolvimento com estes grandes amigos e principalmente professores pelos quais tenho grande admiração.

Agradeço a todos os amigos que atuaram para a conclusão deste trabalho de forma muito especial. Ao Prof. Me. Paulo Pina na confecção do mockup, à Profa. Me. Bianca Martins e ao Prof. Dr. José Wilson de Jesus Silva, que no último minuto me agradeceu com sua ajuda e apoio, também agradeço à excelente profissional Renata Gaspar que sempre me atendeu com um sorriso sincero no rosto e um profissionalismo nunca visto antes.

A todos estes profissionais que passaram pelo meu processo de aprendizagem e crescimento profissional, o meu muito obrigado, espero algum dia poder retribuir todo o apoio e conhecimento compartilhado ao longo destes anos.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha amada Paula Mayumi Hashimoto, a quem admiro muito e que me influenciou profundamente, estando sempre ao meu lado, apoiando e participando de cada etapa dos trabalhos até o último segundo.

Obrigado Mayumi por fazer parte desta jornada e principalmente da minha vida.

RESUMO

O uso de energia elétrica é grande responsável pelo desenvolvimento humano-tecnológico, no entanto há a necessidade de suprir esta demanda energética se utilizando de opções que proporcionem menores intervenções ambientais e sociais. O uso da energia eólica proporciona uma maior capacidade de geração elétrica em comparação à energia fotovoltaica, possuindo menor impacto ambiental dentre as chamadas energias renováveis. A presente proposta tem por finalidade adequar estéticamente e funcionalmente uma turbina eólica para aplicação em centros urbanos, de modo a suprir a demanda energética residencial. O método utilizado consta do design de produto centrado no usuário; análise de similares; levantamento de fluxos de vento nas cidades de Cruzeiro/SP e São Sebastião/SP; processos de virtualização via CAD; criação de mockups e elementos finitos para análise de tensão. Construiu-se uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais em busca de informações sobre o nicho de mercado no Brasil e a utilização de técnicas de desenvolvimento de produto e ecodesign. O resultado final demonstrou que com a utilização de técnicas de design é possível desenvolver um aerogerador que atenda aos anseios dos usuários e capaz de suportar ventos de 40m/s. Assim, abrindo possibilidades na busca pelo desenvolvimento de um aerogerador de pequeno porte, com relevância para o desenvolvimento tecnológico nacional.

Palavras-chave: aerogerador; projeto de produto; energia eólica; ecodesign

ABSTRACT

Electric energy has been greatly responsible for human and technology development, however, there is the constant need to fulfill that demand by means that bring fewer environmental and social interventions. The use of wind energy provides higher electric generation capacity when compared to photovoltaic energy and a lower environmental impact among the so-called renewable energies. This present work's objective is to adapt aesthetically and functionally a wind turbine for application in urban centers, in order to supply the residential demand for electric energy. Used method includes user-centered design; benchmarking; wind flow analysis at Cruzeiro and São Sebastião, both cities located at São Paulo state; virtualization process through CAD software; mock up development; and finite element method for tension analysis. Bibliographic research was made considering Brazilian journals that spoke about that specific market at Brazil and product development and ecodesign techniques. Final results demonstrated that it is possible to develop a wind turbine that satisfies the users' needs and is capable of enduring up to 40 m/s. That opens possibilities in the search for small wind turbines development, relevant to the Brazilian technologic development.

Keywords: wind turbine; product design; wind energy; ecodesign

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Principais motivadores de compra do APP.	15
Figura 2. Roda de Eco-concepção – para produtos ecologicamente corretos	21
Figura 3. Evolução da participação das fontes renováveis no mercado de energia no Brasil.	24
Figura 4. Demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia no Brasil.	27
Figura 5. Organização do trabalho	30
Figura 6. Mapa de localização das estações meteorológicas (ELAT-CCST/INPE)...	23
Figura 7. Cidade de Cruzeiro, SP	23
Figura 8. Cidade de São Sebastião, SP	23
Figura 9. Aerogerador de eixo vertical Galé	32
Figura 10. Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).....	34
Figura 11. Windspire Technology (Windspire 200).....	35
Figura 12. Shanghai Aeolus Windpower Technology (SAWT P-10).....	37
Figura 13. Características base do projeto de APP.....	41
Figura 14. Processo criativo (suporte e sistema de fixação do APP).....	42
Figura 15. Sistema de cavidade do eixo.	43
Figura 16. Sistema de ranhura pá/suporte.	43
Figura 17. Ângulo de ataque da pá do APP	43
Figura 18. Seção transversal do APP.	43
Figura 19. Sistema de fixação pá/suporte do APP	44
Figura 20. Restrição física do processo de montagem entre a base e o perfil aerodinâmico do APP.....	45
Figura 21. Restrição semântica do processo de montagem entre a base e o perfil aerodinâmico do APP.....	46
Figura 22. Sistema de montagem do APP.	47
Figura 23. Duração de vida das embalagens alimentares.	48
Figura 24. Máquina CNC de corte a laser para construção do perfil aerodinâmico do APP	49

Figura 25. Perfil aerodinâmico do APP após impressão na máquina CNC.....	50
Figura 26. Gabarito de furação para a unidade de curvatura.....	51
Figura 27. União para confecção do gabarito de curvatura.....	51
Figura 28. Marcação do ângulo de curvatura.....	51
Figura 29. Corte do ângulo de curvatura.....	51
Figura 30. Gabarito de curvatura para ângulo de ataque da pá do APP.....	52
Figura 31. Preparação do ângulo de curvatura.....	52
Figura 32. Gabarito do ângulo de curvatura.....	52
Figura 33. Início do empilhamento parte 1.....	53
Figura 34. Empilhamento visualizado por outro ângulo.....	53
Figura 35. Formação da curvatura.....	53
Figura 36. Ângulo de ataque finalizado.....	53
Figura 37. Início do empilhamento parte 2.....	54
Figura 38. Empilhamento.....	54
Figura 39. Formação da curvatura.....	54
Figura 40. Ângulo de ataque.....	54
Figura 41. Molde em fibra de vidro.....	55
Figura 42. Geometria completa do APP.....	56
Figura 43. Pontos de fixação das peças do APP.....	56
Figura 44. Malha da pá do APP.....	56
Figura 45. Tensão Von Mises na malha da pá do APP.....	57
Figura 46. Ampliação do local de maior estresse.....	58
Figura 47. Análise da distribuição da tensão Von Mises.....	59
Figura 48. Demonstração do deslocamento de pouco mais de 11mm.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Motivação de compra de APP.....	18
Tabela 2. Disposição de investimento para aquisição de APP.....	18
Tabela 3. Oferta interna dos tipos de geração de energia elétrica no Brasil.	25
Tabela 4. Resultados das projeções de emissões de GEE por setor no Brasil.....	26
Tabela 5. Número de consumidores e consumo de energia dos locais de estudo....	24
Tabela 6. Dado populacional das cidades de Cruzeiro e São Sebastião.	24
Tabela 7. Análise de similar - Aerogerador de eixo vertical Galé.....	33
Tabela 8. Análise de similar - Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).....	34
Tabela 9. Análise de similar - Windspire Technology (Windspire 200).....	36
Tabela 10. Análise de similar - Shanghai Aeolus Windpower Technology (SAWT P-10).....	37

LISTA DE SIGLAS

ACV – Análise de Ciclo de Vida

APP – Aerogerador de Pequeno Porte

CCST – Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Cepel – Centro de pesquisa em energia elétrica

EPE – Empresa de Pesquisa em Energia

GEE – Gases de Efeito Estufa

Gw/h – Gigawatts hora

Kw - Kilowatts

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

tep – Tonelada equivalente do petróleo

PNE – Plano Nacional de Energia

MEF – Método dos Elementos Finitos

PET - Polietileno Terafitalato

Sumário

1. Introdução.....	14
2. Objetivo.....	16
3. Revisão Bibliográfica	17
3.1 Contexto e a realidade investigada.....	17
3.2 Ecodesign	19
3.3 Durabilidade.....	21
3.4 Plano Nacional de Energia 2030	23
4. Materiais e métodos.....	28
4.1 Plano de desenvolvimento do projeto.....	28
4.2 Local de estudo	22
4.3 Método dos Elementos finitos.....	25
4.4 Mapa Mental.....	27
4.5 Técnica de Análise de Similares Matriz GUT.....	28
4.6 Tensão Von Mises e cálculo de vento	30
5. Desenvolvimento do produto	32
5.1 Análise de Similares Matriz GUT	32
5.1.1 Análise dos Resultados da Matriz GUT.....	38
5.1.2 Análise global.....	40
5.2 Sketches	40
5.3 Restrição física	44
5.4 Restrição semântica	45
5.5 Desenho técnico	46

5.6 Seleção de Materiais	47
5.7 Desenvolvimento do mockup.....	49
5.8 Modelagem 3D	55
6. Análise de resultados	57
6.2 Resultados Tensão de Von Mises	57
7. Considerações finais	60
Referências	61
Apêndice	63
Apêndice A – Mapa Mental – Processo De Pesquisa.....	63
Apêndice B – Desenvolvimento de Produto.....	64
Apêndice C – Detalhamento do Conjunto APP.....	65

1. Introdução

O mercado de geração de energia elétrica distribuída no Brasil vem ganhando importância desde o ano de 2012, principalmente após a publicação da Resolução Normativa nº482 de abril do mesmo ano (ANEEL, 2012), que contempla as regras para o mercado de geração descentralizada, norteados possíveis empreendimentos no setor.

Adotou-se as seguintes definições para o mercado de geração descentralizada¹:

I. Microgeração: unidades com potência instalada menor ou igual a 100 kW, conectadas à rede de distribuição por meio de uma unidade consumidora.

II. Minigeração: unidades com potência instalada menor ou igual a 1MW, conectadas à rede de distribuição por meio de uma unidade consumidora.

III. Como fonte geradora de energia elétrica os meios: hidráulico, solar, eólico, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL.

IV. Sistema de compensação de energia elétrica: sistema em que a energia ativa (gerada) pela unidade consumidora por meio de microgeração ou minigeração é cedida na forma de empréstimo gratuito à distribuidora local, que, por sua vez, efetua o desconto, compensando na forma de créditos a unidade consumidora em que foi gerada a energia elétrica. Estes créditos podem ser utilizados na mesma unidade geradora ou em outra unidade consumidora, desde que devidamente registrada no mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) de mesma titularidade da unidade geradora.

Segundo pesquisa realizada pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), por meio da solicitação no Ministério de Minas e Energia (MME), a geração de energia elétrica descentralizada utilizando aerogeradores de pequeno porte (APP) no Brasil ainda é muito embrionária (PEREIRA *et al*, 2015). O que traz grandes desafios no que diz respeito ao desenvolvimento de produtos para este

¹ Todas as informações numeradas (I a IV) constam da consulta à Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012).

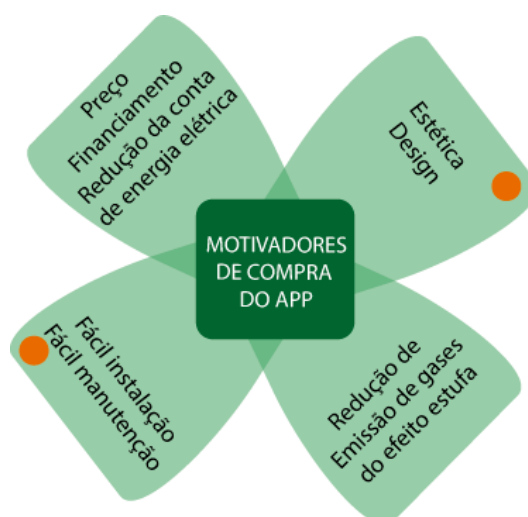
nicho de mercado, devido à grande incipiência de informações nacionais a este respeito.

Por outro lado, uma segunda pesquisa realizada pelo Cepel (PEREIRA *et al*, 2015) demonstra uma grande aceitação por parte do público em geral para este tipo de produto, com potencial de crescimento do segmento de geração de energia elétrica utilizando APP a médio prazo.

Segmento este fortemente influenciado pelas recentes mudanças realizadas no setor de geração de energia elétrica distribuída após a publicação da Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), que, por sua vez, classifica a geração de energia elétrica por fonte eólica como uma alternativa para a geração descentralizada.

A pesquisa anteriormente mencionada (PEREIRA *et al*, 2015) apresenta quais são os fatores de aceitação do consumidor final para a aquisição deste tipo de produto. A Figura 1 demonstra os dados obtidos, apontando dois elementos estratégicos (marcados com círculos de cor laranja na figura) de motivação para a compra de um APP.

Figura 1. Principais motivadores de compra do APP.



Fonte: adaptado de Pereira *et al* (2015), os círculos sendo nossas modificações.

Estes dois elementos destacados na Figura 1 (“Estética/Design” e “Fácil instalação/Fácil manutenção”) podem ser diretamente influenciados por designers. Não apenas na questão estética, ou seja, aquilo que é percebido como belo, mas

também na aplicação de elementos e técnicas de desenvolvimento de produto centrado no usuário. Norman (2006) traz que: “Design apropriado e centrado no humano exige que todas as considerações sejam observadas desde o princípio.” (NORMAN, 2006, p. 15). Desta forma, os designers atuam no desenvolvimento de projetos buscando melhorias como na resistência mecânica, redução de custos de fabricação e manutenção.

A produção de energia elétrica APP se justifica pelo seu baixo custo de transmissão e produção. Ao produzir energia elétrica próxima ao seu centro de consumo, evita-se a necessidade da construção de linhas de transmissão, evitando a perda do potencial gerado durante seu processo de transmissão (GIANNINI *et al*, 2013). Giannini *et al* (2013) trazem uma contextualização ao mercado de energia eólica de pequeno porte no mercado brasileiro:

Apesar da matriz elétrica brasileira possuir um perfil diferenciado quando comparada aos padrões dos países desenvolvidos, havendo majoritariamente a participação das renováveis, é salutar a continuidade dos esforços de fomento às fontes renováveis de energia no país [...] em particular na energia eólica de pequeno porte e considerando, ainda, seus desdobramentos positivos na consolidação de uma indústria nacional de baixo carbono, associando inovação e geração de emprego (GIANNINI *et al*, 2013, p. 2).

O uso da energia eólica proporciona uma maior capacidade de geração em relação à energia fotovoltaica e um menor impacto ambiental dentre as chamadas energias renováveis (GIANNINI *et al*, 2013).

Assim, a busca pelo desenvolvimento de um APP é relevante para o desenvolvimento tecnológico nacional.

2. Objetivo

- Desenvolver um modelo de estrutura básica para APP para a geração de energia elétrica de forma descentralizada em ambientes urbanos.

3. Revisão Bibliográfica

Nesta seção do trabalho, mapeou-se o contexto do segmento de geração de energia elétrica no mercado brasileiro, permeando as pesquisas recentes referentes ao interesse relativo ao uso e investimento de APP (ainda que em fase de amadurecimento no mercado); os princípios do ecodesign que foram utilizados ao longo do desenvolvimento do produto, incluindo nisso o direcionamento voltado à durabilidade do produto, e o Plano Nacional de Energia 2030, para situar a realidade energética que se espera para os próximos anos.

3.1 Contexto e a realidade investigada

Conforme dados e informações apresentados pelo Cepel (PEREIRA *et al*, 2015), o mercado de APP no Brasil ainda está em fase de amadurecimento, tanto no que se refere a empresas fabricantes deste equipamento, como na pesquisa e desenvolvimento dos mesmos.

Este fator se dá pela falta de informações e estudos referente ao comportamento do fluxo de ventos em regiões urbanas e de baixa altitude (PEREIRA *et al*, 2015).

No ano de 2013, o MME solicitou ao CEPEL a realização de uma pesquisa de modo a identificar o potencial mercadológico para aerogeradores de pequeno porte no Brasil (GIANNINI *et al*, 2013).

A pesquisa teve como objetivo identificar fatores determinantes que influenciam na decisão de compra na aquisição de um APP pelo consumidor final.

De acordo com as informações publicadas, 74% dos pesquisados possuem interesse na aquisição do equipamento, indicando um horizonte positivo ao fomento desta tecnologia a médio prazo (GIANNINI *et al*, 2013)².

² Considerando que as informações sobre o segmento em âmbito nacional são incipientes, a pesquisa do Cepel não chegou a abordar questões como modelos, marcas ou potencial de geração, apenas focando no interesse em adquirir ou não o equipamento, o APP. Para mais informações consultar a pesquisa de Giannini *et al* (2013).

Tabela 1. Motivação de compra de APP.

Motivação	%
Redução na conta de energia elétrica	54
Redução de emissão de gases de efeito estufa	18
Preço	8
Fácil instalação e manutenção	4
Independência energética	4
Pesquisa	4
Geração distribuída	2
Backup da rede básica	2
Estratégico	2
Interesse pessoal	2

Fonte: adaptado de Pereira *et al* (2015).

Na Tabela 1 demonstra-se o resultado da pesquisa, centrando-se na motivação da compra de APP, realizada entre 2013 e 2015³. Nota-se que a maior parte dos pesquisados (54%) ressaltou que a maior motivação na compra de um APP seria a de obter a redução na conta de energia elétrica. Na Tabela 2, a seguir, indica-se a disponibilidade de investimentos dos consumidores em potencial.

Tabela 2. Disposição de investimento para aquisição de APP.

Investimento	%
Até R\$ 10.000	61,2
R\$ 10.000 até 15.000	8,2
R\$ 15.000 até 30.000	8,2
R\$ 30.000 até 60.000	2,0
R\$ 60.000 até 100.000	0,0
R\$ 100.000 até 1.000.000	2,0
Não sei / Não quero responder	18,4

Fonte: adaptado de Pereira *et al* (2015).

³ Esses resultados são baseados nas respostas de 67 questionários disponibilizados para preenchimento online através de um *minisite*, para informações detalhadas sobre o processo da pesquisa e tratamento dos dados consultar Pereira *et al* (2015).

Na Tabela 2 demonstra-se a possibilidade de investimentos na aquisição de um APP por consumidores em potencial (também embasados nas respostas dos questionários de Pereira *et al* (2015)), destacando-se que a maior parte dos consumidores encara a compra de um APP como investimento, com 61,2% declarando que concordariam em investir até 10 mil reais.

3.2 Ecodesign

Quando se fala sobre produtos ecologicamente corretos ou ecológicos muitas vezes leva-se em consideração apenas o produto em si, não analisando seu contexto como um todo. Com essa visão em mente é possível exemplificar o APP de maneira simples: como um produto que visa gerar energia limpa e barata de forma descentralizada para uma residência urbana.

A exigência ambiental estimula a criatividade e pode estar na origem de maiores evoluções: maiores funcionalidades, novos materiais, novas tecnologias, novos usos [...] (KAZAZIAN, 2005, p. 36).

Aldabó (2002, p. 105) menciona que: “Conservar o meio ambiente é uma forma de valorizar o homem em todos os aspectos, desenvolvendo condições para a qualidade de vida.”.

Ainda segundo o mesmo autor, “O desenvolvimento sustentável tem como meta a conservação da natureza, visando manter a capacidade do planeta para suportar o desenvolvimento [...]” (ALDABÓ, 2002, p. 107), este deve atender às necessidades para o desenvolvimento humano e tecnológico, sem prejuízo às futuras gerações.

Aldabó (2002) apresenta também os principais questionamentos entre a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias e os aspectos socioambientais (Quadro 1).

Quadro 1. Questionamentos socioambientais para o desenvolvimento de produto.

Engenharia	Socioambiental
Determinística	Probabilística
Orientada por tarefa	Orientada por finalidade
Dedutiva	Indutiva
Objetiva	Subjetiva
Quantitativa	Qualitativa
Análise operacional	Análise da dinâmica do sistema
Análise do custo benefício	Análise por múltiplos atributos
Decisões tecnológicas	Sistemas alternativos
Utilização otimizada de recursos	Conservação da integridade socioambiental
Podemos fazer?	Devemos fazer?

Fonte: adaptado de Aldabó (2002).

É possível notar as diferenças inerentes dos dois pontos de vista apresentados no Quadro 1, por exemplo, enquanto a visão engenheira se volta à questões como análises quantitativas do produto, centrando-se no custo benefício envolvido, otimização do uso de recursos envolvidos e primando pela tecnologia utilizada, o enfoque socioambiental permeia questões como a finalidade do produto, realizando análises qualitativas, permeando múltiplos atributos envolvidos, primando a integridade socioambiental e buscando sistemas alternativos.

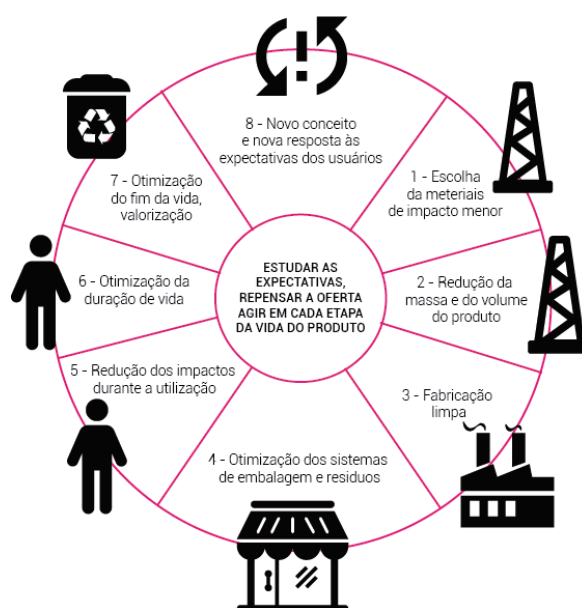
Custódio (2009) afirma que:

A instalação de usinas eólicas próximas a pequenos centros de carga, no interior, diminui as perdas elétricas na transmissão e sub-transmissão, aumenta a confiabilidade da região e estimula o aproveitamento dos recursos locais (CUSTÓDIO, 2009, p. 240).

Aplicando a metodologia do EcoDesign proposta por Kazazian (2005) é possível analisar de forma global questões pertinentes à criação de um produto menos agressivo ao meio ambiente, isso sendo possível por meio de aplicação da metodologia desde a concepção do projeto. Até a ideia básica deve ser pensada ecologicamente.

Um produto considerado ecologicamente correto é aquele que provê uma redução dos impactos, sendo eles ambientais ou sociais (Figura 2), mantendo as mesmas características técnicas do produto original, primando não alterar suas qualidades de funcionamento e desempenho (KAZAZIAN, 2005).

Figura 2. Roda de Eco-concepção – para produtos ecologicamente corretos



Fonte: adaptado de Kazazian (2005).

Na Figura 2 é possível observar a chamada Roda de Eco-Concepção (KAZAZIAN, 2005), que inicia com a escolha dos materiais de menor impacto (social e ambiental); redução da massa e volume do produto; fabricação limpa do mesmo; otimização de possíveis problemas relacionadas à embalagens e resíduos; redução dos impactos durante a utilização do produto; otimização da duração da vida do produto e do fim dessa vida; e por último um novo conceito centrado nas expectativas e necessidades dos usuários. Assim, esse processo cíclico permite o desenvolvimento de um produto ecologicamente correto desde sua gênese, abrindo margem inclusive para uma melhora contínua para futuras equipes de desenvolvimento.

3.3 Durabilidade

A durabilidade permite prolongar o tempo de vida útil de um produto. A estratégia desse prolongamento vem sendo muito utilizada pela economia verde e

consiste não apenas na aplicação de matérias primas de qualidade mas também em criar uma certa afinidade entre o usuário e o produto (COLTRO, 2007).

Outra característica da durabilidade é a possibilidade de melhorias e/ou substituição de peças e componentes do produto, deste modo prolongando seu tempo de vida útil.

Os objetivos ambientais relacionados à estratégia do produto são: o menor impacto ambiental; mantendo ou aumentando a funcionalidade do produto; conservação de recursos; reciclagem; recuperação de energia e prevenção da poluição; redução de resíduos e outros impactos ao meio ambiente (COLTRO, 2007).

Segundo o Centro de Tecnologia e Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos (COLTRO, 2007), as metodologias de desenvolvimento que objetivam metas econômicas, ambientais e sociais são delineadas pelas seguintes ações:

- Maior eficiência dos materiais (renováveis, recuperáveis, etc.);
- Maior eficiência energética (inclusive durante o uso, fontes renováveis, etc.);
- Uso da terra;
- Produção e uso mais limpo (evitando produtos perigosos, etc.);
- Durabilidade (longevidade, manutenção, reparo, etc.)
- Funcionalidade otimizada (modular, múltiplas funções, controles otimizados, etc.);
- Reuso, recuperação e reciclagem (desmontável, não complexos, recicláveis, etc.);
- Evitando substâncias perigosas (saúde, segurança, menor impacto ambiental, etc.) (COLTRO, 2007).

O conceito de durabilidade como apresentado foi utilizado na concepção do modelo de APP⁴.

3.4 Plano Nacional de Energia 2030

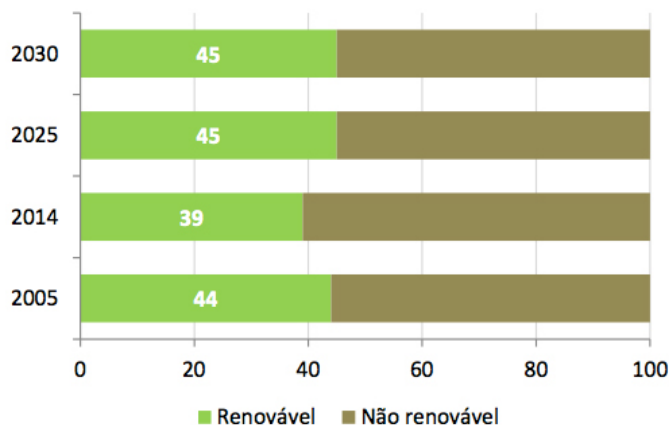
Considerando os esforços do Brasil na busca por uma melhor produção energética eficiente, na qual grande parte de sua matriz energética é composta de fontes renováveis, se comparado aos padrões internacionais o crescimento projetado para 2030 sugere um aumento no uso da energia (EPE, 2017).

O principal desafio do Brasil não está em aumentar a sua parcela de energias renováveis de sua matriz energética, mas em aumentar os níveis de energias solar e eólica, pois a energia hidráulica (considerada sustentável) representa mais de 65% da matriz (EPE, 2016). Apesar da energia hidráulica ser considerada uma matriz sustentável no que diz respeito ao seu principal elemento de geração elétrica, esta possui grandes desafios na gestão dos impactos de sua instalação, como a modificação do fluxo de rios, desapropriação de terras para a criação do lago da represa e seu elevado custo de construção e manutenção (EPE, 2017). Uma das grandes desvantagens de uma hidroelétrica está diretamente ligada à sua elevada distância entre o centro de consumo e a central geradora de energia elétrica, ocasionando outros custos como, por exemplo, linhas de transmissão e subestações de distribuição.

Segundo o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, “A eficiência energética é um dos mais importantes instrumentos da estratégia brasileira para reduzir o consumo de energia [...]” (EPE, 2017). O objetivo nacional é alcançar uma matriz energética mais equilibrada em relação às renováveis, conforme mostra a Figura 3.

⁴ No Capítulo 5 pode-se observar a implicação desse conceito em seus subsistemas de montagem, que consistem em três peças únicas que formam todo o conjunto do aerogerador, providenciando uma redução no custo de produção e principalmente fácil substituição de peças, também proporcionando um aumento no ciclo de vida do equipamento.

Figura 3. Evolução da participação das fontes renováveis no mercado de energia no Brasil.



Fonte: adaptado de EPE (2017).

É possível visualizar pela Figura 3 que em 2014, 39% das fontes de energia eram renováveis, e prevê-se se que a partir de 2025 já se tenha atingido 45% de participação de fontes renováveis, mantendo essa proporção até 2030.

Após o ano de 2014, em que se teve uma queda na geração energética nacional devido às condições hidrológicas desfavoráveis, outras fontes de energias renováveis tiveram maior visibilidade na matriz nacional (EPE, 2016). Estima-se que as fontes eólica, solar e outras, tenham um aumento equivalente a 20 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep) entre 2014 e 2025 e 29 milhões de tep entre 2014 e 2030. Entre 2025 e 2030 seu crescimento vem a superar a expansão de fonte hídrica na matriz nacional. A Tabela 3 apresenta as projeções deste crescimento.

Tabela 3. Oferta interna dos tipos de geração de energia elétrica no Brasil.

Fonte	2005	2014	2025	2030	2014-2025	2014-2030
					Acréscimo	
					Milhões de tep	
Energia Renovável	96.117	120.489	184.097	216.820	63.608	96.331
Hidráulica	32.379	35.019	53.209	59.949	18.190	24.930
Demais Renováveis	63.738	85.470	130.888	156.871	45.418	71.401
Bioenergia Sustentável	30.150	50.321	73.545	88.421	23.224	38.100
Derivados de cana	30.150	48.128	69.087	80.940	20.959	32.812
Óleo Vegetal (Biodiesel)	0	2.193	4.458	7.481	2.265	5.288
Eólica	8	1.050	7.898	8.989	6.848	7.939
Solar	0	0	1.075	3.056	1.075	3.056
Outras	5.112	9.370	21.037	27.383	11.667	18.013
Energia Não-Renovável	121.819	185.100	226.153	265.152	41.053	80.052
Total	217.936	305.589	410.240	481.972	104.651	176.383

Fonte: adaptado de EPE (2016).

Na Tabela 3 é possível observar o crescimento das fontes renováveis na matriz nacional, bem como o seu impacto na questão ambiental, uma vez que os dados apresentados são referentes à quantidade de petróleo necessária para suprir aquela demanda de geração de energia elétrica.

Com o crescimento da matriz energética e o aumento na demanda por energia elétrica, estima-se um crescimento na emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) até 2030, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados das projeções de emissões de GEE por setor no Brasil.

Setor	2005	2025	2030
	Milhões de toneladas de CO ₂ equivalentes		
Residencial	18	22	24
Comercial	2	3	3
Público	2	1	1
Industrial	87	130	156

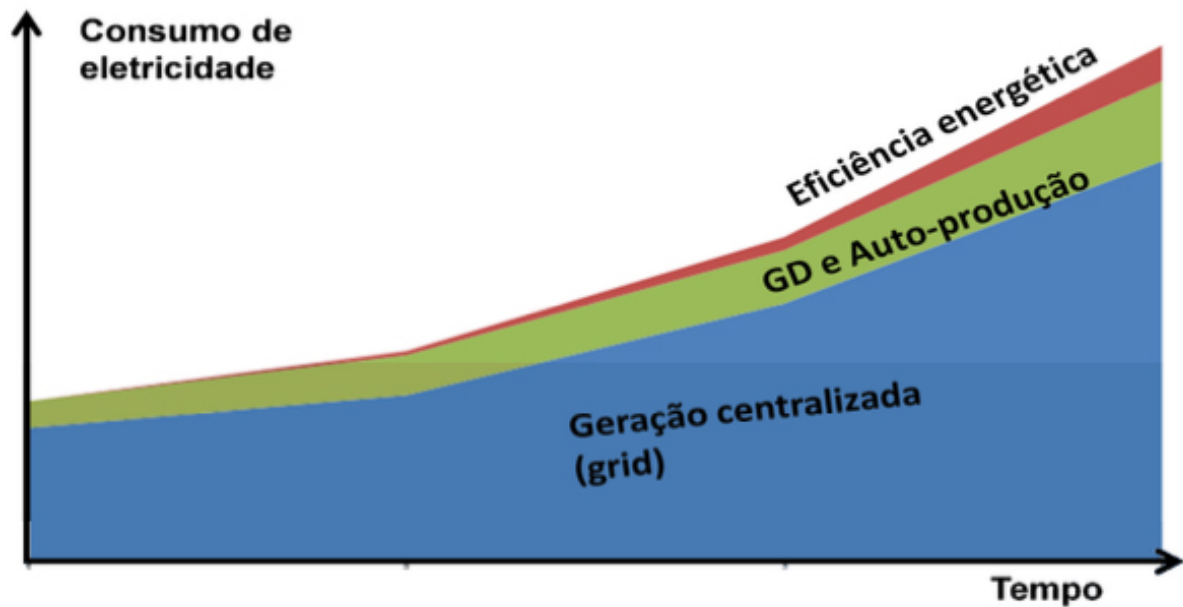
Fonte: adaptado de EPE (2016).

Com base nessas projeções, o Brasil assume dois grandes compromissos específicos no que concerne o uso de fontes renováveis, excluindo a fonte hidráulica, e foram estabelecidos da seguinte forma:

- i) Aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética para aproximadamente 18% até 2030;
- ii) Expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030 (EPE, 2016).

Com as mudanças no comportamento do consumidor final, como ações de eficiência energética, gerenciamento de carga e geração de energia descentralizada, surgiram pequenas unidades geradoras que resultaram na redução da necessidade da expansão de geração centralizada do País (EPE, 2016). Na Figura 4 é possível observar o impacto destas mudanças.

Figura 4. Demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia no Brasil.



Fonte: adaptado de EPE (2016).

É possível observar pela Figura 4 que, sem esta contribuição de eficiência energética e de geração distribuída, a demanda a ser atendida para geração centralizada de energia elétrica seria bem maior, ocasionando maiores investimentos.

4. Materiais e métodos

Para a realização das etapas de pesquisa, devido ao grande nível de interligações, foi utilizado um método de pesquisa não linear que possibilita a realização de uma gama ampla de análises em um curto período de tempo.

Nesta seção do trabalho se apresenta o plano de desenvolvimento do projeto e demais especificações; o local de estudo (as cidades de Cruzeiro e São Sebastião) e detalhamento populacional e relevância geográfica; o método dos elementos finitos para estimar tensões no produto desenvolvido; a técnica de mapa mental, utilizada para pensar as etapas e demais necessidades do desenvolvimento do APP; e a análise de similares matriz GUT, para tentar escrutinar os produtos similares e seus problemas e questionamentos.

4.1 Plano de desenvolvimento do projeto

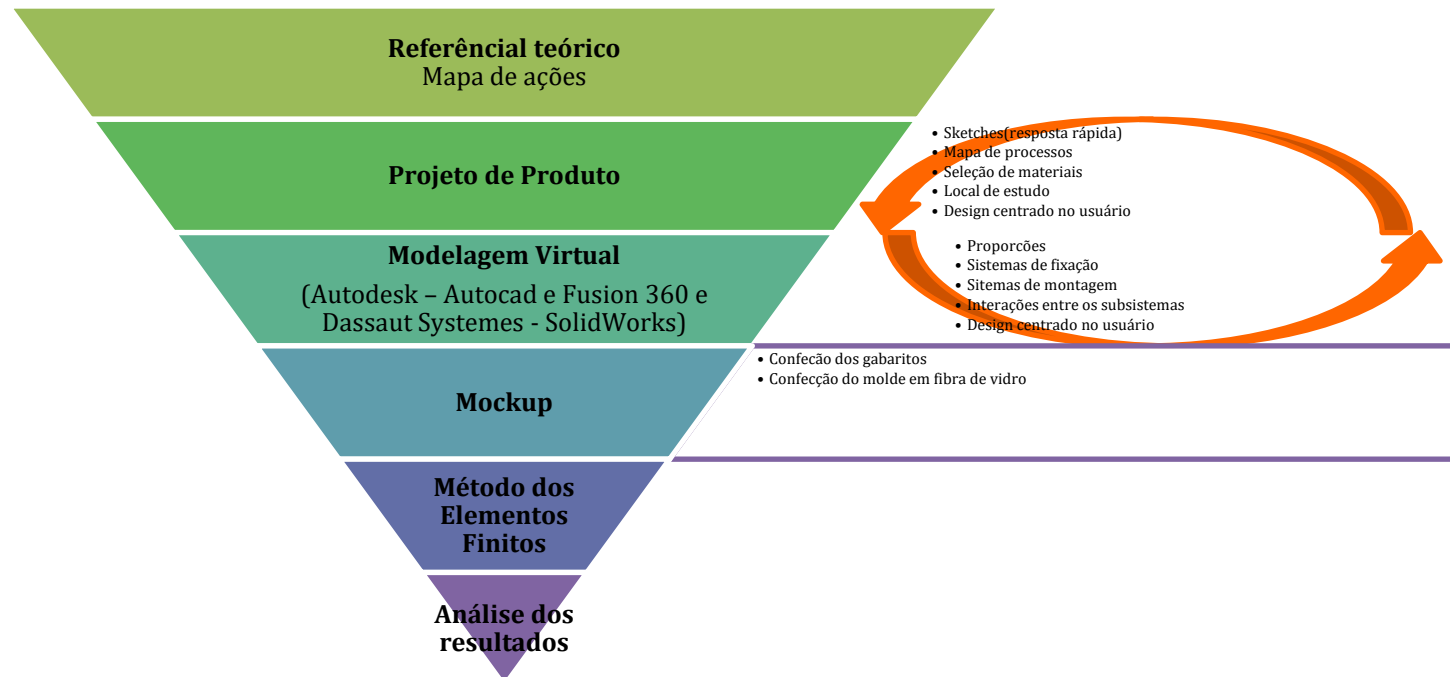
Para facilitar o entendimento do processo de pesquisa e desenvolvimento deste projeto, lista-se a seguir, de forma exemplificada, as etapas necessárias para sua realização.

- A. Desenvolvimento do mapa de ações:** visa o levantamento de todas as etapas necessárias para a realização do trabalho, identificando os pontos a serem analisados e suas interações. O objetivo é criar uma interface gráfica que possibilite a visualização de todas as etapas do início ao fim do projeto.
- B. Projeto de produto:** Nesta etapa é discutida a aplicação da ergonomia e técnicas de design centrado no usuário. Foram criados *sketches*, para uma maior facilidade no entendimento, com o intuito de desenvolver os subsistemas de montagem, forma e dimensão. Foi feito também o mapa de materiais e sistemas de fixação, que são informações que têm por objetivo orientar o Projeto de Desenvolvimento de Produto (PDP).
- C. Modelagem virtual:** Aprimoramento das alternativas realizadas na etapa anterior por meio da utilização do software da Autodesk – Autocad e

Fusion 360 e Dassaut Systems – SolidWorks que tem como principal característica identificar pontos de interação e fragilidade do produto.

Na Figura 5, é possível visualizar a organização dessas etapas até o momento da análise de resultados.

Figura 5. Organização do trabalho



Fonte: Autores (2017).

Na Figura 5, lista-se as etapas descritas anteriormente, o início constando do referencial teórico, para embasar as ações do trabalho, rumando para os estudos sobre o planejamento, PDP, modelagens do produto, criação de mockup, análise de resultados para avaliar e construir as considerações finais.

4.2 Local de estudo

A análise do local de estudo tem por objetivo estratificar e classificar o potencial eólico local das cidades de Cruzeiro e São Sebastião (Figuras 7 e 8). A escolha destas duas cidades se deu devido à localização geográfica das mesmas.

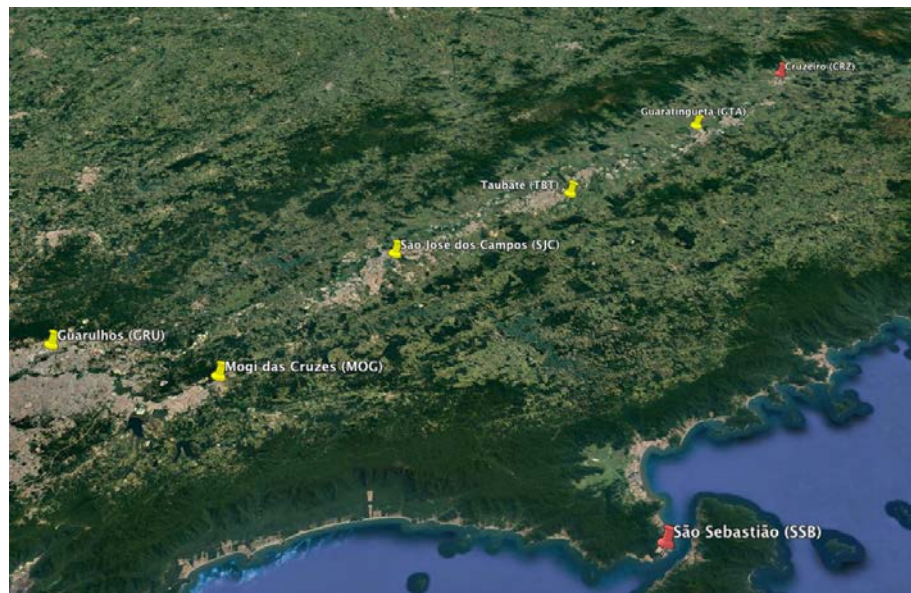
- **Cruzeiro:** localizada na região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, está localizada a aproximadamente 515 metros de altitude acima do nível do mar. Ao norte do município se encontra a Serra da Mantiqueira, proporcionando uma região de grande rugosidade⁵ no que diz respeito ao fluxo de vento local.
- **São Sebastião:** localizada no região do litoral norte, de frente para o mar, o que proporciona um fator de rugosidade extremamente baixo no que diz respeito ao fluxo de vento local.

As informações sobre o regime de ventos nas localidades acima citadas foram obtidas por meio das estações meteorológicas de coleta de dados instaladas pelo grupo de pesquisas em Eletricidade Atmosférica (ELAT), da Coordenação do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sediado na cidade de Cachoeira Paulista/SP. As estações anteriormente mencionadas estão localizadas conforme a Figura 6 (informação verbal)⁶.

⁵ A rugosidade do terreno é a influência da superfície deste e dos obstáculos, resultando num retardo do vento próximo ao solo. Entretanto, nem todos os elementos topográficos contribuem para a rugosidade. Vegetações e construções são exemplos de elementos de rugosidade, enquanto que longos morros lisos, por exemplo, não são, porque não provocam aumento da turbulência (Custódio, 2009).

⁶ As informações das coordenadas das estações foram passadas pelo Dr. Flávio de Carvalho Magina, responsável técnico pela instalação e manutenção dos equipamentos do INPE.

Figura 6. Mapa de localização das estações meteorológicas (ELAT-CCST/INPE).



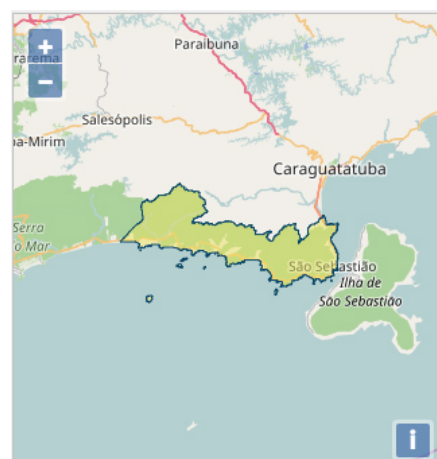
Fonte: autores com Google Maps (informação verbal)⁷.

Figura 7. Cidade de Cruzeiro, SP.



Fonte: adaptado de IBGE (2017a).

Figura 8. Cidade de São Sebastião, SP.



Fonte: adaptado de IBGE (2017b).

A Figura 6 demonstra a localização das estações meteorológicas de coleta de dados, constando as cidades: Guarulhos; Mogi das Cruzes; São José dos Campos;

⁷ As informações das coordenadas das estações foram passadas pelo Dr. Flávio de Carvalho Magina, responsável técnico pela instalação e manutenção dos equipamentos do INPE. O mapa elaborado através da ferramenta Google Maps.

Taubaté; São Sebastião; Guaratinguetá e Cruzeiro. Todas localizadas no estado de São Paulo.

As Figuras 7 e 8 demonstram os mapas das cidades analisadas, Cruzeiro e São Sebastião, escolhidas devido às diferenças de rugosidade anteriormente mencionadas.

A Tabela 5 apresenta os dados de consumo energético referente às localidades de estudo deste projeto. E a Tabela 6 apresenta o dado populacional das cidades estudadas.

Tabela 5. Número de consumidores e consumo de energia dos locais de estudo.

Município	Residencial		Comercial		Rural	
	N.C	kWh	N.C	kWh	N.C	kWh
Cruzeiro	27.600	62.164.155	1.935	24.452.761	186	1.303.883
São Sebastião	38.987	117.722.316	3.524	60.272.522	10	165.754

Fonte: Adaptado de Secretaria de Energia e Mineração (2016).

Tabela 6. Dado populacional das cidades de Cruzeiro e São Sebastião.

Município	População estimada 2016
Cruzeiro	81.406
São Sebastião	84.294

Fonte: IBGE (2017a; 2017b).

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 5 e 6 é possível observar que:

- A cidade de Cruzeiro possui um consumo energético de 2.252 kW/h ano por residência. Aplicando dados populacionais do IBGE, conclui-se que o consumo por habitante é de 764 kW/h.

- ii) A cidade de São Sebastião possui um consumo energético de 3.019 kW/h ano por residência. Aplicando dados populacionais do IBGE, conclui-se que o consumo por habitante é de 1.396 kW/h.

Essas informações foram utilizadas como dado relevante na hora de conceber o produto. Como pode ser lido no Capítulo 5.

4.3 Método dos Elementos Finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma técnica computacional que possibilita a simulação de forças aplicadas a um determinado elemento tridimensional, deste modo possibilitando estimar quantitativamente as tensões exercidas sobre o objeto (VAZ, 2011).

Este método é importante para o desenvolvimento de novos produtos, pois permite a análise comportamental do material aplicado, prevendo o comportamento do objeto ao ser exposto a determinado tipo de carga (VAZ, 2011). Deste modo, pode-se afirmar que o MEF possui características de uma ferramenta de gestão de projeto, pois possibilita o entendimento do produto e suas possíveis falhas, ainda na fase de desenvolvimento, garantindo redução nos custos do produto final⁸.

A aplicação do MEF em análise de estruturas ganhou projeção na década de 1950, após a publicação dos trabalhos dos professores John Argyris, da *Imperial College* de Londres, e do grupo de engenheiros da Boeing, liderados pelo professor Ray W. Clough. Entretanto considera-se como pioneiro o matemático alemão Richard Courant, com seu trabalho publicado em 1943 (VAZ, 2011).

O MEF pode ser utilizado em diversas áreas devido à ampla aplicabilidade e confiabilidade, permitindo o desenvolvimento de produtos mais competitivos e confiáveis. O que o torna relevante para a formação e atuação dos designers de produto.

⁸ O que se vincula também ao conceito de durabilidade intencionado nesse projeto e descrito no item 3.3.

Este tipo de conhecimento já vem sendo passado em cursos de engenharia de análise de estruturas, e designers podem se valer deste método principalmente para o enriquecimento de técnicas aplicadas ao desenvolvimento de produto. Garante-se, assim, melhor performance, considerando não apenas estética mas também confiabilidade estrutural, uma vez que este tipo de profissional tem por objetivo a criação de produtos que interagem de forma direta com seres humanos.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados desejados(SOUZA, 2010, p. 43).

Sendo assim, o MEF foi aplicado neste trabalho com o intuito de analisar pontos diretamente ligados ao usuário e também a análise estrutural mediante esforços de: fadiga; compressão e torção.

Independente da complexidade do objeto ou tipo de aplicação, as etapas fundamentais do MEF aplicadas a qualquer projeto são sempre as mesmas:

1. Pré-processamento: define-se o tipo de análise a ser realizada (estética, térmica e de frequência), propriedades físicas do material aplicado ao produto, carregamento e restrições;
2. Solução: processamento através do software de cálculo;
3. Pós-processamento: análise e interpretação dos resultados obtidos.

A análise tem início com a utilização de um software de Desenho Auxiliado por Computador (CAD), para a criação da representação geométrica de um objeto ou componente do mesmo. Esta geometria deve possuir os elementos corretos de acordo com o projeto e suportar a criação da malha, subdividindo a geometria em pequenos elementos de quantidade finita. A correta geometrização proporciona a criação de uma malha de forma correta e que produza resultados corretos, tais como deslocamentos, tensões, distribuição térmica, dentre outros (VAZ, 2011; SOUZA, 2010).

Para a realização da geometria do objeto foi utilizado inicialmente o software Autodesk AutoCAD para aplicação do desenho base do produto proposto⁹.

4.4 Mapa Mental

O mapa mental permite uma abordagem mais ativa na tomada de decisão no momento da realização de determinada tarefa ou até mesmo fases completas do projeto. Esta técnica foi desenvolvida pelo pesquisador inglês Tony Buzan, em meados da década de 1970 (DEBASTIANI, 2015). Ela é “[...] uma forma de organizar informações usando apenas palavras-chave, cores, imagens, neste formato visual, neste formato gráfico de organização.” (KIMURA, 2015, s.p.).

A intenção do mapa mental é a de iniciar num ponto central¹⁰ e a partir desse ponto criar conexões, por meio de recursos gráficos; irradiando os pontos até que se compreenda os caminhos que o projeto precisa tomar. A intenção é mapear o máximo possível de correlações entre informações inicialmente diversas (DEBASTIANI, 2015).

É possível se utilizar de cores, imagens, palavras, não existe um caminho ou regra definida. A recomendação é facilitar a gestão das informações de forma particular (DEBASTIANI, 2015).

O diferencial do mapa mental reside na possibilidade de utilizar cores, imagens, palavras-chaves (sem descrições extensas), mapeando informações relevantes para perto da palavra inicial, e as informações secundárias (hierarquizando as mesmas) para mais longe do centro (KIMURA, 2015). Essa metodologia se torna relevante por permitir pensar de forma diferenciada a complexidade envolvida no desenvolvimento do APP.

⁹ Posteriormente foram utilizados os softwares Autocad, Fusion 360 e SolidWorks. Conforme já descrito no item 4.1.

¹⁰ Embora no presente trabalho, tenha-se optado por deslocar esse ponto central para a lateral, conforme pode ser visualizado no Apêndice A.

4.5 Técnica de Análise de Similares Matriz GUT

A matriz GUT analisa as características de cada similar, prioriza os principais pontos positivos e negativos e auxilia na definição das prioridades quando há um grande número de variáveis de atividades a serem executadas ao mesmo tempo (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

A matriz leva este nome devido a sua característica de levar em consideração os três fatores de análise: Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) de cada problema ou parâmetro a ser verificado. É chamada de Técnica de Kepner e Tregoe (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

- Gravidade: Impacto do problema encontrado, resultado esperado do processo ou organização e efeitos a longo prazo, caso o problema permaneça;
- Urgência: Está diretamente ligado ao tempo disponível ou necessário para a solução do problema encontrado;
- Tendência: Potencial de crescimento do problema encontrado, crescimento ou redução do mesmo em relação ao tempo de utilização do objeto ou processo (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

A matriz possui um índice de pontuação de 1 a 5, para cada dimensão GUT, o que permite a classificação em ordem crescente de pontos a serem abordados. Esta também possibilita a realização de uma análise global dos parâmetros de maior significância e deste modo desenvolver as características do produto proposto de forma a atender ao máximo os critérios necessários para o desenvolvimento de um produto de fácil fabricação e montagem (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

Deve-se fazer perguntas para cada problema a ser verificado (qual a gravidade/urgência/tendência do problema?), que podem gerar mais perguntas e tentar organizar e esclarecer os pontos abordados (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

Para calcular, após a construção da tabela, utiliza-se a seguinte forma:

- G: Surgirão mais problemas caso a solução não aconteça ou demore?
 - o 1 a 5.
- U: O prazo para solução é:
 - o 5 – Urgente;
 - o 4 – Rápido;
 - o 3 – Médio;
 - o 2 – Posso Aguardar;
 - o 1 – Longo Prazo.
- T: Se não resolvido, o problema tende a piorar ou a trazer prejuízos?
 - o 1 a 5.
- Total: calcula-se a multiplicação de GxTxU (MORAES; MONT'ALVÃO, 2000).

Para analisar os resultados, deve-se dividir os pontos avaliados em: extremamente graves; muito graves; graves ou de pouca ou nenhuma gravidade.

Os **extremamente graves** são os principais pontos a serem tratados e que devem possuir prioridade de análise, de acordo com as características do projeto, visando uma melhor adequação ao meio em que será aplicado.

Os **muito graves** são prioridades secundárias e portanto possibilitam um maior tempo de execução com relação ao projeto, pois não afetam diretamente no desempenho do produto. No entanto, possuem um contato direto com o usuário no momento de sua montagem e manutenção.

Os **graves** são itens de pouca urgência que foram encontrados em determinados modelos, devido a sua forma estrutural, e que são nulos em relação ao desempenho do produto.

E os **de pouca ou nenhuma gravidade** são considerados adequados com relação ao produto final, de aspectos nulos com relação ao produto e usuário, não

possuem influência sobre o desempenho do produto e podem ser facilmente aplicado em grandes centros urbanos.

4.6 Tensão Von Mises e cálculo de vento

A tensão Von Mises se baseia na teoria de Mises-Hencky, ou teoria de energia de cisalhamento, ou ainda teoria de distorção máxima. Com base nesta teoria, o material maleável começa a ceder no ponto em que a tensão Von Mises atinge o limite da tensão. Esse modelo é largamente utilizado na avaliação de tensões estruturais, pois muitos materiais apresentam propriedades elastoplásticas. A análise de tensão Von Mises nos permite localizar os pontos de maior tensão (SOUZA, 2010).

Em Custódio (2009, p. 40) encontra-se que a energia eólica é a energia cinética (1) resultante da massa de ar em movimento, ou seja, o vento.

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Onde:

E = energia cinética [J]

m = massa de ar [Kg]

v = velocidade da massa de ar em movimento (vento) [m/s]

Custodio (2009, p. 41) continua trazendo que para calcular o fluxo da massa de ar passando pela turbina utiliza-se a seguinte formula (2):

$$m = \rho V A \quad (2)$$

Onde:

m = fluxo de massa de ar [Kg/s]

ρ = massa específica do ar [Kg/m³]

v = velocidade do vento [m/s]

A = área da seção transversal [m²]

Esses cálculos e seus resultados foram utilizados e descritos na seção 6.2.

5. Desenvolvimento do produto

Neste capítulo intenciona-se demonstrar as etapas e imagens do processo de desenvolvimento do produto APP desenvolvido.

5.1 Análise de Similares Matriz GUT

Tendo em mente o processo para análise de similares utilizando matriz GUT¹¹ realizou-se a análise de quatro produtos similares. A seguir demonstra-se os dados.

- **Similar 1 – Aerogerador de eixo vertical Galé**

Como Similar 1 analisou-se o aerogerador de eixo vertical Galé da Tangarie Alternativa Power LLC.

Figura 9. Aerogerador de eixo vertical Galé.



Fabricante:.	Tangarie Alternative Power LLC
Origem:	USA.
Diâmetro do rotor:	não fornecido.
Velocidade mín. de vento:	3 m/s.
Velocidade máx. de vento:	40 m/s.
Gerador:	10 kw
Peso:	200 kg.
Altura da turbina:	1 m

Fonte: autores a partir dos dados fornecidos pela empresa (2017).

¹¹ Apresentado no item 4.5.

Tabela 7. Análise de similar - Aerogerador de eixo vertical Galé.

Problemas	G	U	T	GxUxT	Observação
Velocidade mínima do vento	1	1	1	1	Velocidade do vento mínima de acionamento da turbina.
Diâmetro do rotor					
Altura da turbina	1	1	1	1	Adequada.
Facilidade de montagem	1	1	1	1	Pouco ou nenhum nível técnico.
Peso	4	5	5	100	Inadequado para utilização em telhados.
Sistema de fixação	1	1	1	1	Adequado.
Velocidade máxima do vento	1	1	1	1	Adequado.
Acionamento de trava de segurança	5	5	5	125	Falta de acionamento de trava mecânica.
Ruído	3	3	5	45	A partir de 45 dB pode causar interferência em uma conversa.

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Na Figura 9 e Tabela 7 é possível visualizar tanto os dados referentes às especificações do produto, quanto os resultados da matriz GUT para esse similar. A seguir lista-se os parâmetros positivos e negativos:

o Parâmetros positivos:

- o A velocidade mínima de vento para acionamento da turbina se encontra dentro dos parâmetros de projeto em relação à altura total da turbina adequada ao tipo de aplicação proposta, evitando com isso uma intervenção visual no ambiente.

o Parâmetros negativos:

- o O peso excessivo dificulta sua instalação em alguns tipos de telhados;
- o Não possui trava de segurança com acionamento manual, o que pode ocasionar acidentes no momento de manutenção;
- o Devido à falta de informação sobre emissão de ruídos nos demais similares, o mesmo será desconsiderado nesta avaliação.

- **Similar 2 – Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)**

Como Similar 2 analisou-se o aerogerador VAWT da Cleanfield Energy.

Figura 10. Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).



Fabricante:	Cleanfield Energy.
Origem:	USA.
Diâmetro do rotor:	2,75 m
Velocidade mín. de vento:	3 m/s
Velocidade máx. de vento:	10 m/s
Gerador	4.5 kw
Peso:	245 kg
Altura da turbina:	3 m

Fonte: autores a partir dos dados fornecidos pela empresa (2017).

Tabela 8. Análise de similar - Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).

Problemas	G	U	T	GxUxT	Observação
Velocidade mínima do vento	1	1	1	1	Velocidade do vento mínima de acionamento da turbina.
Diâmetro do rotor	3	3	2	18	Limita sua aplicação no ambiente urbano.
Altura da turbina	3	3	1	9	Adequada.
Facilidade de montagem	4	5	4	80	Pouco ou nenhum nível técnico.
Peso	5	5	5	120	Inadequado para utilização em telhados.
Sistema de fixação	5	5	5	125	Adequado.
Velocidade máxima do vento	5	5	5	125	Adequado.
Acionamento de trava de segurança	5	4	4	80	Falta de acionamento de trava mecânica.
Ruído	1	1	1	1	A partir de 45 dB pode causar interferência em uma conversa.

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Na Figura 10 e Tabela 8 é possível visualizar tanto os dados referentes às especificações do produto quanto os resultados da matriz GUT para esse similar. A seguir lista-se os parâmetros positivos e negativos:

- o Parâmetros positivos:
 - o A velocidade mínima de vento para acionamento da turbina se encontra dentro dos parâmetros de projeto, assim como o diâmetro do rotor, evitando a necessidade de uma maior área para instalação.
- o Parâmetros negativos:
 - o Possui peso excessivo dificultando sua instalação em alguns tipos de telhados;
 - o Não possui trava de segurança com acionamento manual, o que pode ocasionar acidentes no momento de manutenção;
 - o Baixa velocidade de vento para acionamento automático da trava de segurança.

- **Similar 3 – Windspire Technology (Windspire 200)**

Como Similar 3 analisou-se o aerogerador Windspire 200 da Windspire Technology.

Figura 11. Windspire Technology (Windspire 200).



Fabricante:	Windspire Technology.
Origem:	USA.
Diâmetro do rotor:	
Velocidade mín. de vento:	3.8 m/s.
Velocidade máx. de vento:	47 m/s.
Gerador:	1.2 kw.
Peso:	283 Kg.
Altura da turbina:	9.1 m

Fonte: autores a partir dos dados fornecidos pela empresa (2017).

Tabela 9. Análise de similar - Windspire Technology (Windspire 200).

Problemas	G	U	T	GxUxT	Observação
Velocidade mínima do vento	1	1	1	1	Funcionamento com baixa velocidade de vento.
Diâmetro do rotor					
Altura da turbina	5	5	5	125	Altura inadequada para algumas instalações.
Facilidade de montagem	3	4	3	36	Inadequado.
Peso	3	4	3	36	Inadequado.
Sistema de fixação					
Velocidade máxima do vento	1	1	1	1	Velocidade máxima de segurança adequada.
Acionamento de trava de segurança					
Ruído					

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Na Figura 11 e Tabela 9 é possível visualizar tanto os dados referentes às especificações do produto quanto os resultados da matriz GUT para este similar. A seguir lista-se os parâmetros positivos e negativos:

- o Parâmetros positivos:
 - o A velocidade mínima de vento para acionamento da turbina se encontra dentro dos parâmetros de projeto. Sua velocidade máxima de vento para funcionamento é considerada adequada devido a grande variação na direção e velocidade dos ventos encontradas no ambiente urbano.
- o Parâmetros negativos:
 - o Sua altura e peso possibilitam sua instalação apenas em solo ou grandes edificações, limitando sua aplicação.

- **Similar 4 – Shanghai Aeolus Windpower Technology (SAWT P-10)**

Como Similar 4 analisou-se o aerogerador SAWT P-10 da SAWT.

Figura 12. Shanghai Aeolus Windpower Technology (SAWT P-10).



Fabricante:	SAWT
Origem:	China.
Diâmetro do rotor:	30 cm.
Velocidade mín. de vento:	4-20 m/s.
Velocidade máx. de vento:	40 m/s.
Gerador:	DC 12v.
Peso:	2 kg.

Fonte: autores a partir dos dados fornecidos pela empresa (2017).

Tabela 10. Análise de similar - Shanghai Aeolus Windpower Technology (SAWT P-10).

Problemas	G	U	T	GxUxT	Observação
Velocidade mínima do vento	2	2	2	8	Funcionamento com baixa velocidade de vento.
Diâmetro do rotor	1	1	1	1	Diâmetro total da turbina.
Altura da turbina	1	1	1	1	Altura adequada.
Facilidade de montagem	2	2	2	8	Sistema de montagem de médio nível.
Peso	1	1	1	1	Adequado.
Sistema de fixação					
Velocidade máxima do vento	1	1	1	1	Adequado.
Acionamento de trava de segurança	5	4	4	80	Falta de acionamento de trava mecânica.
Ruído					

Fonte: adaptado de Silva (2010).

o Parâmetros positivos:

- o A velocidade mínima de vento para acionamento da turbina se encontra dentro dos parâmetros de projeto. Possui diâmetro total adequado ao tipo de aplicação, possibilitando uma ampla variedade de locais de instalação.

o Parâmetros negativos:

- o A falta de acionamento manual da trava de segurança pode ocasionar acidentes no momento de sua manutenção.

5.1.1 Análise dos Resultados da Matriz GUT

Com uso da matriz GUT foram priorizados os parâmetros mais significativos de cada similar analisado dentro das características do projeto. Em Aldabó (2002, p. 64) é proposto que em “Instalações sem acesso à rede elétrica convencional, a velocidade média anual do vento dever ser no mínimo de 4 m/s” e para sistemas híbridos com acesso à rede convencional, Aldabó (2002, p. 64) afirma que “[...] essa velocidade deve ser no mínimo de 4,5 m/s [...]” para uso de sistema eólico.

A seguir lista-se os pontos divididos conforme categorias explicadas no item 4.5.

5.1.1.1 Pontos extremamente graves (prioridade)

No Quadro 2, lista-se os itens que tiveram maior pontuação, assim enquadrados em problemas de categoria extremamente grave:

Quadro 2. Itens de maior importância para o desenvolvimento do projeto- Priorização

Modelo	Problema	Pontos (GxUxT)
Galé	Acionamento de trava de segurança	125
VAWT	Peso	125
VAWT	Sistema de fixação	125
VAWT	Velocidade máxima do vento	125
Windspire 200	Altura total da turbina	125

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Os problemas mais relevantes, ou seja, com a pontuação mais alta foram os acionamento de trava de segurança para o Similar 1 (Galé); peso, sistema de fixação e velocidade máxima do vento para o Similar 2 (VAWT); e altura total da turbina para o Similar 3 (Windspire 200).

5.1.1.2 Pontos muito graves

No Quadro 3, lista-se os itens com maior pontuação, enquadrando-se em problemas considerados muito graves.

Quadro 3. Itens de importância para o desenvolvimento do projeto de categoria muito grave.

Modelo	Problema	Pontos (GxUxT)
Galé	Peso	100
VAWT	Facilidade de montagem	80
VAWT	Acionamento de trava de segurança	80
SAWT P-10	Acionamento de trava de segurança	80

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Os problemas mais relevantes que apareceram na categoria muito grave foram peso para o Similar 1 (Galé); facilidade de montagem e acionamento de trava de segurança para o Similar 2 (VAWT); e acionamento de trava de segurança para o Similar 4 (SAWT P-10).

Através desta análise, pode-se definir sistema de fixação, sistema de montagem e manutenção.

5.1.1.3 Graves

No Quadro 4, lista-se os itens com maior pontuação para problemas na categoria grave.

Quadro 4. Itens de maior importância no desenvolvimento do projeto de categoria grave.

Modelo	Problema	Pontos (GUT)
Windspire 200	Facilidade de montagem	36
Windspire 200	Peso	36

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Os itens de pouca urgência que foram encontrados em determinados modelos, devido a sua forma estrutural, são nulos em relação ao desempenho do produto. Mas, devido à pontuação, foram considerados problemas graves a facilidade de montagem e peso do Similar 3 (Windspire 200).

5.1.1.4 Pouca ou nenhuma gravidade

No quadro 5, lista-se os itens com pontuação que se enquadram na categoria de pouca ou nenhuma gravidade em relação ao projeto.

Quadro 5. Pouca ou nenhuma gravidade em relação ao projeto .

Modelo	Problema	Pontos (GUT)
VAWT	Diâmetro do rotor	18
SAWT P-10	Velocidade mínima do vento	8
SAWT P-10	Facilidade de montagem	8

Fonte: adaptado de Silva (2010).

Os itens que apareceram nesse Quadro 5 foram o diâmetro do rotor do Similar 2 (VAWT); e velocidade mínima do vento e facilidade de montagem do Similar 4 (SAWT P-10). Mesmo que sejam problemas, devido à pontuação baixa, são considerados adequados com relação ao produto final, de aspectos nulos com relação ao produto e usuário, não possuindo influência sobre o desempenho do produto e podendo ser facilmente aplicados em grandes centros urbanos.

5.1.2 Análise global

De acordo com os dados obtidos através do uso da GUT, considera-se que:

- A velocidade mínima de vento para acionamento da turbina se encontra na faixa de 3 a 3,8 m/s;
- 100% dos similares avaliados necessitam de mão de obra especializada para sua montagem e instalação;
- A velocidade máxima de vento para funcionamento se encontra entre 40 e 47 m/s.

5.2 Sketches

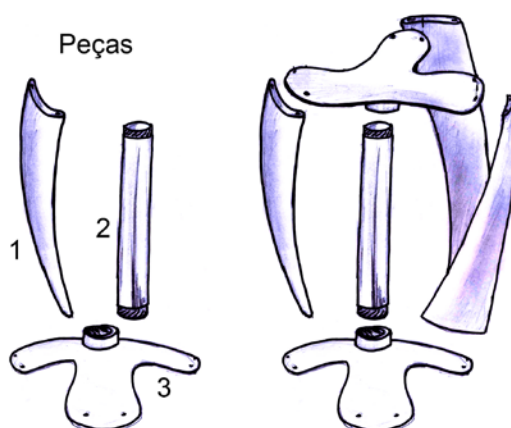
O processo de desenvolvimento dos sketches tem por finalidade um melhor entendimento do processo criativo, tornando sua execução uma etapa de grande importância a designers de produto, possuindo várias finalidades. Nesta etapa são criadas e analisadas as características do projeto de forma simplificada.

Um destaque referente à essa etapa está ligado à liberdade de criação. Neste momento não há preocupação com medidas, pesos e modo de fabricação, mas, sim,

em entender o problema encontrado e dar a melhor solução possível dentro de um curto período de tempo (Figura 13). Para tal, são realizados desenhos rápidos de modo a solucionar o problema intencionado.

A Figura 13 ilustra as características básicas de um projeto de APP, conforme determinado pela análise global realizada na pesquisa de similares utilizando a matriz GUT¹².

Figura 13. Características base do projeto de APP.

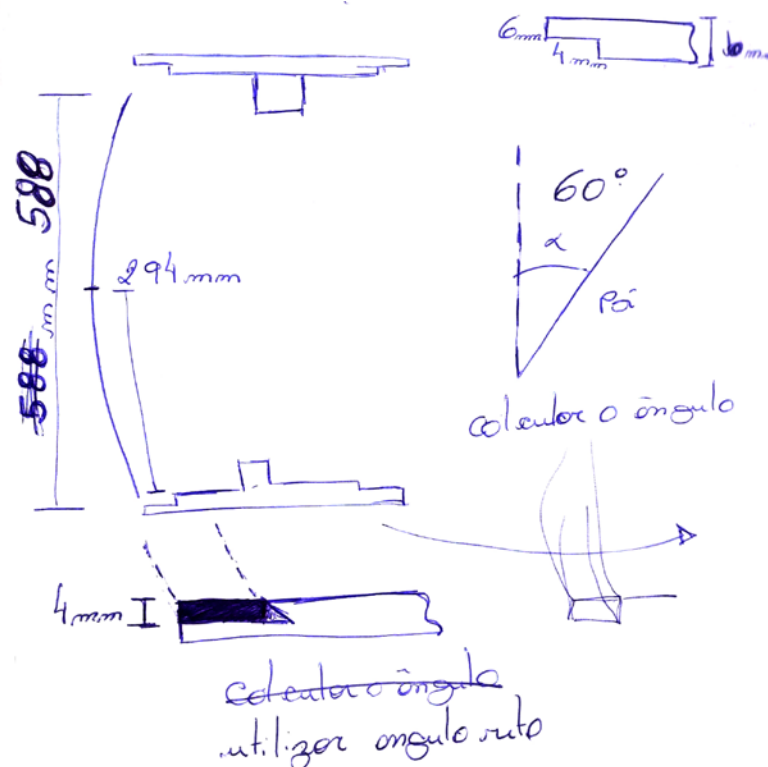


Fonte: autores (2016).

A Figura 14 apresenta as características do sistema de montagem de modo a facilitar o entendimento do usuário ao realizar este processo. É um sketch intencionando demonstrar o processo que se percorreu para compor o sistema de suporte e fixação.

¹² Conforme explanado a fundo no item 5.1.

Figura 14. Processo criativo (suporte e sistema de fixação do APP).

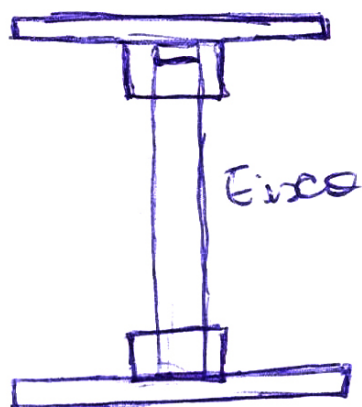


Fonte: autores (2016).

Norman (2016) traz que: “O usuário precisa de ajuda, apenas as coisas certas tem de ser visíveis [...]”, neste caso já é possível identificar algumas questões de design centrado no usuário, como o processo de restrição física.

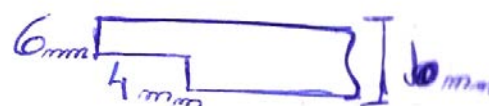
As Figuras 15 a 18 trazem os sketches retratando o processo criativo para pensar, respectivamente, o sistema de cavidade do eixo; o sistema de ranhura da pá/suporte; ângulo de ataque da pá e a seção transversal.

Figura 15. Sistema de cavidade do eixo.



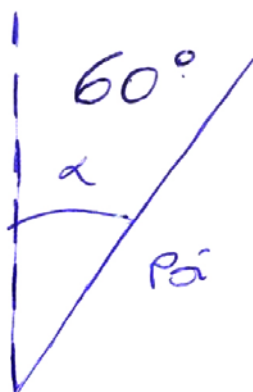
Fonte: autores (2016).

Figura 16. Sistema de ranhura pá/suporte.



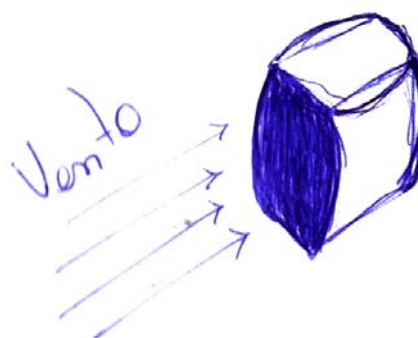
Fonte: autores (2016).

Figura 17. Ângulo de ataque da pá do APP.



Fonte: autores (2016).

Figura 18. Seção transversal do APP.



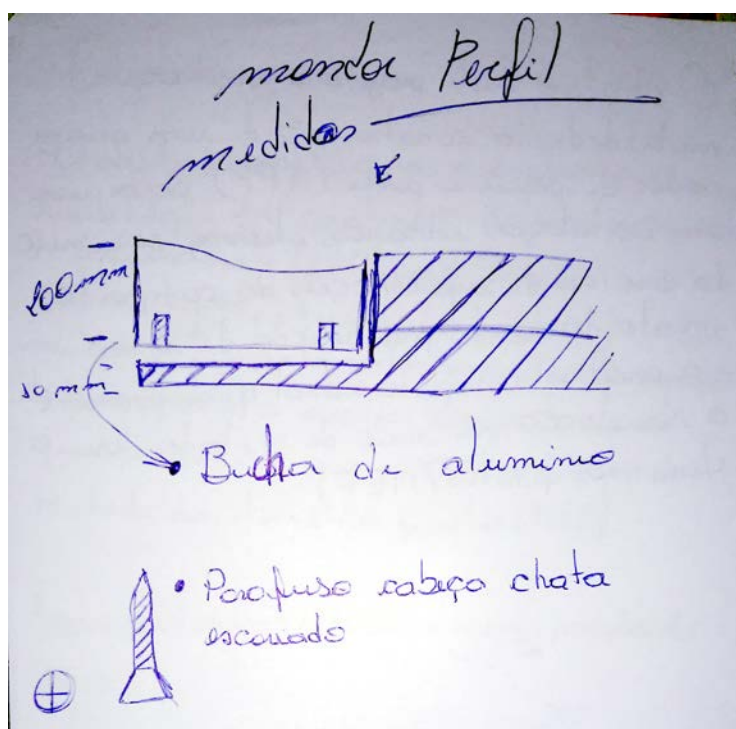
Fonte: autores (2016).

A intenção ao realizar esses sketches e pensar o produto centrado no usuário desde essa etapa é de que existe uma garantia para a realização correta dos processos de montagem e manutenção, evitando o excesso de carga cognitiva por parte do usuário e possibilitando um processo limpo e eficiente.

A Figura 19 apresenta o sketch do sistema de fixação entre a unidade pá e suporte do APP. Este sistema tem por objetivo tornar o processo de montagem do equipamento de fácil entendimento. A utilização das sketches torna factível uma

abordagem visual e simplificada para uma melhor compreensão e solução do problema encontrado.

Figura 19. Sistema de fixação pá/suporte do APP.



Fonte: autores (2017).

As aplicações deste método auxiliam em questionamentos a respeito das interações do usuário com o sistema e na prospecção dos materiais e equipamentos necessários para a realização do processo.

Na Figura 19 é possível observar que questões sobre o sistema de fixação não permanente foram rascunhadas, como o parafuso de cabeça chata escariado ou a bucha de alumínio. Nesta etapa não se foca em detalhes técnicos ou tecnológicos, mas na busca por uma solução ágil para o problema encontrado. Que depois é trabalhada em etapas seguintes.

5.3 Restrição física

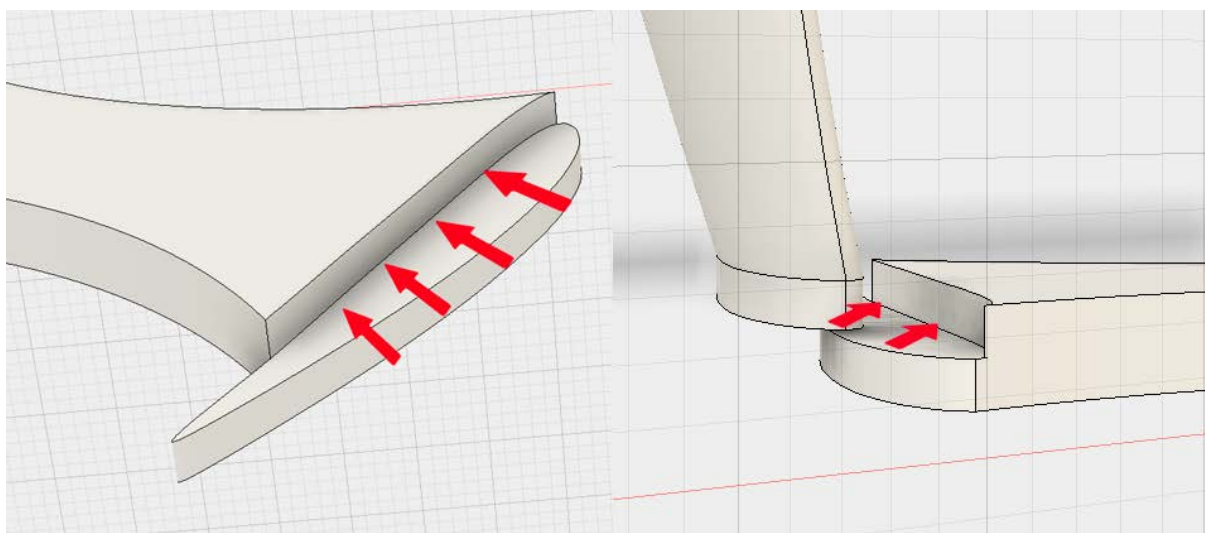
As limitações físicas possuem capacidade de restringir as operações de um objeto ou produto. Deste modo, ao pensar nelas, evita-se manuseio ou montagem de forma incorreta. São características que se apoiam no mundo físico para a

realização de suas operações e sua principal aplicação foi com o objetivo de evitar erros no processo de montagem do equipamento.

Norman (2016, p. 114) afirma que “As restrições físicas tornam-se mais eficientes e úteis se forem fáceis de ver e de interpretar.”.

Apenas os processos certos devem ser visualizados na identificação de que peças devem ou não ser operadas. O processo de restrição física é apresentado na Figura 20. Nesta etapa é realizado o processo de montagem entre a base e o perfil aerodinâmico do APP.

Figura 20. Restrição física do processo de montagem entre a base e o perfil aerodinâmico do APP.



Fonte: autores (2017).

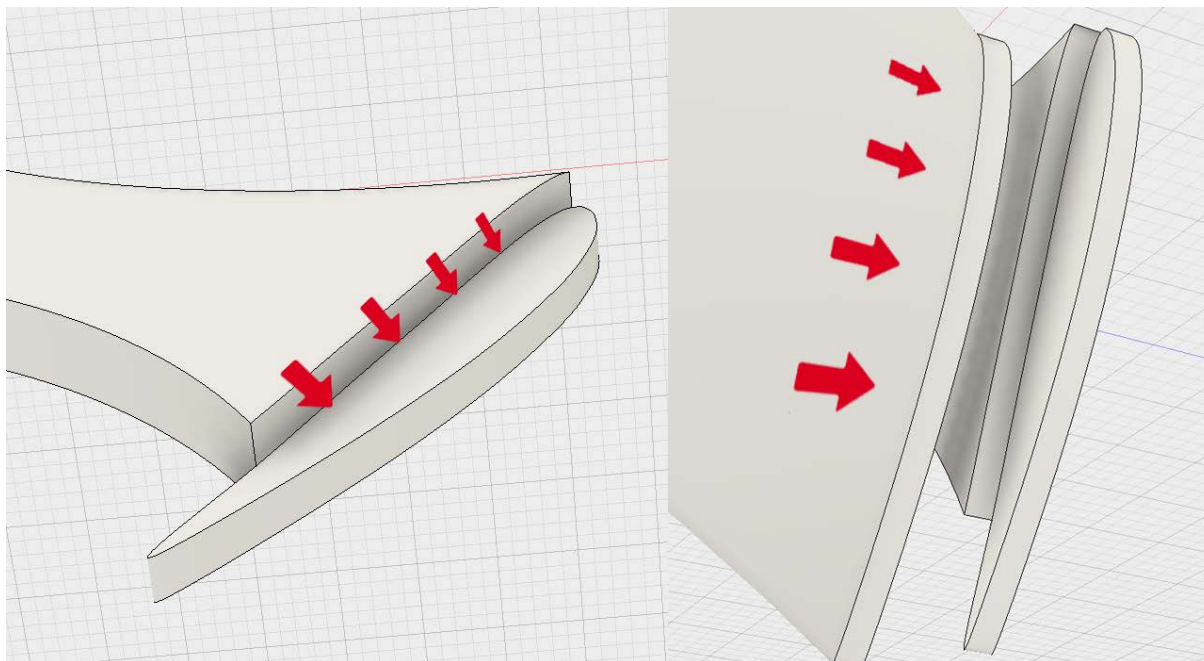
As setas intencionam demonstrar claramente as instruções de montagem entre a base e perfil aerodinâmico do APP projetado.

5.4 Restrição semântica

As restrições semânticas têm por objetivo trabalhar o significado da situação no momento da realização da tarefa, controlando o número de ações possíveis por parte do usuário. Segundo Norman (2006, p. 115) “As restrições semânticas contam com o nosso conhecimento da situação e do mundo.”. Este conhecimento vem sendo trabalhado de modo a criar um processo simplificado de montagem do

produto APP, e pode ser facilmente observado no sistema de encaixe entre o suporte e a pá do aerogerador, demonstrado na Figura 21.

Figura 21. Restrição semântica do processo de montagem entre a base e o perfil aerodinâmico do APP.



Fonte: autores (2017).

Da mesma forma que descrito na seção anterior, a Figura 21 intenciona demonstrar através de recortes do desenho, com auxílio de setas e destaques, que tipo de ação deve ser performada pelo usuário.

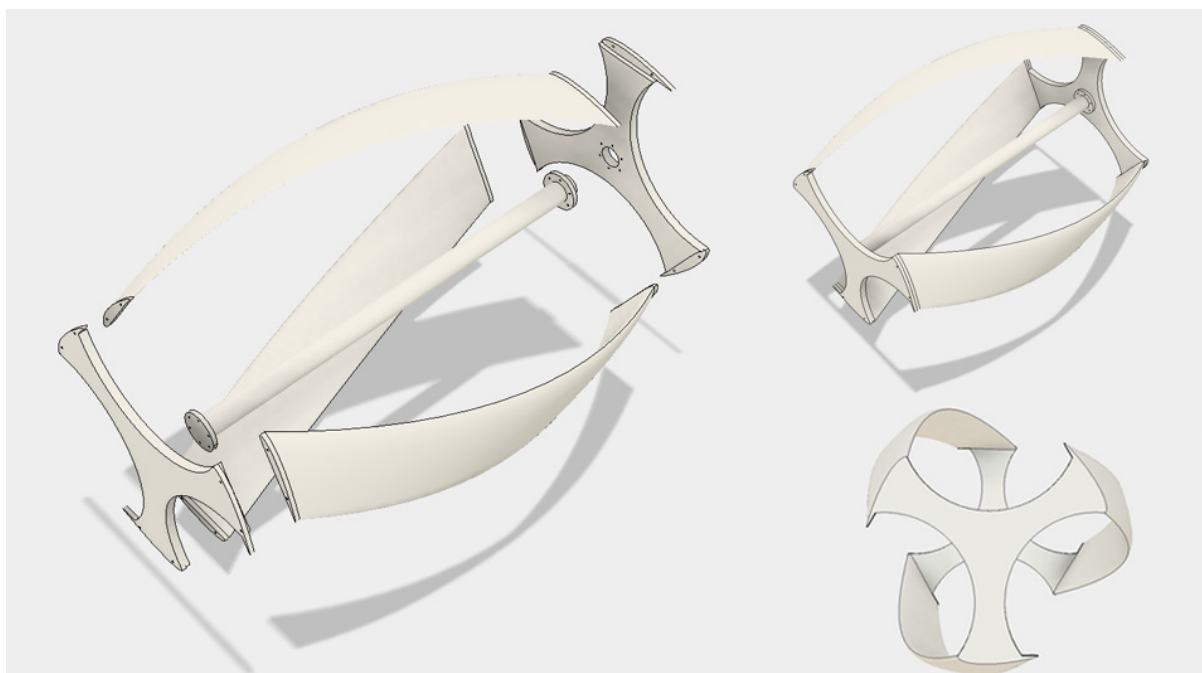
5.5 Desenho técnico

Com base nas pesquisas, análises de similares, sketches e questões vinculadas às restrições semânticas e físicas, desenvolveu-se o APP de acordo com os desenhos técnicos aparentes no Apêndice C, que demonstra o detalhamento do conjunto APP, e do Apêndice B, que descreve o processo de desenvolvimento do produto, peças que o envolvem, desenho base e subsistemas.

A forma simplificada apresentada na Figura 22 possui outras características além da estética, como a facilidade no processo produtivo, redução no custo de

produção, facilidade no processo de montagem e substituição de peças. Não havendo a necessidade de mão de obra especializada.

Figura 22. Sistema de montagem do APP.



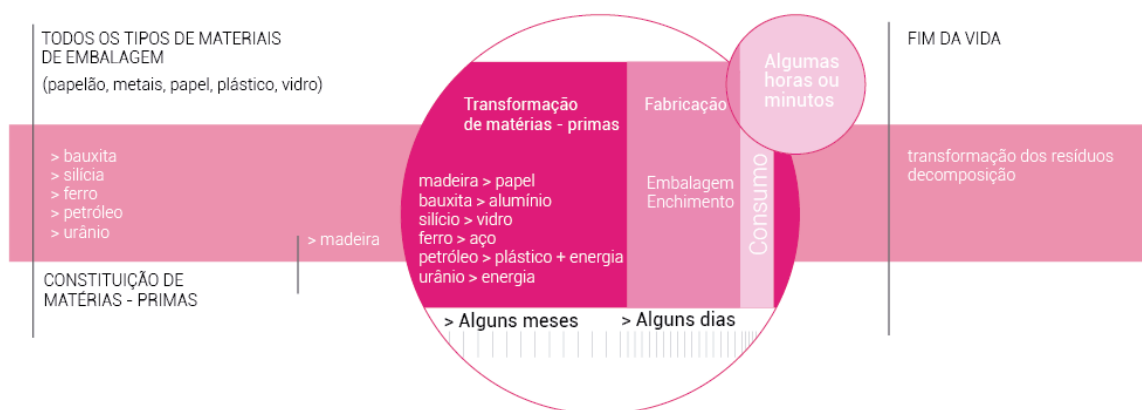
Fonte: autores (2017).

Para se chegar a este conceito, baseou-se nas análises de similares, sketches e restrições físicas e semânticas. A partir dessa etapa, partiu-se para a seleção de materiais, construção do mockup e modelagem para análise sob o MEF.

5.6 Seleção de Materiais

Para a escolha do material aplicado ao produto, levou-se em consideração todas as etapas do desenvolvimento de produto ecológico, optando-se pelo polímero termoplástico de Polietileno Terafitalato (PET), encontrado em grande quantidade em nosso dia a dia, devido ao curto tempo de vida útil (Figura 23).

Figura 23. Duração de vida das embalagens alimentares.



Fonte: adaptado de Kazazian (2005).

Optou-se pelo PET por conta de sua grande flexibilidade de processos de manufatura, garantindo assim a redução de custo do produto final. Outras características positivas são:

- É quimicamente inerte;
- Tem alta tenacidade;
- Alta resistência a intempéries (KAZAZIAN, 2005).

Em relação à viabilidade do produto,

- Viabilidade ecológica: incentivar a execução dos serviços de coleta seletiva como fonte de matéria prima;
- Viabilidade social: incentivo às cooperativas de coleta seletiva, permitindo uma rentabilidade aos seus cooperados (KAZAZIAN, 2005).

Visa-se a transformação de um produto, no caso, a garrafa PET, em outro, para a realização de um serviço como o de geração de energia elétrica. O produto final (APP) é apenas um suporte do serviço prestado, ou seja, desenvolver um produto e serviço ecologicamente correto ao mesmo tempo, fechando assim o círculo de sustentabilidade.

5.7 Desenvolvimento do mockup

Para uma melhor representação do produto proposto criou-se um mockup¹³ em escala 1:1, no intuito de entender melhor sua morfologia, sistema de montagem e questões ergonômicas como: pega, peso, proporções geométricas, dentre outras, que não podem ser avaliadas de forma virtual.

Inicialmente utilizou-se do software Corel Draw para a confecção do perfil aerodinâmico para processo de corte. A utilização do software foi devido a sua facilidade de manuseio e a simplicidade da peça a ser preparada para o corte a laser. Na Figura 24 tem-se demonstrada a máquina CNC de corte a laser utilizada para imprimir as peças após a modelagem no software.

Figura 24. Máquina CNC de corte a laser para construção do perfil aerodinâmico do APP.



Fonte: autores (2017).

Dados técnicos da máquina:

- Máquina Laser CNC com tubo 100W de potência;
- Área de corte 1300mm x 900mm;
- Corte MDF sem revestimento de 6mm de espessura;

¹³ Mockup é um molde para teste em tamanho natural feito de madeira, papelão ou outro material com a finalidade de experimentar, ou seja, saber onde são os pontos fracos e fortes em uma idéia, um projeto. Para tanto, são usados materiais mais baratos e formas mais simples de produção (FBF, 2017).

- Velocidade de corte 12mm/s a 100% da potência;
- Tempo total do processo de corte: 2 horas e 20 minutos.

Figura 25. Perfil aerodinâmico do APP após impressão na máquina CNC.



Fonte: autores (2017).

A Figura 25 apresenta uma unidade de um total de 160 necessárias para a confecção da matriz do molde em fibra de vidro que serão utilizados na fabricação das três pás do APP.

Após a realização do corte dos perfis, deu-se início ao processo de montagem da matriz da pá aerodinâmica para a confecção do molde em fibra de vidro. A execução deste processo se deu no Centro Tecnológico Mariana Gussen (CTMG) localizado no Centro Universitário Teresa D'Ávila, por meio das seguintes etapas:

1. Confecção do gabarito de curvatura da pá e ângulo de ataque;
2. Confecção do gabarito de centralização do perfil aerodinâmico;
3. Empilhamento dos perfis aerodinâmicos para a confecção da matriz da pá do aerogerador;
4. Lixamento e correção das imperfeições superficiais da matriz de pá do aerogerador;
5. Confecção do molde em fibra de vidro;
6. Produção das pás aerodinâmicas do APP.

As Figuras 26 a 29 apresentam o processo de confecção do gabarito de curvatura. Inicialmente realizou-se a furação das peças utilizando um gabarito para centralização dos furos (Figura 26), em seguida as peças perfuradas foram unidas,

utilizando uma barra roscada, obtendo assim uma estrutura fixa (Figura 27) e, logo após, o processo de marcação e corte de curvatura necessária para criar a forma base da pá do aerogerador (Figura 28). A Figura 29 apresenta o processo de corte do ângulo de ataque, feito com o uso de uma serra fita, assim obtendo um corte mais preciso e uniforme. Resultando em um gabarito de curvatura de maior precisão em sua face curvada.

Figura 26. Gabarito de furação para a unidade de curvatura.



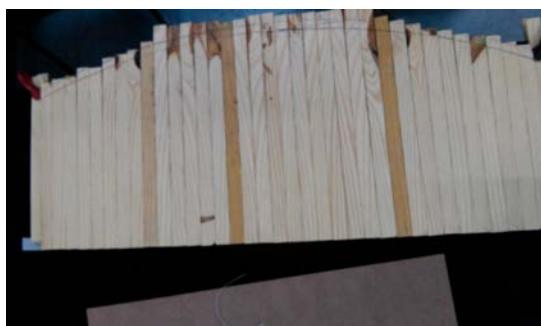
Fonte: autores (2017).

Figura 27. União para confecção do gabarito de curvatura.



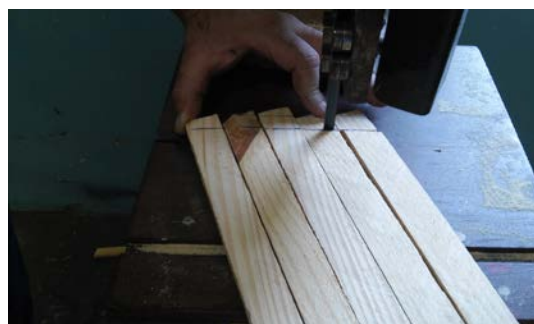
Fonte: autores (2017).

Figura 28. Marcação do ângulo de curvatura.



Fonte: autores (2017).

Figura 29. Corte do ângulo de curvatura.



Fonte: autores (2017).

A Figura 30 apresenta o resultado final do corte realizado no processo anterior, apresentando assim no gabarito de curvatura e ângulo de ataque das pás do APP.

Figura 30. Gabarito de curvatura para ângulo de ataque da pá do APP.



Fonte: autores (2017).

As Figuras 31 e 32 demonstram o ângulo de ataque das pás, dando início ao processo de emplumamento das 160 unidades do perfil aerodinâmico impressas via CNC.

Figura 31. Preparação do ângulo de curvatura.



Fonte: autores (2017).

Figura 32. Gabarito do ângulo de curvatura.



Fonte: autores (2017).

As Figuras 33 à 36 demonstram o processo de empilhamento das unidades de perfis bem como a curvatura, característica do produto final, e tem por objetivo criar o ângulo da pá do aerogerador de modo a aumentar o seu desempenho. Este

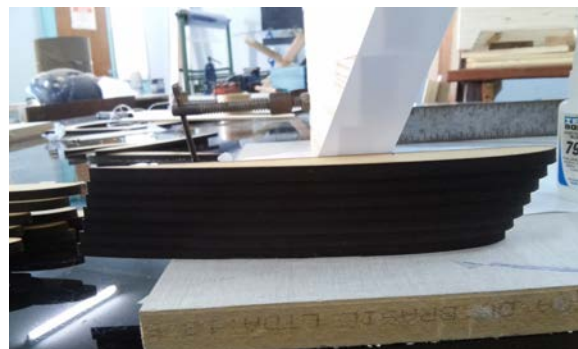
ângulo em relação ao eixo central do equipamento e à velocidade relativa do fluxo de vento é conhecido como ângulo de ataque, no caso de 60°.

Figura 33. Início do empilhamento parte 1.



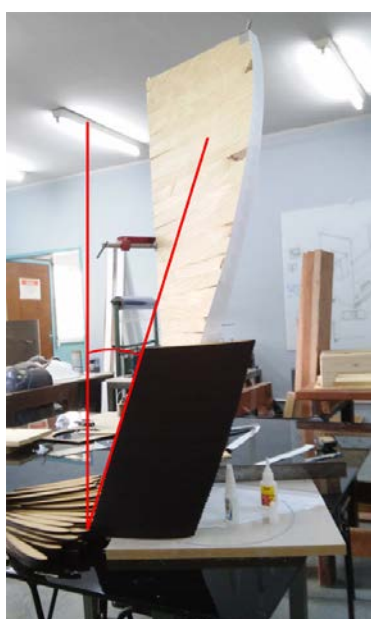
Fonte: autores (2017).

Figura 34. Empilhamento visualizado por outro ângulo.



Fonte: autores (2017).

Figura 35. Formação da curvatura.



Fonte: autores (2017).

Figura 36. Ângulo de ataque finalizado.



Fonte: autores (2017).

Após o empilhamento das unidades de perfis foi realizado o processo de lixamento para obtenção de uma superfície lisa e uniforme. As Figuras 37 a 40 apresentam este processo para um melhor entendimento.

Figura 37. Início do empilhamento parte 2.



Fonte: autores (2017).

Figura 38. Empilhamento.



Fonte: autores (2017).

Figura 39. Formação da curvatura.



Fonte: autores (2017).

Figura 40. Ângulo de ataque.



Fonte: autores (2017).

Após o processo de lixamento, a peça foi removida do gabarito, iniciando a etapa de confecção do molde em fibra de vidro (Figura 41).

Figura 41. Molde em fibra de vidro.



Fonte: autores (2017).

O molde teve como finalidade a fabricação das três unidades de pás que constituem o APP.

5.8 Modelagem 3D

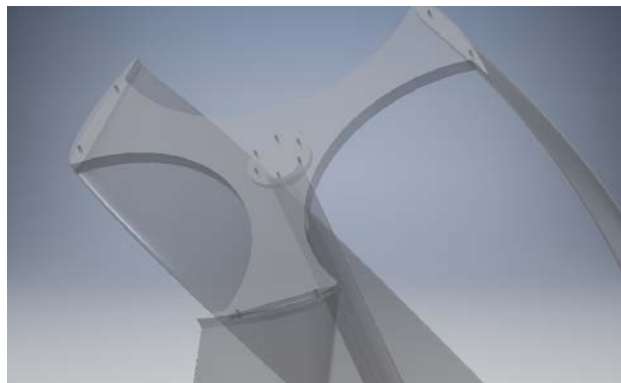
Após a preparação da geometria foram definidas as propriedades dos materiais, tipos de carga e restrições. Foi também definido o tipo de análise desejado. Nas Figuras 42 e 43 demonstra-se a modelagem da geometria completa do APP desenvolvido e um destaque para os pontos de fixação, respectivamente.

Figura 42. Geometria completa do APP.



Fonte: autores (2017).

Figura 43. Pontos de fixação das peças do APP.

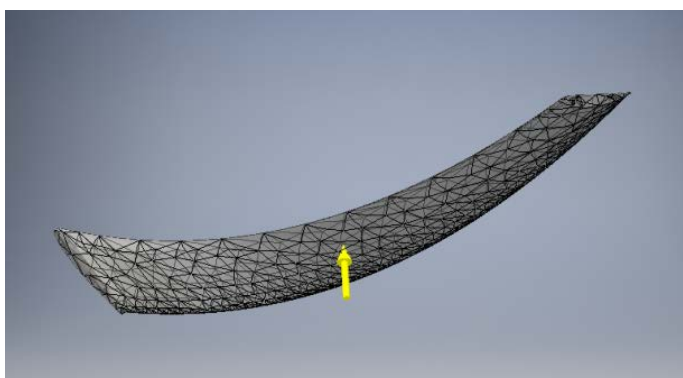


Fonte: autores (2017).

A geometria completa (Figura 44) e os pontos de fixação (Figura 45) podem ser visualizados na forma de desenho técnico no Apêndice C.

Após a definição desses parâmetros foi criada a malha da pá do APP (Figura 44), completando assim a criação do modelo matemático para realização dos testes do MEF.

Figura 44. Malha da pá do APP.



Fonte: autores (2017).

Para obter os dados para a análise do MEF foi utilizado o software Autodesk Inventor. É preciso muito cuidado na preparação da geometria, pois o mesmo pode resultar em erros que provém resultados falhos. A discretização no MEF é o processo de criação da malha em que o objeto é subdividido em elementos e cada elemento tem o tamanho determinado, um tamanho finito, e a partir do entendimento de cada elemento entende-se o comportamento do conjunto.

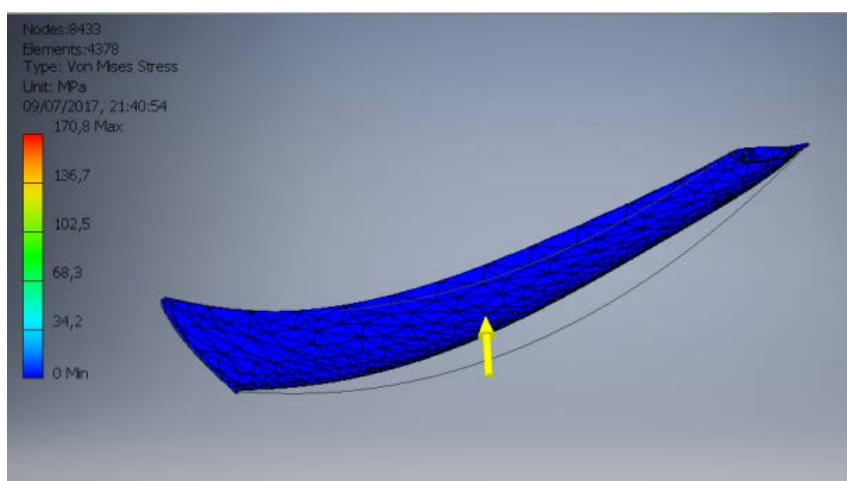
6. Análise de resultados

Na Análise de Resultados disserta-se sobre os resultados da modelagem 3D feita sob o MEF e com base na teoria da Tensão de Von Mises.

6.2 Resultados Tensão de Von Mises

Nas Figuras 45 e 46 demonstra-se o resultado do teste de tensão realizado através do MEF. Por se tratar de um elemento aerodinâmico foram realizados os testes nas pás, esta sendo a região que receberá a maior carga de energia cinética do vento.

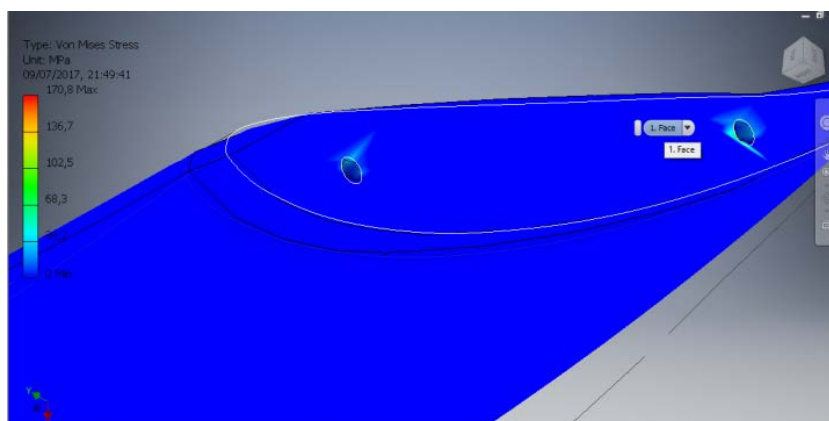
Figura 45. Tensão Von Mises na malha da pá do APP.



Fonte: autores (2017).

A Figura 46 mostra que os pontos de maior tensão estão localizados no sistema de fixação entre a pá e o suporte do aerogerador, no entanto, a taxa de tensão foi baixa, não causando nenhum tipo de dano à estrutura.

Figura 46. Ampliação do local de maior estresse.



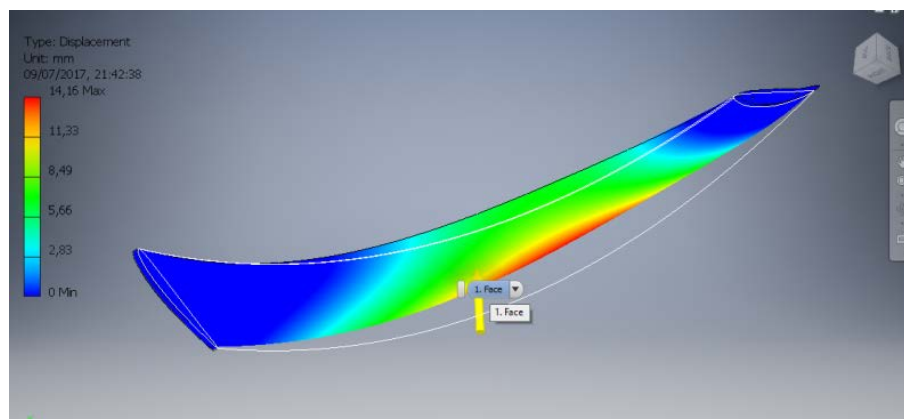
Fonte: autores (2017).

Visualiza-se os pontos de estresse maiores na Figura 46 indicados com a cor azul clara. Comparando com a escala indicada na lateral esquerda da imagem, é possível ver que a tensão é baixa.

A análise do sistema de pás foi realizada com base nos dados referentes ao regime de vento das cidades de Cruzeiro e São Sebastião, no período de 2014 a 2016, fornecidos pelo grupo de pesquisas em eletricidade atmosférica do INPE.

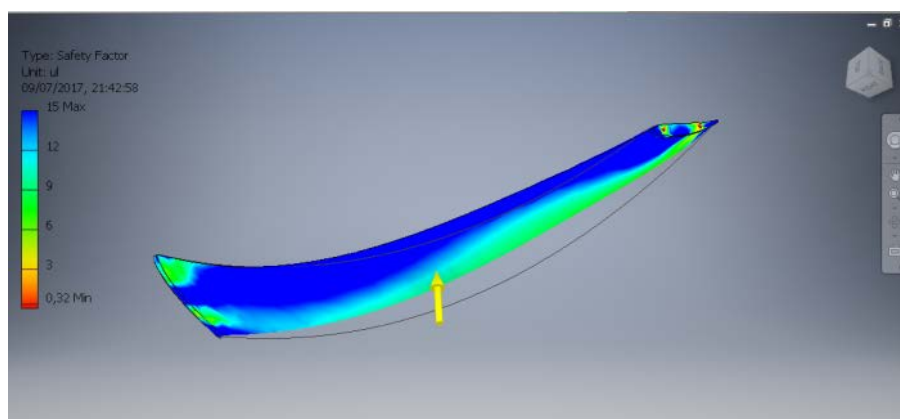
A Figura 47 apresenta a análise de distribuição da tensão de Von Mises ao longo da estrutura da pá do aerogerador após aplicação de uma força referente ao deslocamento do fluxo de vento a 40m/s ou 144km/h. E a Figura 48 o deslocamento de 11mm resultante.

Figura 47. Análise da distribuição da tensão Von Mises.



Fonte: autores (2017).

Figura 48. Demonstração do deslocamento de pouco mais de 11mm.



Fonte: autores (2017).

Para velocidades mais baixas, não houve ruptura nem dano às pás. Em um paralelo com a escala de velocidades de vento Beaufort (MET OFFICE, 2017), ventos de 40m/s são considerados ventos de furacões. O que indica que o APP desenvolvido apenas se romperia caso se deparasse com ventos de altíssima velocidade, enquadrados na categoria mais alta da escala Beaufort.

7. Considerações finais

O produto proposto encontra-se dentro dos parâmetros exigidos na análise de resultados. De acordo com os testes realizados, pode-se afirmar que se alcançou facilidade no processo de montagem (a aplicação das técnicas de design centrado no usuário garante um sistema ágil e seguro, desta forma, evitando que o usuário cometa erros durante a etapa de montagem e manutenção do equipamento e proporcionando assim uma maior durabilidade do mesmo). Além disso, também alcançou-se a facilidade no processo de produção (o design como ferramenta de desenvolvimento de produto viabilizou a criação de uma estrutura simplificada, atendendo aos requisitos iniciais do projeto, garantindo assim, um processo produtivo enxuto e ocasionando na redução dos custos de fabricação do produto). O fator de segurança também foi satisfatório devido ao tipo de aplicação a qual o produto se destina, questões relacionadas a segurança são de grande importância no desenvolvimento do projeto. Deve-se garantir a qualidade de funcionamento do produto e a total segurança do usuário e utilizando-se de técnicas do design de produto criou-se uma estrutura flexível, capaz de suportar ventos de até 40m/s (144km/h), ventos estes raramente registrados em ambientes urbanos. E como proposta para trabalhos futuros, considera-se que existe a necessidade de fabricação de algumas unidades do modelo proposto de APP para realizar testes em ambientes reais de modo a averiguar sua capacidade de geração elétrica e emissão de ruídos.

REFERÊNCIAS

ALBADÓ, R. **Energia eólica**. São Paulo: Artliber, 2002.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa Nº 482 de 17 de abril de 2012. Brasil: ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: set. 2015.

COLTRO, L. (org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

CUSTÓDIO, R. dos S. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

DEBASTIANI, C. A. **Definindo escopo em projetos de software**. São Paulo: Novatec, 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa em Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2016b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: mar. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa em Energia. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>>. Acesso em: set. 2016.

FBF Sistemas. **Vocabulário de ergonomia**. Disponível em: <[://www.ergonomiano.trabalho.com.br/vocabulario.html](http://www.ergonomiano.trabalho.com.br/vocabulario.html)>. Acesso em mar. 2017.

GIANNINI, M.; DUTRA, R. M.; GUEDES, V. G. **Estudo prospectivo do mercado de energia eólica de pequeno porte no Brasil**. In: Anais do Brazil Windpower 2013 - Conference & Exhibition, Rio de Janeiro. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/263808150_ESTUDO_PROSPECTIVO_DO_MERCADO_DE_ENERGIA_EOLICA_DE_PEQUENO_PORTE_NO_BRASIL>. Acesso em: out. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da cidade de Cruzeiro**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=351340>>. Acesso em mar. 2017a.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da cidade de São Sebastião**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355070>>. Acesso em mar. 2017b.

KAZAZIAN, T. **Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável**. Tradução de Eric Roland Rene Heneault. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

KIMURA, L. **Mapas mentais** - Liz Kimura - Canal Jplay. Vídeo do YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zghatAZ3e_8&feature=youtu.be> Acesso em mar. 2017.

MET OFFICE. **Beaufort wind force scale**. Disponível em: <<https://www.metoffice.gov.uk/guide/weather/marine/beaufort-scale>>. Acesso em mar. 2017.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia**: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

NORMAN, D. A. **O design do dia-a-dia**; Tradução de Ana Deiró. Rio de Janeiro: Editora Rocco, 2006.

PEREIRA, M. G.; MONTEZANO, B. E. M.; DUTRA, R. M. **Mercado de Energia Eólica de Pequeno Porte no Brasil**: percepção do potencial consumidor. Brazil WindPower 2015, Rio de Janeiro – Brasil. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/277891704_MERCADO_DE_ENERGIA_EOLICA_DE_PEQUENO_PORTE_NO_BRASIL_PERCEPCAO_DO_POTENCIAL_CONSUMIDOR>. Acesso em: out. 2016.

São Paulo (Estado). Secretaria de Energia e Mineração. **Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo**. São Paulo:, 2016, ano base 2015. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalsev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf>. Acesso em: nov. 2016.

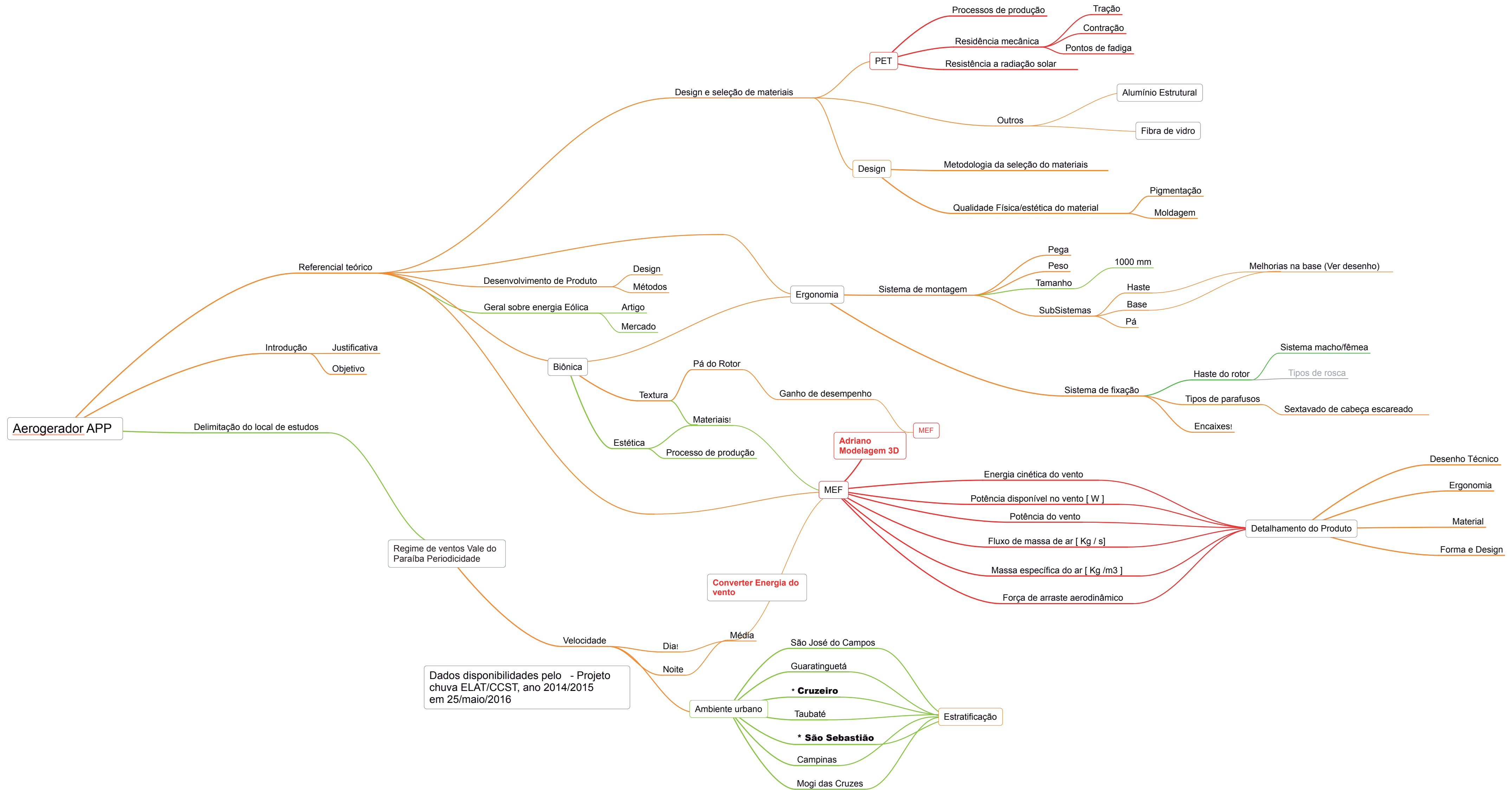
SOUZA, A. J. S. de. **Análise computacional de tensão aplicado em próteses de quadril**. São José dos Campos: UNIVAP, 2010.

VAZ, L. E. **Método dos elementos finitos em análise de estruturas**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2011.

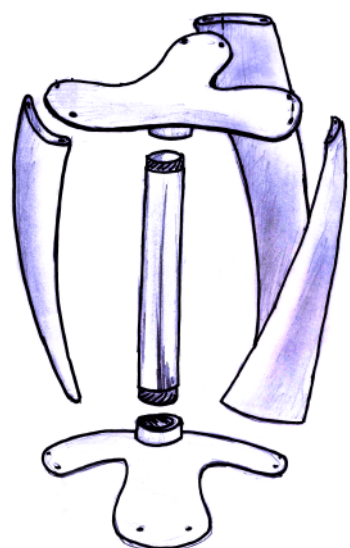
APÊNDICE

Apêndice A - Mapa Mental – Processo De Pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA METODOLOGIA DE DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO



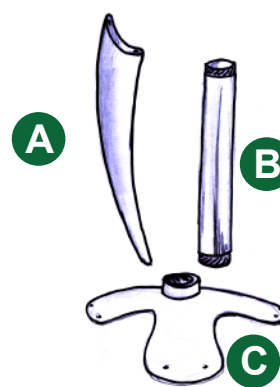
Apêndice B- Desenvolvimento de Produto



1 Desenho base

Conceito desenvolvido através dos resultados obtidos pela análise GUT

- A** Perfil aerodinâmico
- B** Eixo do rotor
- C** Suporte do rotor



2 Subsistemas

Com base nas informações obtidas pela GUT e princípios do DCU, o conceito é constituído de três peças, simplificando seu sistema de montagem e fabricação.

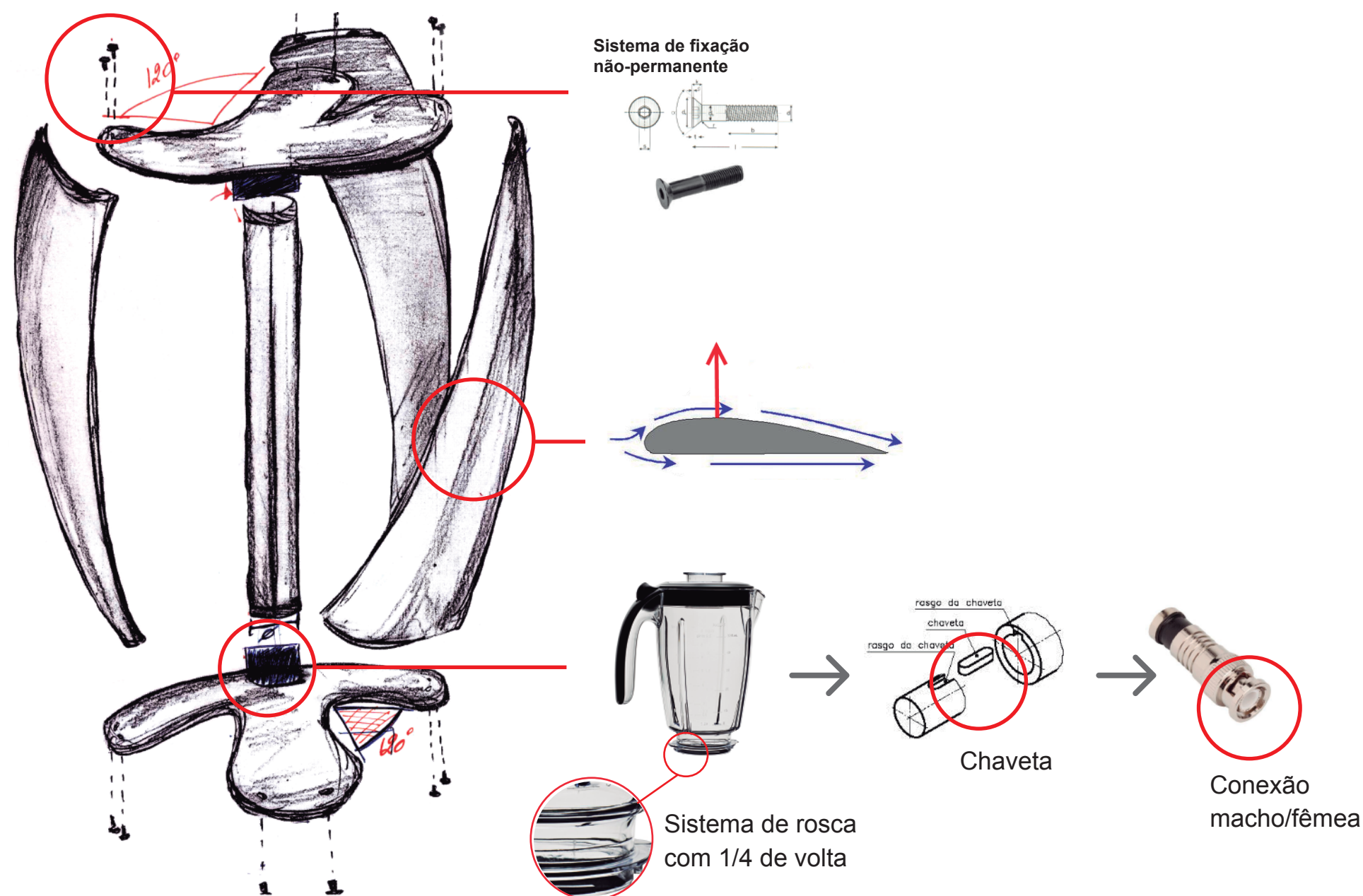


DCU

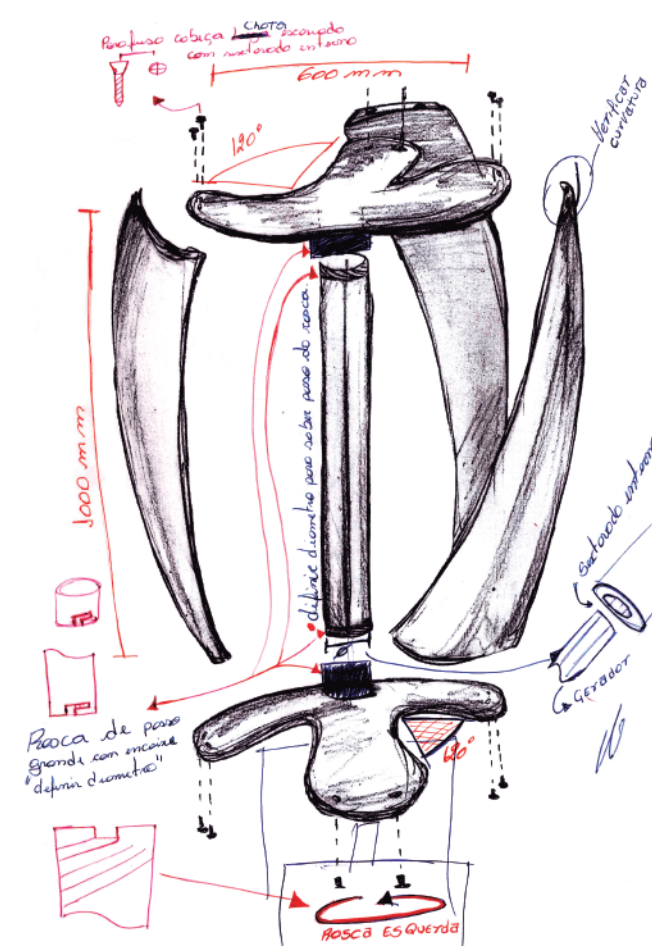
“Design apropriado e centrado no humano exige que todas as considerações sejam observadas desde o princípio”

NORMAN, 2006, p. 15

Pesquisa e Desenvolvimento de Projeto de APP

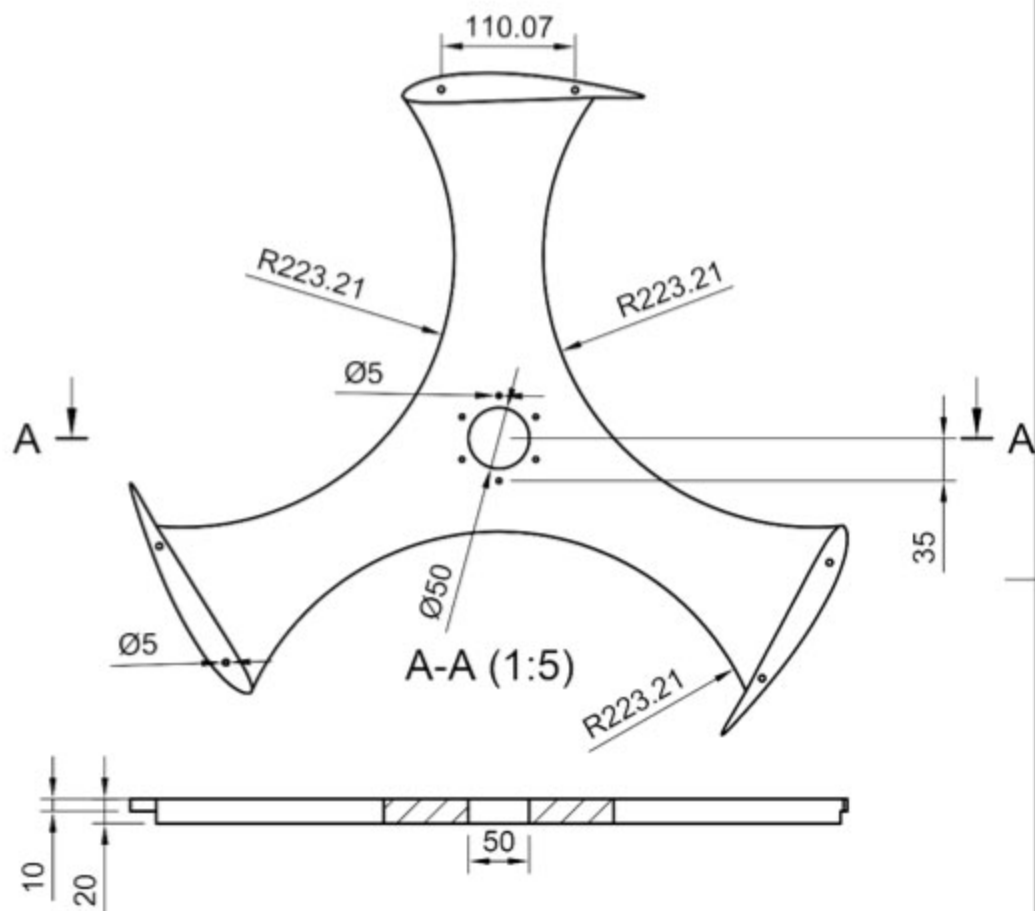


Processo criativo Projeto de Produto centrado no usuário

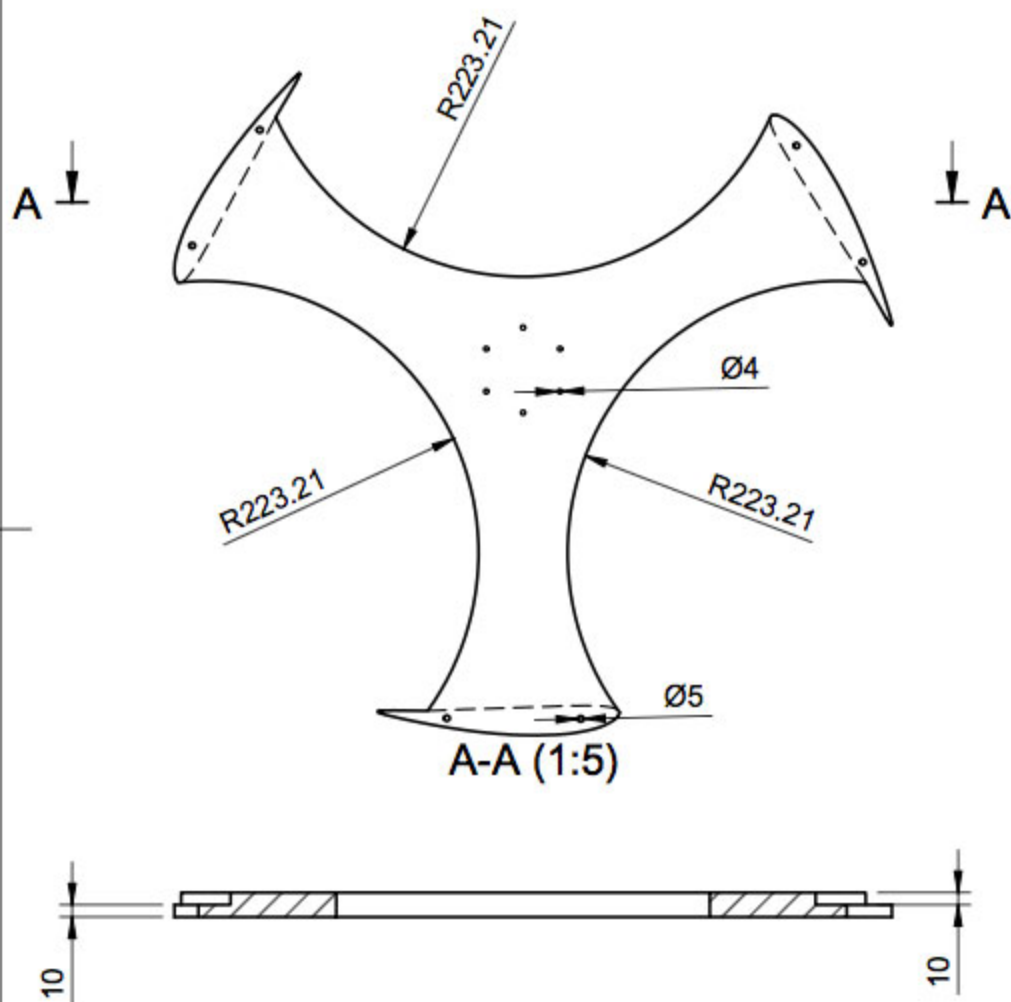


Fonte: autor (2017).

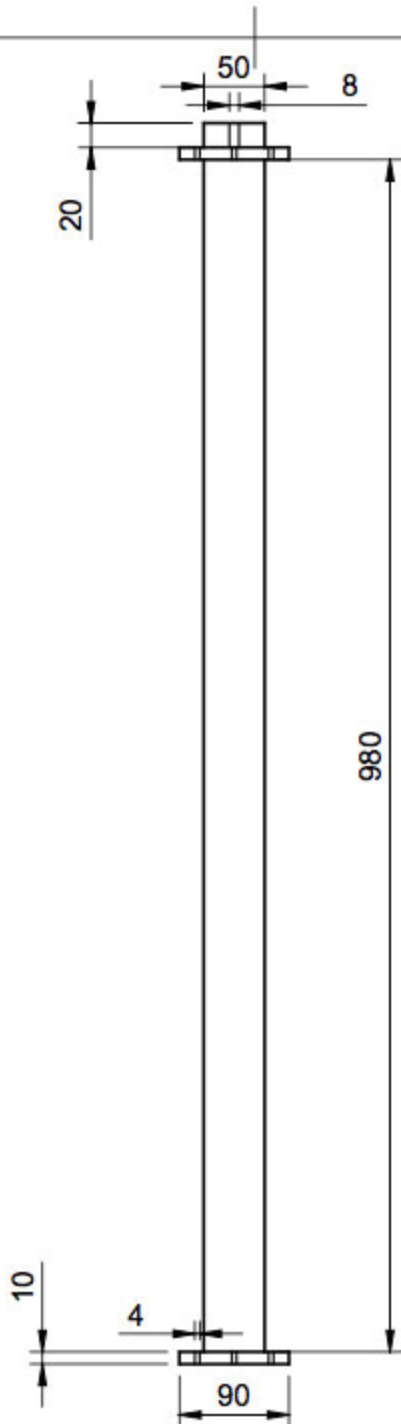
Apêndice C– Detalhamento do Conjunto APP



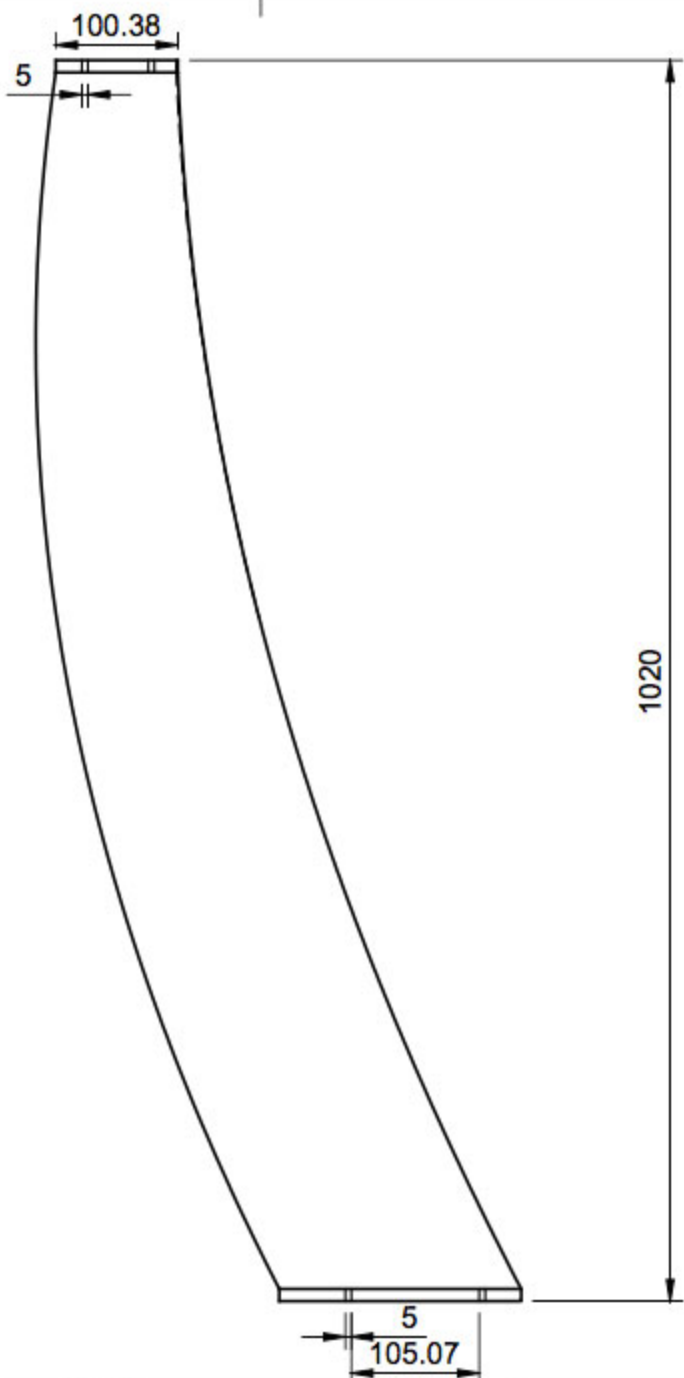
Dept. DTI	Technical reference	Created by Cristiano Augusto 13/07/17	Approved by	
 		Document type Mestrado	Document status	
		Title Suporte Inferior do Aerogerador	DWG No. 001	
		Rev. 0	Date of issue	Sheet 1/1



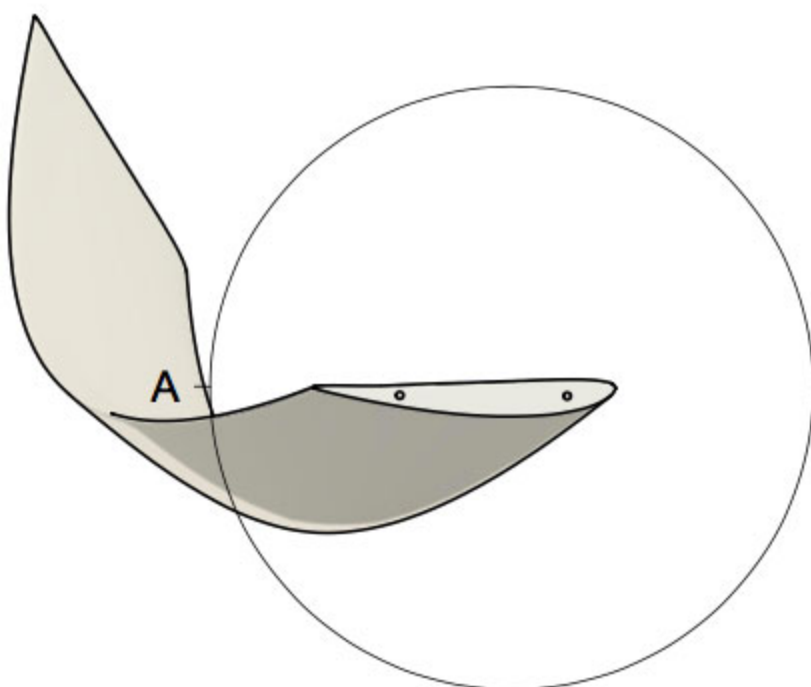
Dept. DTI	Technical reference	Created by Cristiano Augusto 13/07/17	Approved by		
 		Document type	Document status		
		Title Suporte Superior do Aerogerador	DWG No. 002		
		Rev. 0	Date of issue	Sheet 1/1	



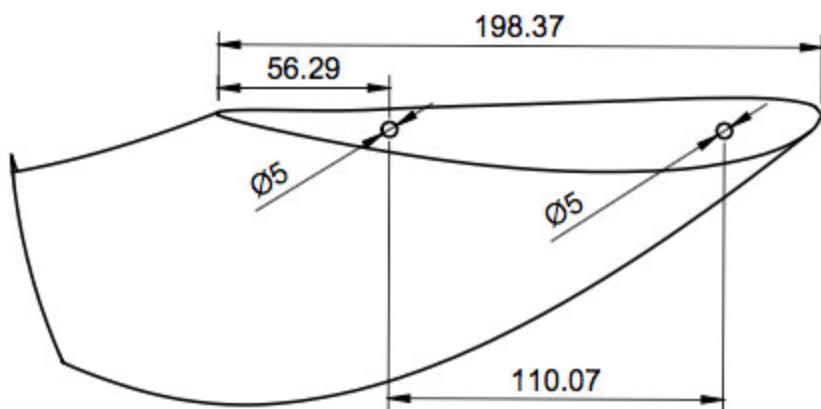
Dept. DTI	Technical reference	Created by Cristiano Augusto 13/07/17	Approved by		
 		Document type Mestrado	Document status		
		Title Eixo do Aerogerador escala 1:5	DWG No. 003		
			Rev. 0	Date of issue	Sheet 1/1



Dept. DTI	Technical reference	Created by Cristiano Augusto 13/07/17	Approved by		
 		Document type Mestrado	Document status		
		Title Pá do Aerogerador	DWG No. 004		
		Rev. 0	Date of issue	Sheet 1/1	



A (1:2)



Dept. DTI	Technical reference	Created by Cristiano Augusto 13/07/17	Approved by	
 		Document type Mestrado	Document status	
		Title Perfil Aerodinâmico	DWG No. 005	
		Rev. 0	Date of issue	Sheet 1/1