



ORIENTADOR:
Prof. Dr. João Caldas
do Lago Neto

COORIENTADORA:
Profa. Dra. Sheila
Cordeiro Mota

INOVAÇÃO DISRUPTIVA NA CONSTRUÇÃO DE PÁS EM MADEIRA PARA TURBINA HIDROCINÉTICA AXIAL EM COMUNIDADES ISOLADAS NA AMAZÔNIA

James da Rocha Vitoriano

**DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO
2022**

James da Rocha Vitoriano

**INOVAÇÃO DISRUPTIVA NA CONSTRUÇÃO DE PÁS EM MADEIRA PARA
TURBINA HIDROCINÉTICA AXIAL EM COMUNIDADES ISOLADAS NA
AMAZÔNIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Amazonas para a obtenção do Grau de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. João Caldas do Lago Neto.

Esta Dissertação será julgada para obtenção do Título de Mestre e será avaliada pelo Programa de Pós-Graduação em Design.

Manaus, 24 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Caldas do Lago Neto, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Augusto César Barreto Rocha, Membro Interno
Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dra^a Magnólia Grangeiro Quirino, Membro Interno
Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dra^a Gabriela de Mattos Veroneze, Membro Externo
Universidade Federal do Amazonas

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

V845i Vitoriano, James da Rocha
Inovação disruptiva na construção de pás em madeira para
turbina hidrocínética axial em comunidades isoladas na Amazônia /
James da Rocha Vitoriano . 2022
94 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João Caldas do Lago Neto
Coorientadora: Sheila Cordeiro Mota
Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Turbina Hidrocínética. 2. Manufatura de pás em madeira. 3.
Inovação disruptiva. 4. Comunidades isoladas. 5. Gabaritos para
pás em madeira. I. Lago Neto, João Caldas do. II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título



Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Design

FOLHA DE APROVAÇÃO

JAMES DA ROCHA VITORIANO

**INOVAÇÃO DISRUPTIVA NA CONSTRUÇÃO DE PÁS EM MADEIRA PARA TURBINA
HIDROCINÉTICA DE EIXO HORIZONTAL EM COMUNIDADES ISOLADAS NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Design, área de concentração Design, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico.

Aprovada em: Manaus, 16 de novembro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Caldas do Lago Neto, Presidente

Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Augusto César Barreto Rocha, Membro Interno

Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Magnólia Grangeiro Quirino, Membro Interno.

Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Gabriela de Mattos Veroneze, Membro Externo

Universidade Federal do Amazonas



Documento assinado eletronicamente por **João Caldas do Lago Neto, Professor do Magistério Superior**, em 22/11/2022, às 18:05, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Augusto Cesar Barreto Rocha, Professor do Magistério Superior**, em 23/11/2022, às 09:15, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriela de Mattos Veroneze, Professor do Magistério Superior**, em 23/11/2022, às 10:03, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Magnólia Grangeiro Quirino, Professor do Magistério Superior**, em 24/11/2022, às 11:57, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1257816 e o código CRC 58FF1C7D.

Av. Octávio Hamilton Botelho Mourão - Bairro Coroado 1 Campus Universitário Senador Arthur Virgílio
Filho, Setor Norte - Telefone: (92) (92) 3305-1181 / Ramal 2600
CEP 69080-900 Manaus/AM - ppgd@ufam.edu.br

Referência: Processo nº 23105.044926/2022-58

SEI nº 1257816

A minha mãe, que infelizmente não está entre nós, meu pai, minha família e meus amigos, pelo incentivo e compreensão nos momentos mais difíceis desta jornada.

Agradecimentos

O conhecimento é constituído de pequenos tijolos, no qual, através da contribuição de cada autor, professor, amigo, e uma rede de informação que nos cerca, ajudando a edificar e amadurecer, seja como profissional ou como pessoa.

Aos meus pais, José Vitoriano e Luzia da Rocha Vitoriano, que sempre me incentivaram a estudar para crescer e compartilhar o que foi aprendido e a minha esposa e meus filhos, pelo apoio e compreensão, ajuda e dedicação.

Agradeço especialmente ao professor João Caldas do Lago Neto, pela oportunidade e confiança em participar do grupo de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho e a Professora Sheila Cordeiro Mota, pela atenção e compromisso para trilhar esta jornada.

Agradecimento especial a cada professor que passou pela minha vida, ensinando a dar asas ao conhecimento para um futuro melhor, em especial aos que marcaram minha vida e me inspiraram, dentre eles, os saudosos professores: Carlos Sena em expressão gráfica e o professor José Carlos Silva, meu orientador, a título de bacharel em design, ambos do Departamento de Design e Expressão Gráfica.

Agradeço a todos os amigos e docentes do Programa de Pós-Graduação em Design - PPDG, à instituição UFAM - Universidade Federal do Amazonas, que por anos, tem sido meu segundo lar. E também a Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, pelo suporte em enfrentar este empreendimento pessoal e profissional.

Resumo

As turbinas hidrocínéticas são uma fonte alternativa para micro geração de energia elétrica com baixo custo de implantação e impacto ambiental, ainda estão em fase de desenvolvimento e compartilham conceitos e princípios de funcionamento com turbinas eólicas, tecnologia relativamente amadurecida. Atualmente as pás que constituem o rotor destes equipamentos são produzidas com o que há de mais avançado em termo de materiais e processos de fabricação, porém não satisfaz determinado público que vive isolado próximo a bacias hidrográficas como as da Amazônia, desprovidos de recursos e longe dos grandes centros urbanos. O presente trabalho tem como objetivo, a adaptação tecnológica de construção de hélices aeronáuticas para as pás de uma turbina hidrocínética, sendo reproduzidas em pequenas oficinas, fazendo uso somente de ferramentas convencionais, tendo como material apenas madeira de reuso. Para isto, foram aplicados conceitos de plano seriado e geometria descritiva para o aprimoramento e precisão da técnica, com o intuito de nortear a execução da tarefa por pessoas com pouco conhecimento técnico. Como resultado, a produção das pás se mostrou viável, utilizando pouco espaço para execução, com madeira de reuso e realizado somente com ferramentas simples, resultando em uma peça com boa precisão dimensional, acabamento e resistência mecânica.

***Palavras-chave:** Turbina Hidrocínética, Manufatura de pás em madeira, inovação disruptiva, comunidades isoladas, gabaritos para pás em madeira.*

Abstract

Hydrokinetic turbines are an alternative source for micro generation of electricity with low implementation cost and environmental impact, they are still in the development phase and share concepts and operating principles with wind turbines, a relatively mature technology. Currently, the blades that make up the rotor of this equipment are produced with the most advanced materials and manufacturing processes, but it does not satisfy a certain public that lives isolated close to hydrographic basins such as those of the Amazon, devoid of resources and far from large urban centers. The objective of this work is the technological adaptation of the construction of aeronautical propellers for the blades of a hydrokinetic turbine, being reproduced in small workshops, using only conventional tools, with only reused wood as material. For this, concepts of serial plan and descriptive geometry were applied for the improvement and precision of the technique, with the intention of guiding the execution of the task by people with little technical knowledge. As a result, the production of the blades proved to be feasible, using little space for execution, with reused wood and carried out only with simple tools, resulting in a piece with good dimensional accuracy, finishing and mechanical resistance.

Keywords: *Hydrokinetic Turbine, Wood Blade Manufacturing, Disruptive innovation, Isolated Communities, Wooden blade Templates.*

Lista de figuras

Figura 1, Turbinas hidrocínéticas axiais.....	9
Figura 2. Turbinas hidrocínéticas de eixo cruzado.....	10
Figura 3. Classificação geral das turbinas hidrocínéticas.....	11
Figura 4. Perfil e seus principais componentes.....	15
Figura 5. Distribuição de pressão e tensão de cisalhamento sobre um perfil.....	16
Figura 6. Linhas de corrente sobre o perfil: (a) tensão de cisalhamento e (b) pressão.....	17
Figura 7. Força de sustentação L (lift) e arrasto D (drag).....	18
Figura 8. Componentes de força e momento em um aerofólio.....	19
Figura 9. (a) aerofólio simétrico NACA 0012 e (b) aerofólio assimétrico NACA 4412.....	20
Figura 10. Hélice de madeira sendo entalhada.....	21
Figura 11. Seções longitudinais, coladas e prensadas para dando forma à hélice.....	22
Figura 12. Seções longitudinais empilhadas e coladas.....	22
Figura 13. Seções transversais são cortadas, transferidas para pequenos blocos de madeira, depois empilhadas e cortadas, em seguida é dado o acabamento.....	23
Figura 14. Hélice sendo copiada em uma fresadora.....	23
Figura 15. Copiadora de disco automática.....	24
Figura 16. Hélice em madeira sendo usinada automaticamente em uma CNC.....	24
Figura 17. Representação do ponto e da reta como entes geométricos.....	25
Figura 18. Projeções no sistema de coordenadas do ponto, reta e plano.....	26
Figura 19. Representação bidimensional da forma do perfil.....	26
Figura 20. Representação tridimensional do perfil.....	27
Figura 21. Forma tridimensional produzida pelo deslocamento.....	27
Figura 22. Projeção paralela ao plano vertical de projeção,.....	28
Figura 23. Os planos de projeção PH, PV e PT, formam um cubo que.....	28
Figura 24. Vistas Ortográficas a partir dos planos de projeção.....	29
Figura 25. Exemplo de construção volumétrica complexa utilizando os conceitos de plano seriado.....	29
Figura 26. Sucessivos planos geram a forma do casco de um navio.....	30
Figura 27. Estrutura da asa de um avião formada por sucessivas nervuras sobre uma longarina.....	31
Figura 28. Repetição, mantendo formato e tamanho.....	31
Figura 29. Aumento da densidade com a diminuição do espaçamento.....	32
Figura 30. Gradação de tamanho mantendo-se o formato.....	32
Figura 31. (a)Variação da forma, (b) variação simultânea da forma e tamanho.....	33

Figura 32. À esquerda, os planos giram em um eixo vertical externo ao volume e a direita, os planos giram em um eixo comum em um ponto, no próprio plano.	33
Figura 33. Desenho básico de uma hélice.	34
Figura 34. Esquema da Metodologia Científica	44
Figura 35. Dados gerados no MATLAB, definindo os parâmetros de cada perfil.	50
Figura 36. Perfil padrão NACA 4412 especificações e arquivo Dat.	51
Figura 37. Os dados são colados diretamente na planilha eletrônica.	52
Figura 38. Operação para separação dos dados em duas colunas na planilha.	53
Figura 39. Modificação de vírgula por ponto nos separadores decimais, utilizando o bloco de notas.	54
Figura 40. Função CONCATENAR, para separação dos dados.	54
Figura 41. Troca do sinal no último dado, necessário para fechar a poligonal do perfil.	55
Figura 42. Representação do perfil AutoCAD.	55
Figura 43. Determinação do centro de gravidade do perfil e eixo longitudinal.	56
Figura 44. Dados transferidos para planilha nomeou-se	56
Figura 45(a) e (b). Representações das seções com suas distâncias, ângulos e comprimentos de corda a partir dos dados fornecidos pela planilha.	57
Figura 46. Exemplo de quatro dos quinze gabaritos gerados.	58
Figura 47. Desenho técnico para técnica um e técnica três.	59
Figura 48. Extração das silhuetas formando um plano seriado	60
Figura 49. Desenho técnico a partir das silhuetas da subtração da pá dos blocos em 3D.	60
Figura 50. Lâmina do <i>corteché</i> sendo afiada sobre a pedra dupla face.	62
Figura 51. A esquerda o material utilizado, à direita o arco de serra tico tico manual confeccionado pelo próprio usuário.	62
Figura 52. À esquerda o Desenho técnico dos gabaritos das seções transversais,	63
Figura 53. À esquerda o corte individual de cada gabarito e a direita o corte do perfil.	63
Figura 54. Arco de serra com lâmina horizontal.	64
Figura 55. Faces ortogonais do bloco onde serão desenhados os contornos da pá.	64
Figura 56. Desenhos impressos no formato A4, colados e bloco de madeira maciço.	65
Figura 57. Alfinetes para marcar os vértices que delinham os principais elementos do desenho, transferindo para o bloco de madeira.	65
Figura 58. Bloco fixo à mesa para o corte da projeção superior.	66
Figura 59. (a) corte do plano superior, (b) corte simultâneo dos planos frontal e posterior,	67
Figura 60. Foto da pá confeccionada com a primeira técnica.	68
Figura 61. Evitar madeira muito empenada, com furos e rachaduras.	69
Figura 62. Peças de madeira de reuso com pregos que devem ser retirados.	69

Figura 63. Marcação com alfinetes, para transferência do desenho técnico para a superfície da madeira.....	70
Figura 64. (a) Fixação da lâmina sobre a bancada, (b) corte do contorno.	70
Figura 65. (a) aplainamento realizado com plaina manual, (b) aplainamento com <i>corteché</i>	71
Figura 66. Com as lâminas cortadas, fica claro o plano seriado na longitudinal.	71
Figura 67. Marcação dos eixos nas lâminas para correto alinhamento.....	72
Figura 68. (a) Grampos de madeira, barra roscada, porcas e arruelas. (b) organização para montagem.....	72
Figura 69. Cola pvc sendo passada em uma das lâminas e conjunto montado e colado.....	73
Figura 70. Foto da pá confeccionada com a segunda técnica.....	73
Figura 71. Sequência do processo de produção da pá. Através da primeira técnica.....	76
Figura 72. Sequência do processo de produção da pá. Através da segunda técnica.....	77

Lista de Tabelas

Tabela 1. Classificação da metodologia de design e sua classificação.....	47
Tabela 2. Lista de insumos para confecção da pá com primeira técnica.....	79
Tabela 3. Lista de ferramentas utilizadas na confecção da pá.....	79
Tabela 4. Lista de insumos na confecção da pá com a segunda técnica	80
Tabela 5. Lista de ferramentas na confecção da pá com a segunda técnica.....	81
Tabela 6. Avaliação entre primeira e segunda técnica.....	82

Lista de Abreviaturas e Siglas

2D Duas dimensões

3D Três dimensões

CAD *Computer Aided Design*

CNC Comando Numérico Computadorizado

CP Centro de Pressão

D Drag

L Lift

kW Quilowatt

m Metro

mm Milímetro

MOE Módulo de Elasticidade

MOR Módulo de ruptura

NACA *National Advisory Committee for Aeronautics*

PIM Polo Industrial de Manaus

UFAM Universidade Federal do Amazonas

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema de Pesquisa.....	5
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo Geral.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificativa	6
1.4 Organização do trabalho.....	7
1.5 Estado da Arte ou Revisão Bibliográfica.....	8
1.5.1 Turbinas hidrocínéticas características	8
1.5.2 Construção de turbinas hidrocínéticas	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Perfil aerodinâmico.....	14
2.2 Técnicas de construção de pás em madeira para turbina.....	21
2.2.1. Entalhe direto na madeira	21
2.2.2. Confecção por seções longitudinais	21
2.2.3. Confecção por seções transversais	22
2.2.4. Usinagem manual	23
2.2.5. Usinagem automática	24
2.3 Design e adaptação tecnológica voltada à inovação.....	25
2.3.1 Fundamentos da geometria descritiva e planos de projeção	25
2.3.2 Plano seriado na composição tridimensional de formas complexas	29
2.3.3 Inovação utilizando baixa tecnologia x adaptação tecnológica.....	34
2.4 Revestimento das pás	37
2.4.1 Fibra de vidro	38
2.4.2 Resina Poliéster.....	38
2.4.3 Resina Epoxi	39
2.4.4 Compósitos.....	39
2.5 Ergonomia.....	40

3. METODOLOGIA.....	43
3.1 Método Científico	44
3.2 Metodologia de Design	46
4. RESULTADOS	48
4.1 Execução de técnicas de construção das pás	49
4.1.1 Geração do Perfil.....	49
4.1.2 Aplicando Plano Seriado na Confecção dos Gabaritos ..	57
4.1.3 Produção dos Desenhos Técnicos	58
4.2 Preparo de materiais e ferramentas.....	61
4.2.1 Cuidados com a madeira utilizada	61
4.2.2 Cuidado com as ferramentas.....	61
4.2.3 Serra tico tico manual.....	62
4.2.4 Confecção dos gabaritos.....	62
4.2.5 Arco de serra com lâmina perpendicular	63
4.3 Técnicas de construção das pás em madeira.....	64
4.3.1 Primeira Técnica.....	64
4.3.2 Segunda Técnica	68
5. ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS.....	74
5.1 Análise entre as técnicas de construção das pás.....	75
5.1.1 Discussão das Patentes	75
5.1.2 Primeira técnica	76
5.1.3 Segunda técnica.....	77
5.2 Análise do custo da produção da pá	78
5.2.1 Análise da primeira técnica.....	78
5.2.2 Análise da segunda técnica	80
5.3 Avaliação entre a primeira e a segunda técnica de construção das pás.....	82
6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES	84
6.1 Conclusão.....	85
6.2 Considerações finais	86

CAPÍTULO 1

Introdução

O homem desde a antiguidade, lutando pela sobrevivência, criou dispositivos para auxiliá-lo, utilizando recursos da natureza para substituir o trabalho braçal e extrair energia mecânica para diversas atividades, uma delas é utilizar a energia proveniente da água para realizar trabalho incomparável à capacidade humana. No poço de Josephus, Cairo (aproximadamente 3000 a.C.), havia uma máquina com correntes e caçambas, que bombeava água a 100 metros de altura. Arquimedes (287 – 212 a.C.) inventou uma bomba d'água que utilizava fuso, dentre outras máquinas hidráulicas que continuaram a evoluir durante os séculos, até os dias atuais (MACINTRE, 1983).

Com o aumento da demanda das sociedades por energia elétrica e a dependência da produção pela queima de combustíveis fósseis, que são nocivas ao meio ambiente, emitindo diversos gases poluentes, dentre eles o dióxido de carbono, voltasse à pesquisa e desenvolvimento de fontes renováveis com redução do impacto ambiental, principalmente tecnologias que usam a força cinética da água como fonte para produção de energia, (FRAENKEL, 2006).

Recentemente as matrizes energéticas globais de fontes de energia renováveis estão aumentando sua participação mundial, com projetos baseados em maduras tecnologias, como eólicas e solar, trazendo melhores relações de custo efetivo para sua expansão. As hidroelétricas possuem grandes percentagens de participação, mas pequenos projetos podem ser viáveis, abrindo oportunidades para novos investimentos, com redução de custo e possibilidades de inovações (NIEBUHR, DIJK, *et al.*, 2021).

Grandes hidroelétricas obtêm uma alta taxa de extração de energia gerada por metro cubico e dependem da diferença de altitude, transformando energia potencial do represamento da

água em energia cinética, que aciona uma turbina convertendo em energia elétrica, mas possui efeitos negativos ao meio ambiente, não sendo tão limpas assim, necessitando do alagamento de grandes áreas, deixando florestas submersas, que se decompõem e acabam liberando CO₂ e metano na atmosfera, prejudiciais ao meio ambiente. Muitas vezes causam impactos sociais, com o deslocamento de cidades e vilas inteiras, outro fator relevante é a necessidade de grandes infraestruturas, alto custo na construção e implantação, sendo necessário todo um segmento de geração, transmissão e distribuição, que só podem ser realizados por grandes empresas ou governos, viabilizados para atender um grande número de consumidores e desta forma obter retorno do investimento (MANCILLA, RIO, *et al.*, 2018).

Ainda conforme o autor supracitado, para pequenas comunidades, isoladas, próximas a rios e córregos, afastados dos grandes centros urbanos em que seria necessário transpor diversos obstáculos com relação à transmissão e distribuição de energia, ou seja, sistema *off-grid*, para isto, pode-se recorrer a micro geração, tendo como alternativa as turbinas hidrocinéticas, que são uma limpa e constante fonte de energia, que não dependem de queda d'água, possuem baixo custo, tempo de instalação e reduzido impacto ambiental, dependem somente da velocidade da água nos rios, convertendo a energia cinética da correnteza em energia elétrica através da movimentação de uma turbina conectada a um gerador elétrico. Outra questão importante para este tipo de micro geração de energia são as características peculiares das regiões com climas tropicais, no qual fontes renováveis como a energia solar não são tão eficientes devido ao grande volume pluviométrico e longos períodos de céu nublado reduzindo sua eficiência, outro problema é o alto índice de umidade prejudicial a equipamentos eletrônicos, além de favorecer ao crescimento de vegetação e fungos necessitando de manutenção periódica. No caso das turbinas eólicas, as florestas tropicais normalmente possuem alta densidade de árvores, que formam uma barreira natural as correntes de ar, dificultando e até impedindo a geração de energia, impossibilitando uma boa relação custo-benefício destes equipamentos.

A conversão hidrocínética de energia pode ser considerada uma tecnologia recente quando comparada a outras soluções de micro geração de energia, como painéis solares e geradores a combustão, sendo menos aplicada do que estes devido ao caráter específico em que se enquadra, necessitando de uma correnteza de rio próxima à sua aplicação.

Há diversos estudos acadêmicos acerca do tema, tendo alguns já sido testados no Brasil. No entanto, podem vir a ser uma alternativa proveitosa para o Amazonas devido ao seu baixo impacto ambiental e a oferta do potencial hídrico da região, ao qual, já foram feitos estudos utilizando turbina hidrocínética, sendo o mais famoso deles realizado por Hardwood (1985), onde o pesquisador britânico construiu, implantou e gerou 1 kW de energia. Apesar de relatar problemas e dificuldades inerentes aos rios, como as ilhas de capim do Rio Solimões, o estudo comprova que tais dispositivos são viáveis para aplicação na região.

Há alguns modelos comerciais de turbinas hidrocínéticas, mas, devido ao seu alto custo de aquisição, importação, instalação e manutenção, não sendo possível a implementação sem o fomento de instituições privadas ou públicas, o que os tornam distante da realidade dos usuários que moram em comunidades isoladas com poucos recursos financeiros.

De acordo com Muñoz, E. Chiang e Jara (2014), a seleção do material mais adequado para as pás do rotor deve ser analisado, levando em consideração o ambiente em que o equipamento está inserido, a quantidade de materiais disponíveis e as necessidades específicas para cada projeto, fazendo deste processo de seleção, um desafio. A escolha de um material inadequado pode causar custos desnecessários ao projeto, assim como uma redução da vida útil do equipamento. Portanto, a escolha do material é crucial para equilibrar a relação custo, robustez e viabilidade da produção das pás para turbinas hidrocínéticas, dentre os materiais, há, metais, polímeros, compósitos e outros, necessitando de ferramental e tecnologias específicas, em muitos casos praticamente impossíveis em termos de logística e custos de produção para que sejam produzidos em comunidades isoladas ou

com limitados recursos. Anyi e Kirke (2011), comprovaram a efetivação do uso madeira em pequenas comunidades a baixo custo, sendo este um material relativamente abundante e possui propriedades que se adequam bem a confecção das pás para a turbina hidrocínética, sendo necessários testes para lhe proporcionar o máximo rendimento.

Outro fator importante são as atribuições dos conceitos de Ecodesign, vinculado à técnica de construção da pá e aplicação de material local, o qual a mesma não termina somente com sua execução, mas trazem benefícios periféricos, consequentes da geração própria de energia aos usuários que vivem em comunidades isoladas, deste modo, haverá contribuições ecossistêmicas, dentre elas: técnicas, sociais, econômicas e culturais, ou seja, proporcionará retorno a estas populações, promovendo integração em diversos aspectos, abrindo assim diversas oportunidades e melhoria na qualidade de vida como um todo (LEE e PARK, 2005).

Por estes motivos, este trabalho que faz parte do esforço do grupo de pesquisa Manufatura Avançada da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas – FT/UFAM em desenvolver competência na tecnologia e no processo de fabricação das pás para a turbina hidrocínética com materiais sustentáveis.

A técnica de produção proposta pode ser realizada por qualquer usuário sem grande especialização técnica, utilizando equipamentos e insumos que sejam reaproveitados ou adquiridos facilmente no comércio local, evitando a importação de componentes caros e onerosos, inviabilizando a relação custo-benefício da produção deste item tão importante para geração de energia própria. Portanto, este trabalho propõe uma alternativa em relação aos materiais e ferramentas disponíveis no comércio local para a produção simplificada das pás em madeira reutilizada para turbina hidrocínética axial, adaptando a técnica de construção de hélices aeronáuticas e turbinas eólicas para as pás da turbina hidrocínética.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A turbina hidrocínética ou mesmo dispositivos similares para geração de energia são quase sempre associados à alta tecnologia, ou seja, são aparelhos impossíveis de serem construídos com ferramentas convencionais ou em pequenas oficinas. Outra questão são os materiais, normalmente também são associados a peças construídas com o que há de mais novo em termos de tecnologia.

Como as pás para a turbina hidrocínética são componentes suscetíveis à quebra por serem peças móveis sujeitas a eventuais impactos de detritos que possam vir flutuando junto à correnteza, e caso isto aconteça, haverá a interrupção da geração de energia até que a mesma seja substituída. Portanto, surge à questão para a pesquisa: é possível confeccionar com material local as pás para turbina hidrocínética utilizando ferramentas convencionais e através de uma adaptação tecnológica, sendo esta peça, normalmente fabricada com alta tecnologia, e desta forma trazer inovação, pelo fato de qualquer pessoa, munida somente de ferramentas simples seja capaz de produzir este componente, principalmente, usuários que moram em regiões isoladas na Amazônia, utilizando como material a madeira de reuso ou aproveitada de árvores já caídas, trazendo assim benefícios ao meio ambiente, tornando-se um atributo de “ecodesign” em função do reaproveitamento, pois será um insumo utilizado diretamente, sendo um material sustentável, pois é orgânico, absorvido e reciclado pela própria natureza, após seu uso. Outros materiais artificiais como metais, polímeros, compósitos e etc., gastam muita energia ao longo de seu ciclo de vida, desde a matéria prima, processamento e produto final, gerando resíduos difíceis de serem reciclados em comparação com a madeira, neste caso, o insumo para a produção das pás (ASHBY e JOHNSON, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho pretende adaptar técnica de construção de hélices aeronáuticas para as pás de turbina hidrocínética axial, confeccionadas em madeira com ferramentas convencionais, sem o uso de eletricidade para produção em pequenas oficinas.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Identificar técnicas de construção das pás em madeira;
- Designar técnica de construção de pás com madeira de reuso ou madeira de árvores caídas da Amazônia;

- Contribuir estrategicamente para o aproveitamento de insumos naturais de forma ecoeficiente;
- Propor ferramental necessário a sua confecção, utilizando materiais de fácil aquisição nas comunidades e no mercado;
- Disponibilizar conteúdo para confecção de um manual, bem como gabaritos e desenhos técnicos para replicação da técnica de construção das pás.

1.3 JUSTIFICATIVA

As pás de uma turbina hidrocínética compartilham teorias físicas similares para seu funcionamento, com hélices aeronáuticas e turbinas eólicas, no entanto, em vez do ar como fluido, utilizam-se das correntes fluviais para conversão de energia potencial da água em energia elétrica, possibilitando a adaptação de tecnologias.

Segundo Rutkay (2014), as hélices de aviões eram confeccionadas em madeira, posteriormente passaram a ser de aço e alumínio, atualmente são produzidas em compósitos avançados, sendo as hélices de madeira, ainda, amplamente produzidas para pequenas aeronaves. Entretanto, pretende-se fazer uma adaptação tecnológica para construção em madeira das pás de uma turbina hidrocínética axial, com a utilização de materiais e ferramentas simples, e, sendo esta uma tecnologia relativamente recente, pretende-se contribuir com a literatura sobre o processo de fabricação.

Conforme os autores, Muñoz et al. (2014); Javaherchi et al. (2013); Davila-Vilchis e Mishra, (2014), há vários estudos, o qual, as pás para turbinas hidrocínéticas empregam materiais altamente tecnológicos como compósitos, alumínio e aço inox. Porém, estes materiais fogem do escopo do trabalho, além de se tornar uma possibilidade distante a grande maioria dos usuários que não dispõem de ferramentas, acesso ou recursos para aquisição ou manipulação destes materiais sofisticados. Como alternativa, será utilizado a madeira, material de fácil aquisição e abundante em comunidades afastadas na Amazônia, desde que só utilizem a madeira de árvores que já estejam caídas. Próximo a grandes centros, pode-se dispor da madeira de reuso, provenientes das sobras de outras atividades, ou adquiridas em lojas que vendam madeiras de reuso, desta forma, não haverá agressão ao meio ambiente, e será agregado valor, em função da utilização da madeira aplicada desta forma.

As pás são muito suscetíveis a danos, portanto é imprescindível sua produção e manutenção local, reduzindo custo e demora na reposição, evitando o deslocamento a grandes centros urbanos, possibilitando economia aos usuários de baixo poder aquisitivo.

A utilização de materiais locais e ferramentas simples não dependentes de energia elétrica, afeta diretamente o custo de produção e a viabilidade do projeto, com a possibilidade de causar entusiasmo aos usuários, em especial, pequenas comunidades, com oficina modesta, utilizando insumos locais ou materiais facilmente adquiridos no comércio, consigam construir e replicar as pás através de documentação obedecendo a critérios e técnicas relativamente simples. Desta maneira o morador poderá se beneficiar de uma fonte de energia renovável e de certa forma, gerado em seu quintal, sendo abundante, durável, acessível e favorável ao meio ambiente, ou seja, a produção própria de eletricidade promove o desenvolvimento social e econômico, acompanhado deste progresso (ANYI e KIRKE, 2011).

Outro fator importante, vinculado à técnica de construção da pá, é a geração própria de energia aos usuários que vivem em comunidades isoladas, desta forma, haverá contribuições ecossistêmicas, do ponto de vista técnico, social, econômico e cultural, ou seja, proporcionará retorno a estas populações, promovendo integração em diversos aspectos, abrindo assim, diversas oportunidades e melhoria na qualidade de vida como um todo (LEE e PARK, 2005).

Neste contexto, o presente trabalho constitui o esforço científico do grupo de pesquisa em Manufatura Avançada da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas – FT/UFAM, no desenvolvimento de estudos e pesquisa em tecnologia de construção de turbina hidrocínética axial para geração de energia elétrica em locais remotos da Amazônica.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho será estruturado em cinco capítulos, organizado da seguinte forma:

O Capítulo 1 apresenta a introdução da dissertação, a problematização com definição da hipótese, os objetivos gerais e específicos e a justificativa ou motivação da pesquisa e o estado da arte ou revisão bibliográfica.

O Capítulo 2 consiste da realização do referencial teórico, através de embasamento bibliográfico a cerca dos elementos que são pertinentes, de tal forma que possibilite a fundamentação e o conhecimento dos dados para o trabalho. Dentre estes elementos temos o perfil aerodinâmico, sendo a base para o funcionamento das pás para a turbina hidrocínética; os métodos de construção em madeira das pás para turbina, identificando cada uma;; design e inovação através da adaptação tecnológica, com a utilização de conceitos trazidos do design para auxiliar na técnica de construção das pás para turbina hidrocínética e a inovação através da adaptação tecnológica; o revestimento das pás, identificando quais os principais tipos de resinas e suas características, e, a fibra de vidro atuando como compósito para impermeabilização e reforço. Ergonomia que trata de conceitos

relacionados à adoção boas práticas para realização do trabalho, minimizando lesões, desconforto e acidentes, dentre outros.

O Capítulo 3 trata da metodologia aplicada ao trabalho utilizando o método científico e metodologia de design.

O Capítulo 4 é realizado o desenvolvimento iniciando com a geração dos perfis, descrevendo o processo que converte dados numéricos em um perfil aerodinâmico 2D ou 3D (bidimensional ou tridimensional) representado em um software CAD (*Computer Aided Design*) ou Desenho Assistido por Computador; O plano seriado para confecção dos gabaritos; A geração dos desenhos técnicos, com características própria para as aplicações; preparo de materiais e ferramentas; técnica de construção das pás por entalhe e técnica de construção das pás por seções transversais.

O Capítulo 5 analisa duas técnicas de construção das pás e a viabilidade do processo, custo e eficiência da fabricação, sendo, gerando base de dados para criação de um manual com a descrição das etapas para execução da tarefa.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões preliminares dos resultados da pesquisa.

1.5 ESTADO DA ARTE OU REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.5.1 Turbinas hidrocínéticas características

Mancilla, Rio, *et al.*, (2018), realizou uma interessante abordagem sobre as turbinas hidrocínéticas em um artigo intitulado: “Turbinas hidrocínéticas de eixo horizontal: uma revisão da literatura”, onde são explanados os conceitos básicos de uma turbina hidrocínética, suas características, projetos, tecnologias, materiais utilizados e melhorias de seu rendimento como a utilização de difusores e o distanciamento em relação ao leito e margens dos rios, aproveitando a turbulência na água, melhorando a extração de energia. Trata também das relações e diferença entre hidroelétricas e turbinas hidrocínéticas. Destacasse as vantagens das turbinas hidrocínéticas em relação a outras fontes renováveis de energia, que são limitadas justamente pelo excesso de umidade, como no caso das células fotovoltaicas, suscetíveis a fungos e vegetação, e pelo baixo índice de insolação por conta do volume pluviométrico de determinadas regiões, e, como em áreas com grande densidade de árvores absorvem as correntes de ar, não favorecendo a utilização de turbinas eólicas.

Portanto, em regiões com estas características, a geração da turbina hidrocínética sobre a energia eólica apresenta certa constância e regularidade no fluxo dos rios para geração de energia. Mas, a obtenção de energia provinda dos rios não é ilimitada, e as turbinas hidrocínéticas por ter o

princípio de funcionamento similar às turbinas eólicas, obedecem a uma extração máxima de energia no valor de 59,3%, conhecida como limite Betz.

Há diversas configurações para as turbinas hidrocínéticas, mas o que as define, é a orientação de seu eixo de rotação em relação ao fluxo da água, portanto, existem dois grupos principais, turbinas horizontais e turbinas de fluxo cruzado, no qual também possuem subclassificações. As turbinas hidrocínéticas de eixo horizontal possuem seu eixo de rotação paralelo a corrente da água e utilizam um propulsor em sua extremidade, com os seguintes layouts, conforme Figura 1.

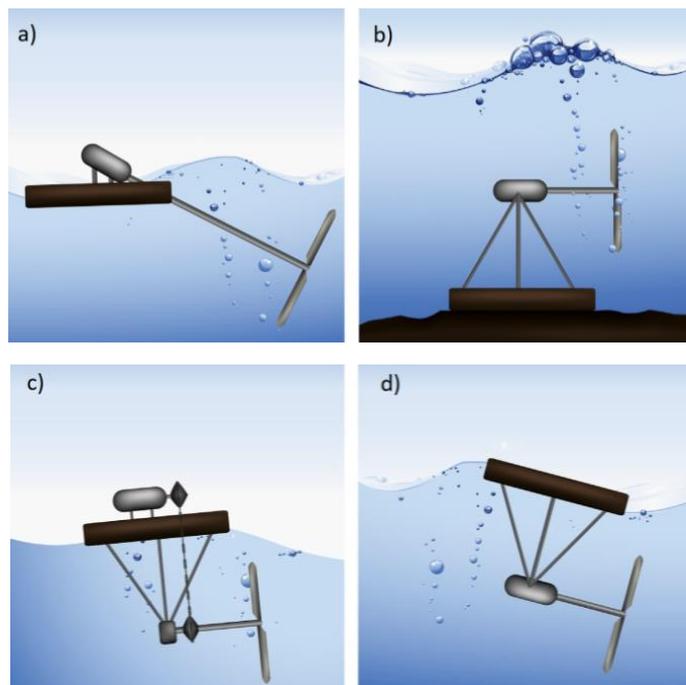


Figura 1, Turbinas hidrocínéticas axiais.
Fonte: Vermaak et al. (2014).

Na Figura 1a, a turbina está sobre uma plataforma elevada e está inclinada, esta configuração é utilizada em pequenos rios. Figura 1b, a turbina está ancorada no leito do mar, rio ou canal. Na Figura 1c, o gerador está montado sobre uma plataforma flutuante e o propulsor abaixo, sendo a energia cinética transferida ao gerador por um sistema de transmissão. Na Figura 1d, o gerador está acoplado diretamente ao propulsor, também sob uma plataforma flutuante. As configurações das figuras 1b, 1c e 1d, são usadas principalmente para extração de energia elétrica em oceanos. As turbinas axiais trabalham em um estágio de operação, ou seja, a água flui sobre as lâminas que extraem a energia cinética para o eixo, operam em maiores velocidade se comparadas com as turbinas de eixo cruzado (MANCILLA, RIO, *et al.*, 2018).

As turbinas hidrocínéticas de eixo cruzado possuem seu eixo perpendicular às correntes da água, estas operam independente de sua direção, seu funcionamento é bem diferente em relação às turbinas axiais, também havendo diversos layouts, conforme mostrados na Figura 2.

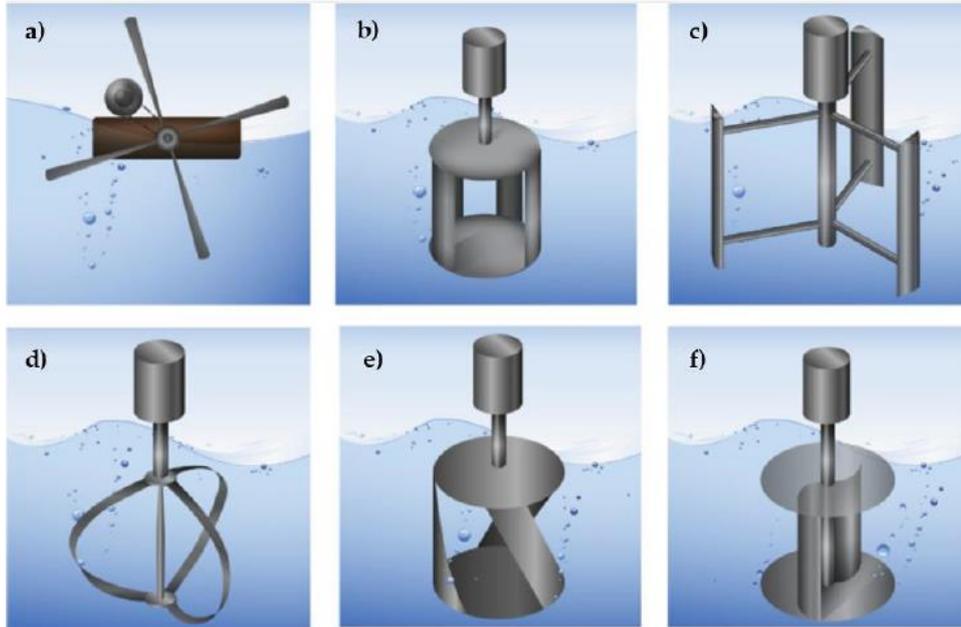


Figura 2. Turbinas hidrocinéticas de eixo cruzado.
 Fonte: Vermaak et al. (2014).

Na Figura 2a, temos as turbinas de eixo horizontal, que convertem a força de arrasto em energia mecânica ou elétrica, nas Figura 2b a Figura 2f, temos outras configurações com princípio de funcionamento diferente, seus designers são mais complexos e trabalham em dois estágios, sendo: primeiro, a água flui para as lâminas, adentrando a turbina, ou seja, do exterior para o interior da mesma, transferindo a energia cinética para o eixo, segundo, a água flui do interior para o exterior, este processo reduz a velocidade de operação.

Conforme Faria (2017), para facilitar o entendimento, foi montado um esquema geral com duas principais vertentes na classificação geral das turbinas hidrocinéticas com seus respectivos layouts e características específicas de construção e aplicação. Ilustrado na Figura 3.

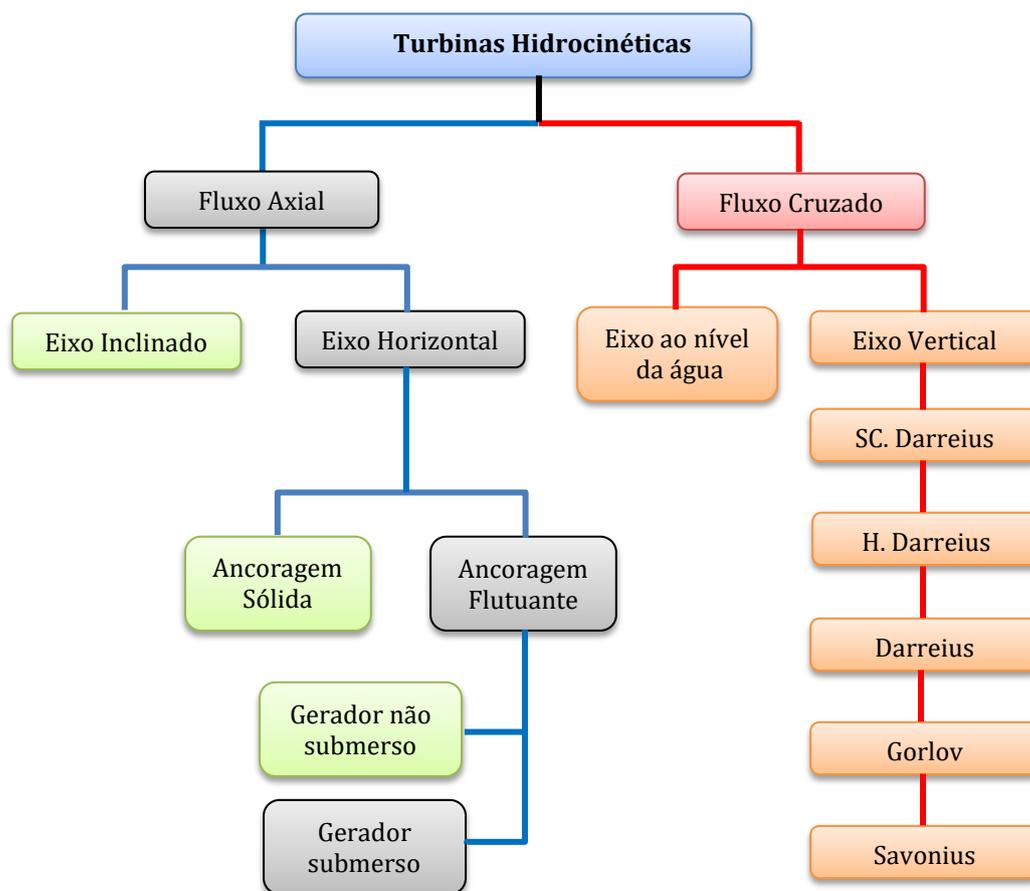


Figura 3. Classificação geral das turbinas hidrocinéticas.
Fonte: Faria (2017).

Os quadros na cor cinza caracterizam o layout do presente trabalho que é uma turbina hidrocinética de fluxo axial, eixo horizontal, ancoragem flutuante com gerador submerso, sendo denominada de turbina hidrocinética de eixo horizontal, com configuração similar ao mostrado na Figura 1d.

1.5.2 Construção de turbinas hidrocinéticas

De acordo com Mancilla *et al.* (2018), a construção de turbinas hidrocinéticas não é uma tarefa simples, sendo necessário melhorar sempre a rentabilidade, reduzindo custos de concepção, fabricação, materiais e manutenção, equilibrando o investimento necessário à sua produção.

Para aplicação da madeira como material base para a confecção das pás é necessário ser realizada uma análise estrutural, a viabilidade, rentabilidade e análise de custos, levando em consideração a disponibilidade do local, para que proporcione autonomia aos habitantes para que

estes possam gerir seus próprios sistemas, em relação à confecção das pás da turbina hidrocínética, incluindo sua manutenção (MUÑOZ, E.CHIANG e JARA, 2014).

Anyi e Kirke (2011), mostraram e comprovaram a viabilidade técnica e prática da fabricação de pás para turbinas hidrocínéticas com madeira, no qual utilizaram técnicas de carpintaria e ferramental simples de forma empírica, produziram um modelo que requer certa perícia, principalmente observando o método de fabricação a ser utilizado, utilizaram como material base o pinus seco, obtiveram um modelo, que serviu de referência para serem copiadas com uma fresadora ou com serra rotativa. No processo destacaram a utilização da madeira como material acessível em relação ao custo e desempenho, e de fácil se trabalhar, não requerendo equipamentos inviáveis de se utilizar para certas localidades. Propuseram a utilização de fibra de vidro ou camadas de resina epóxi, para aumentar a resistência e impermeabilização, promovendo a durabilidade em relação ao trabalho submerso na água e resistência mecânica.

Conforme K. Chandrashekhara e Mishra (2014); Mancilla *et al.* (2018), outros materiais são utilizados na fabricação das pás de turbinas hidrocínéticas, como alumínio, aço inox, mas dentre eles, a fibra de carbono que apesar do melhor desempenho por ser mais leve e resistente, pode custar de 10 a 20 vezes mais, no entanto, não são viáveis a sua produção em comunidades isoladas.

CAPÍTULO 2

Referencial Teórico

Neste capítulo é feita uma abordagem multidisciplinar dos principais conceitos pertinentes à elaboração da pesquisa, fundamentando os conhecimentos necessários às questões relacionadas aos problemas para atendimento dos objetivos propostos, ordenado com as seguintes seções:

Na seção 2.1 realizou-se uma descrição sucinta dos principais conceitos que envolvem o funcionamento de um aerofólio ou perfil aerodinâmico, analisando as principais características a nível bidimensional, com suas definições básicas e princípio de funcionamento;

Na seção 2.2 é realizada uma classificação geral das técnicas de construção de pás em madeira para sistemas similares, obtendo-se certa abrangência de métodos construtivos, procedimentos e ferramentas utilizadas;

Na seção 2.3 design e adaptação tecnológica voltada à inovação;

Na seção 2.4 revestimento das pás, fibra de vidro, resina epóxi e poliéster e compósitos;

Na seção 2.5 ergonomia.

2.1 PERFIL AERODINÂMICO

As pás de uma turbina hidrocínética apresentam similaridades com turbinas eólicas, resguardadas as diferenças, como fluido, densidade e viscosidade (ADNAN, TAHIR, *et al.*, 2021).

Para Remer (2017), na aeronáutica, a hélice é utilizada para propulsão, é essencialmente uma asa rotativa, onde a potência do motor faz girar um eixo, que converte esta rotação em movimento, fazendo com que os aerofólios que o constituem proporcionem sustentação e por consequência, o empuxo à aeronave. E conforme Adnan, *et al.*, (2021), as turbinas com finalidade de geração de energia como a eólica ou a hidrocínética, o sistema é o inverso, ou seja, a energia dos ventos ou da água transmite tração para as pás em toda a sua superfície, transmitindo esta força a um eixo, que faz a conversão da energia potencial em energia cinética e por sua vez em energia elétrica, portanto, a pá é um elemento de suma importância, tanto em seu dimensionamento quanto a sua forma para se obter a maior eficiência, com isto, é necessário o conhecimento de seus princípios básicos de e as forças envolvidas para seu funcionamento. Neste sentido, o design do perfil (design relacionado especificamente à forma) possui função específica determinada por sua morfologia bidimensional pré-estabelecidas por dados, que proporcionam características casadas à aplicação do projeto. Estes dados são calculados com valores que determinam parâmetros como: distâncias para cada seção do perfil aerodinâmico, suas proporções e os ângulos que determinam a forma tridimensional ou o volume da pá.

Conforme Munson, Young e Okuiishi (2004), o conceito de fluido, que intuitivamente é diferenciado dos sólidos, pela resistência dimensional e que são aparentemente estáveis, enquanto os fluidos tendem a escoar e se acomodar aos recipientes que os contém. Mas este conceito não satisfaz do ponto de vista da física e da ciência, deve-se recorrer ao entendimento a nível molecular, onde para o sólido (Aço, rocha e etc.), devido à proximidade e a forte ligação das moléculas, garante-lhes uma grande coesão e boa resistência à deformação, enquanto para os líquidos (água, óleo e etc.) há um espaçamento maior entre as moléculas e as forças de coesão, que são fracas, comparativamente aos sólidos, dando-lhes liberdade, permitindo um bom escoamento e são facilmente deformados, mas possuem baixa compressibilidade. Os gases (ar, hélio e etc.) por sua vez, possuem um espaçamento ainda maior entre suas moléculas, permitindo serem facilmente comprimidos e ocuparão o volume de qualquer recipiente que os contenha. De posse destes conceitos básicos, percebemos que líquidos e gases são fluídos, e que existem algumas diferenças entre eles, no qual podemos destacar a questão da compressibilidade, a densidade e a fluidez, porém, para as leis aerodinâmicas podem ser aplicadas de forma idêntica, respeitando as características de cada um.

De acordo Munson, Young e Okuiishi (2004), para entendimento da atuação das forças aerodinâmicas sobre uma superfície, foi utilizado o conceito de escoamento em torno de corpos

imersos, como por exemplo, o escoamento do ar em torno das asas de um avião ou o escoamento da água em torno de um perfil, que, para conhecimento das forças principais e atuantes, dependem de diversos fenômenos e parâmetros, tais como forma, tamanho do corpo, velocidade, orientação e propriedades do fluido que escoam sobre o corpo. As forças que atuam nos corpos imersos em um fluido e que apresentam movimento são o resultado da interação entre o corpo e o fluido, e estas, dependem fortemente da forma, caracterizada por um perfil aerodinâmico ou aerofólio.

De acordo com Anderson JR. (2015), o perfil aerodinâmico, visto na Figura 4, é constituído dos seguintes componentes: o bordo de ataque, normalmente o lado mais espesso, e este, fornece resistência mecânica, indo de encontro ao fluido; o bordo de fuga, sendo a superfície mais fina por onde é escoado o fluido; o extradorso ou superfície superior do perfil, sendo o lado mais arqueado; o intradorso ou superfície inferior, que é a face normalmente mais plana; a corda, que corresponde ao comprimento que se estende do bordo de ataque ao bordo de fuga; a linha de curvatura média, mantendo-se equidistante entre as linhas de contorno da superfície superior e superfície inferior; o arqueamento, que é a distância máxima entre a linha de curvatura média e a corda; a espessura, que é o ponto mais largo do perfil. A forma do arqueamento, da linha média de curvatura e a espessura, determinam as características de estruturação, sustentação e momento de um aerofólio.

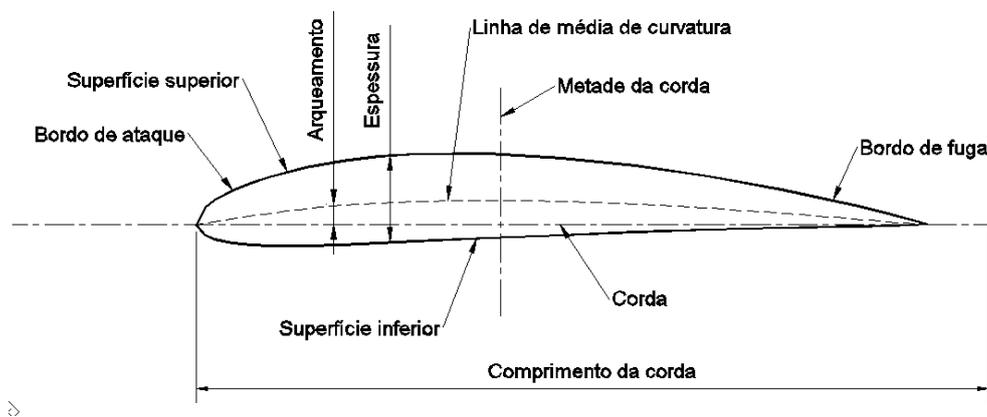


Figura 4. Perfil e seus principais componentes
Fonte: Adaptado de Anderson (2015).

Mas como é gerada a sustentação, sendo uma das principais forças dinâmicas dos fluidos, bem, considere um fluxo corrente com determinada velocidade (U) incidindo sobre um determinado perfil, haverá uma pressão se distribuindo sobre toda sua superfície, temos também outra força chamada tensão de cisalhamento que corresponde à fricção sobre a superfície, estas são as duas fontes fundamentais de força sobre um perfil (ANDERSON JR., 2015).

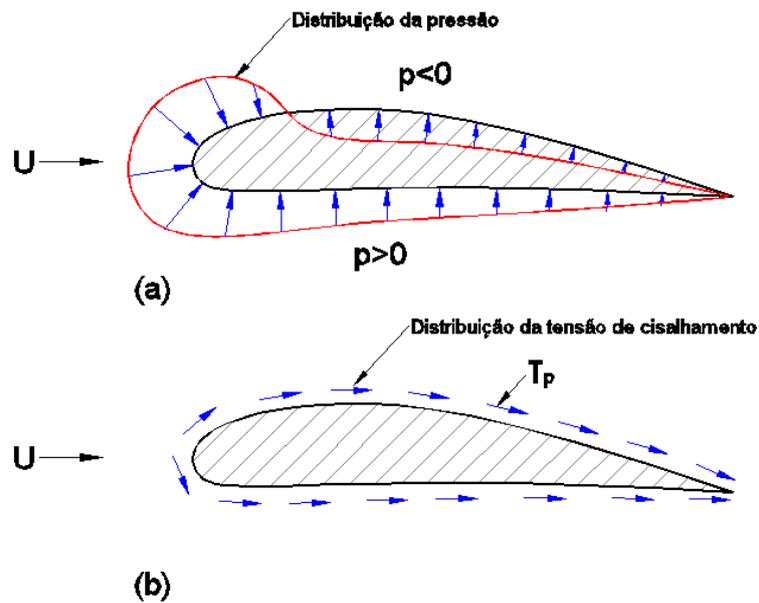


Figura 5. Distribuição de pressão e tensão de cisalhamento sobre um perfil.
 Fonte: Adaptado de (MUNSON, YOUNG e OKUIISHI, 2004).

Conforme Munson, Young e Okuiishi (2004), analisando a Figura 5a, o fluido com velocidade U , gera pressão na interação fluido-corpo, e este possui um gradiente de pressão, atuando sempre perpendicular a toda superfície e sua magnitude varia em cada ponto, em função do local de atuação e da forma. Esta pressão pode ser positiva ou negativa, como no exemplo, na superfície superior do perfil, temos $p < 0$, pressão negativa e na superfície inferior $p > 0$, pressão positiva, e esta diferença de pressão são variáveis sobre toda a superfície do perfil ajustando-se à forma, e é responsável pelas forças aerodinâmicas sobre a mesma. A segunda fonte, mostrada na Figura 5b, é a tensão de cisalhamento, e está associada à viscosidade do fluido, ou seja, resistência à deformação dos fluídos ou fluidez das substâncias, também atuando sobre toda a superfície do perfil no mesmo sentido do escoamento do fluido ou paralelo à superfície, causando uma fricção ou uma “raspagem” ao passar por todo o corpo.

Ainda de acordo como os autores supracitados, para melhor compreensão utilizam-se linhas de corrente escoando em uma determinada velocidade sobre o perfil, ao qual notamos que devido à forma, o fluido envolve toda a superfície com a atuação das forças de pressão e tensão de cisalhamento.

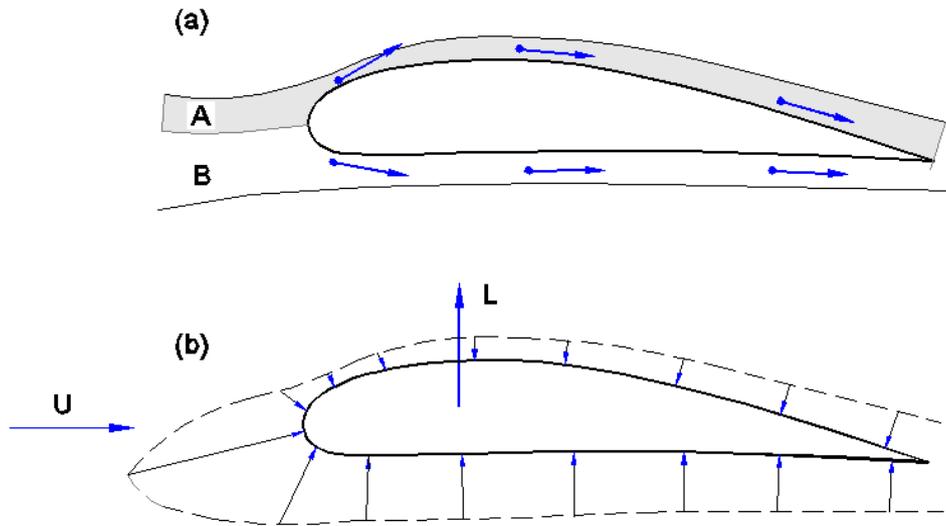


Figura 6. Linhas de corrente sobre o perfil: (a) tensão de cisalhamento e (b) pressão.
 Fonte: Adaptado de Anderson (2015).

Na Figura 6a, observa-se a tensão de cisalhamento no qual o fluido “raspa” toda a superfície do perfil, promovendo assim um arrasto, representado pela letra *D* (*Drag*). Esta força funciona como um freio aerodinâmico, e dependente da forma, ângulo de incidência, velocidade, temperatura e características do fluido, normalmente seu índice deve ser minimizado ao máximo para evitar perdas de rendimento, claro, isto depende do projeto, por exemplo, no paraquedas, o arrasto é a força mais importante e deve ser suficiente para sustentar o paraquedista.

Em conformidade com Munson, Young e Okuiishi (2004), a pressão também gera arrasto, principalmente no bordo de ataque, mas seu vetor de força é menor em relação soma dos outros vetores, observado na Figura 6b, onde perfil como um corpo imerso em um fluido é tangenciado em toda a sua superfície com variações das forças de pressão em função da forma. Na superfície superior (extradorso) as linhas de pressão são menores que a superfície inferior (intradorso), logo, há uma força de sustentação representada pela letra *L* (*Lift*), e esta, é sempre perpendicular ao sentido do fluido, assim como a força de arrasto está sempre paralela ao sentido do fluido, ilustrado na Figura 7.

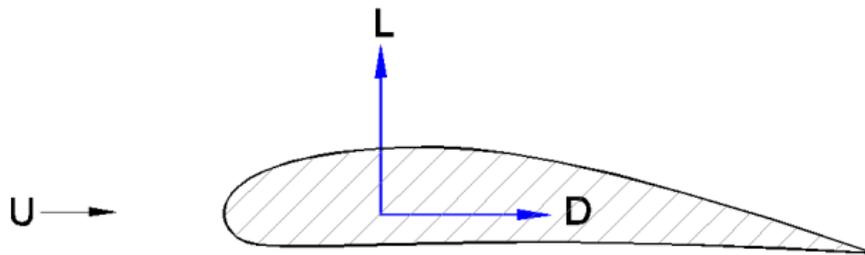


Figura 7. Força de sustentação L (lift) e arrasto D (drag).
Fonte: Adaptado de MUNSON, YOUNG e OKUIISHI, (2004).

Foram tratadas forças aerodinâmicas do fluido sobre o aerofólio em ângulo nulo, porém conforme Anderson JR. (2015), aumentando-se o coeficiente de sustentação, ou inclinando o mesmo em um determinado ângulo, há uma elevação da pressão e por consequência um aumento do índice de sustentação, bem como do arrasto, mas há um limite onde se consegue o maior índice de sustentação, após este ponto, haverá uma ruptura chamada de *stol*, que é a separação do fluxo sobre a superfície superior do aerofólio, e assim, a total perda de sustentação. Inclinando o aerofólio contra o fluxo do fluido com velocidade V_∞ (Vento de corrente livre), temos a distribuição de pressão e força de cisalhamento gerando um momento M sobre o aerofólio tendendo a rotacioná-lo em um determinado ponto, chamado CP (Centro de Pressão), localizado entre um quarto e um terço da corda a partir o ponto inicial no bordo de ataque. Para o presente trabalho será utilizado o perfil padrão NACA 4412, no qual, para esta família, o CP encontra-se a um terço da corda (BURTON, SHARPE, *et al.*, 2001); (JOHN D. ANDERSON, 2007).

Ainda de acordo com os autores supracitados, se verifica a partir da figura 5, na qual se ilustra um aerofólio e seus componentes de forças com a corda c, a um determinado ângulo α em relação ao fluxo do fluido V_∞ , havendo um momento M, atuando em um eixo CP, ocorrendo acréscimo na força de sustentação e também no arrasto, no qual, a composição das duas forças obtém-se uma resultante R. Aumentando-se o ângulo, em certo momento ocorrerá o *stol*, que é o total colapso da força de sustentação. Portanto, é necessário considerar este eixo, como ponto de equilíbrio entre as forças atuantes para que não ocorram perdas provocadas por torções sobre o perfil.

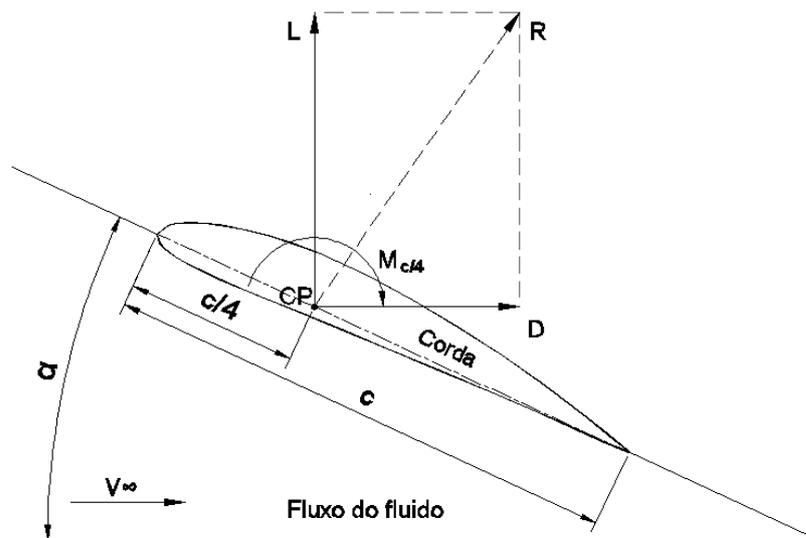


Figura 8. Componentes de força e momento em um aerofólio.
 Fonte: Adaptado de Anderson (2015).

De acordo com Anderson JR. (2015), o estudo da influência dos fluidos sobre perfis aerodinâmicos é complexo, envolvido por inúmeras variáveis e cálculos complexos, que não são totalmente esgotados por previsões teóricas ou computacionais, sendo necessários muitos testes experimentais, para isto foram desenvolvidas pesquisas para sistematizar e estabelecer características dos perfis. Dentre as mais conhecidas está a NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) ou (Comitê Nacional para Aconselhamento sobre Aeronáutica) fundada em três de março 1915, nos Estados Unidos. Estas entidades realizaram inúmeros testes e catalogaram os resultados para inúmeros perfis, sendo utilizados especificamente para determinadas aplicações.

A partir de uma simples forma plana, pode-se obter sustentação, um exemplo prático é ao se segurar uma folha de papel plana e rígida contra a direção do vento no mesmo sentido da corrente de ar, haverá um equilíbrio entre as forças, porém se inclinarmos a folha de papel em um determinado ângulo, sente-se uma força tentando levantar a folha, é a sustentação, também sentiremos outra força empurrando-a contra o sentido da corrente de ar, é o arrasto. Portanto, deve-se conhecer o comportamento prévio e características do aerofólio em função de sua aplicação, como exemplo: Invertendo-se um aerofólio utilizando o mesmo ângulo de ataque na posição normal, presumisse que não haveria sustentação, mas na prática, não é isto que acontece, continuará havendo sustentação, na verdade praticamente qualquer forma quando inclinada em relação a um fluido, apresentará sustentação e arrasto e todas as forças decorrentes de um corpo imerso, porém, não apresentarão a mesma eficiência. Um bom exemplo é um avião cuja à asa é assimétrica com a corda arqueada, sendo projetada para voar em posição normal e suportando bem o peso da aeronave, mesmo a velocidades relativamente baixa, porém, ao se voar de ponta cabeça,

continuará a haver sustentação nas asas, porém com menor intensidade, sendo necessário fornecer mais tração do motor, portanto, deverá haver aumento de velocidade para manter sua posição no ar, caso contrário, este começa a cair. Para aviões acrobáticos, em que o desenho do aerofólio da asa normalmente é simétrico, pode-se voar em qualquer posição, não havendo necessidade de compensação para manter sua posição no ar, no entanto, este não plana tão bem quanto um avião de asa com aerofólio assimétrico. Na Figura 9a, temos um aerofólio simétrico NACA0012, a linha média é reta, e na Figura 9b, um aerofólio assimétrico NACA4412, a linha média é arqueada (ANDERSON JR., 2015).

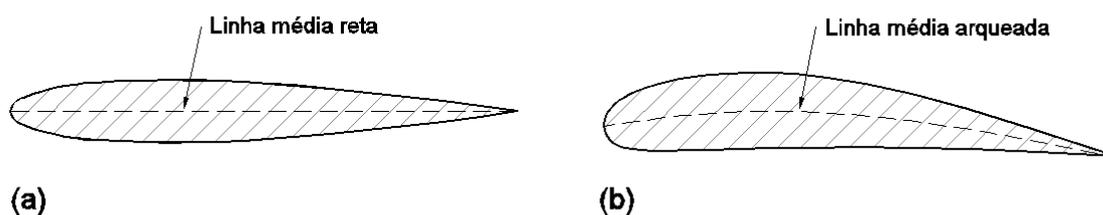


Figura 9. (a) aerofólio simétrico NACA 0012 e (b) aerofólio assimétrico NACA 4412 .
Fonte: Adaptado de Anderson (2015).

É de vital importância a escolha apropriada do aerofólio ou perfil aerodinâmico, para que haja o melhor rendimento para o projeto, determinando cuidadosamente a sua forma, ângulos e dimensões para aproveitamento das forças resultantes, no caso, principalmente a força de sustentação. A partir dos conceitos descritos, estes deverão ser aplicados para a construção tridimensional da pá para a turbina hidrocínética (ADNAN, TAHIR, *et al.*, 2021).

Os parâmetros de cada seção do perfil são calculados matematicamente, visando proporcionar maior rendimento, melhorando a eficiência e reduzindo o arrasto, normalmente têm-se a ponta da pá com o perfil mais fino, menor corda e menor ângulo de incidência, próximo ao cubo, temos a raiz onde o perfil é mais espesso, possui maior corda e ângulo de incidência.

A lâmina deve ser bem calculada, para que além do rendimento, suporte bem as forças de torção e flexão, característica do movimento das mesmas, neste quesito entra em questão o dimensionamento e o material empregado.

2.2 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE PÁS EM MADEIRA PARA TURBINA

Após pesquisa realizada por levantamento bibliográfico a respeito das técnicas de construção de hélices para aviação, turbinas eólicas e hidrocínéticas com pás em madeira, obteve-se a seguinte classificação geral: entalhe direto na madeira, confecção por seções longitudinais, confecção por seções transversais, Usinagem manual e usinagem automática, sendo que as três primeiras técnicas podem ser totalmente manuais, enquadrando-se no escopo da pesquisa, o restante necessitam de equipamentos dependentes de energia elétrica ou equipamentos inviáveis de serem utilizados em áreas remotas ou *off-grid*.

2.2.1. Entalhe direto na madeira

Neste processo, faz-se um desenho sobre o bloco de madeira na parte superior e nas laterais, e, utilizando ferramentas convencionais, como: martelo, talhadeira, grosa, lixa e etc., retira-se o material, conformando. Com a utilização de gabaritos chega-se a forma final (SHUBERT, 1984), conforme visto na Figura 10.



Figura 10. Hélice de madeira sendo entalhada.
Fonte: Foto ilustrativa da Internet.

2.2.2. Confecção por seções longitudinais

Conforme Weick (1960), este processo de fabricação utiliza-se seções longitudinais ou lâminas cortadas no formato pré-estabelecido com o contorno realizado com curvas suaves, estas, então são coladas e prensadas formando uma espécie de “sanduiche”, conforme ilustração na conforme ilustrado na Figura 11.

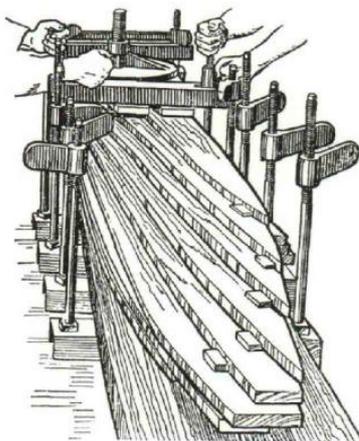


Figura 11. Seções longitudinais, coladas e prensadas para dando forma à hélice.

Fonte: Weick (1960).

Em seguida são retirados os degraus mais grosseiros, conformadas utilizando gabaritos, e suavizados até sua forma final, Deve-se tomar cuidado na colagem, dado que as lâminas formam degraus, e a laminação superior tenderá a tombar a pilha, quando aplicado pressão vertical dos grampos, portanto, é necessário um calço com a altura certa para cada lâmina, promovendo o apoio.

A principal razão da utilização desta técnica, é que esta apresenta como resultado, uma ótima resistência a empenamentos, principalmente por variações climáticas. Para se obter maiores benefícios da laminação, deve-se utilizar madeira cuidadosamente selecionada, com maior uniformidade dos grãos e ser bem seca, outra Ilustração na Figura 12.



Figura 12. Seções longitudinais empilhadas e coladas.

Fonte: Foto ilustrativa da Internet.

2.2.3. Confeção por seções transversais

Esta técnica consiste em recortar gabaritos com o formato dos perfis de cada seção, então estes são colados na extremidade de cada bloco, então é serrado, formando cada seção da pá, em seguida estas seções são coladas formando um conjunto, na junção, utiliza-se pó de serra com cola para preencher qualquer fresta, esta técnica foi descrita por Anyi; Kirke (2011), ilustrado na Figura 13. Este processo é relativamente simples, porém haverá certa fragilidade nos esforços de flexão sobre

a pá, por conta das juntas serem realizadas somente com cola. No projeto proposto por Anyi; Kirke (2011), este serviu de modelo para que fossem feitas cópias em um bloco de madeira maciço.

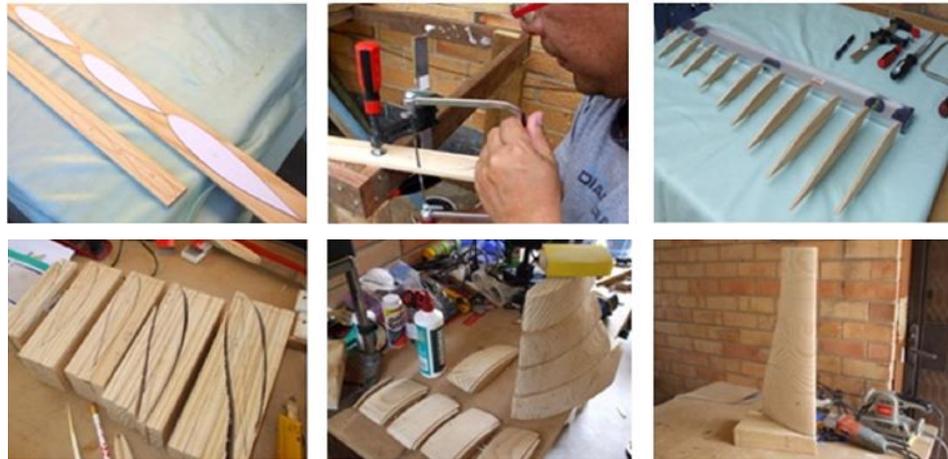


Figura 13. Seções transversais são cortadas, transferidas para pequenos blocos de madeira, depois empilhadas e cortadas, em seguida é dado o acabamento.

Fonte: Anyi; Kirke (2011).

2.2.4. Usinagem manual

Utilizam-se ferramentas que copiam um modelo pronto, o sistema é mecanizado, mas necessita de um operador que atua realizando procedimentos manuais no processo. Estas copiadoras são divididas em dois grupos: copiadoras fresadoras e copiadoras de disco, os dois tipos de copiadoras podem ser totalmente automatizados.

2.2.4.1. Copiadora fresadora

A copiadora fresadora, seu funcionamento é similar a um pantógrafo, têm-se uma ponta seca que desliza sobre o gabarito ou modelo, que é montado em paralelo ao bloco que se deseja moldar, neste, há uma fresa que copia os movimentos da ponta seca, transferindo a forma para um bloco de madeira, conforme ilustrado na Figura 14.

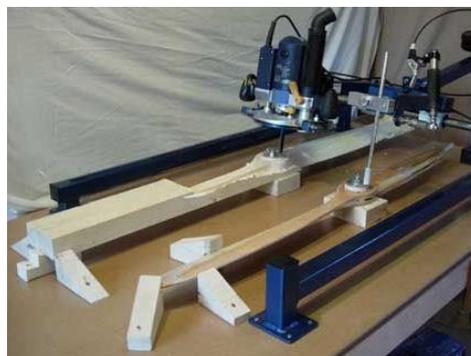


Figura 14. Hélice sendo copiada em uma fresadora.

Fonte: Internet.

2.2.4.2. Copiadora de disco

Este processo, um disco seco desliza sobre o modelo que gira sobre um eixo, em outro eixo paralelo, há um bloco de madeira, neste, repousa uma serra de disco, usinando e copiando a forma do modelo. Normalmente este processo é mecanizado, mas pode ser manual, Ilustração na Figura 15.



Figura 15. Copiadora de disco automática.
Fonte: Internet.

2.2.5. Usinagem automática

Produz-se um desenho em CAD e transfere-se para um centro de usinagem ou fresadora automática chamadas de CNC, em que usina a peça automaticamente sem a interferência humana no processo, ver Figura 16.



Figura 16. Hélice em madeira sendo usinada automaticamente em uma CNC.
Fonte: Internet.

Das técnicas descritas, optou-se por duas: técnica do entalhe direto e confecção por seções longitudinais amplamente utilizadas na produção de hélices aeronáuticas, podendo ser executadas manualmente, adaptando-se à produção das pás para turbina hidrocínética.

2.3 DESIGN E ADAPTAÇÃO TECNOLÓGICA VOLTADA À INOVAÇÃO

2.3.1 Fundamentos da Geometria Descritiva e planos de projeção

Um dos alicerces que norteiam o entendimento da modelagem ou construção de qualquer objeto tridimensional no espaço é a Geometria Descritiva, que juntamente com plano seriado, servirão de base e ferramentas de design que auxiliarão, principalmente no referenciamento do projeto proposto, mais a adaptação da tecnologia de construção de aviões, principalmente a hélice, e que traz inovação através da utilização de ferramentas que não requerem o uso de energia elétrica.

A Geometria Descritiva (GD), que segundo Borges, Barreto e Martins (1998), “é a ciência que ensina a representar sobre um plano os elementos do espaço, de modo a poder resolver graficamente os problemas relativos à forma, grandeza e posição”. Conhecimento Indispensável a qualquer profissional que trabalhe com projetos ou visualização de corpos bi ou tridimensionais, como: designers, arquitetos, engenheiros, médicos, geólogos, dentre tantas outras profissões, ajudando no desenvolvimento da percepção e criatividade espacial.

Ainda conforme Borges, Barreto e Martins (1998), para GD, um ponto é a interseção de infinitas retas, um segmento de reta é a delimitação de dois pontos no espaço ou sua sucessão consecutiva sempre na mesma direção, a reta pode ser também a interseção ou união de infinitos planos, portanto, ao se adotar qualquer um destes entes fundamentais da geometria, na verdade será feita a seleção específica para uma determinada finalidade, pois haverá sempre a continuidade espacial dos mesmos, estes elementos estão representados na Figura 17.

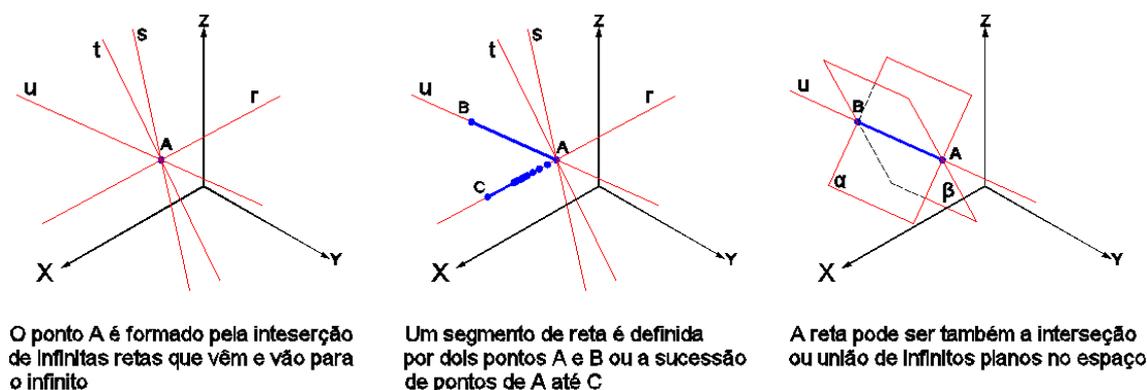


Figura 17. Representação do ponto e da reta como entes geométricos.

Fonte: Adaptado de Borges (1998).

Um ponto no espaço tridimensional apresenta três projeções distintas em relação a um sistema de coordenadas a partir de uma origem, um segmento de reta é formado por dois pontos e um plano por no mínimo três pontos, consecutivamente, representados na Figura 18.

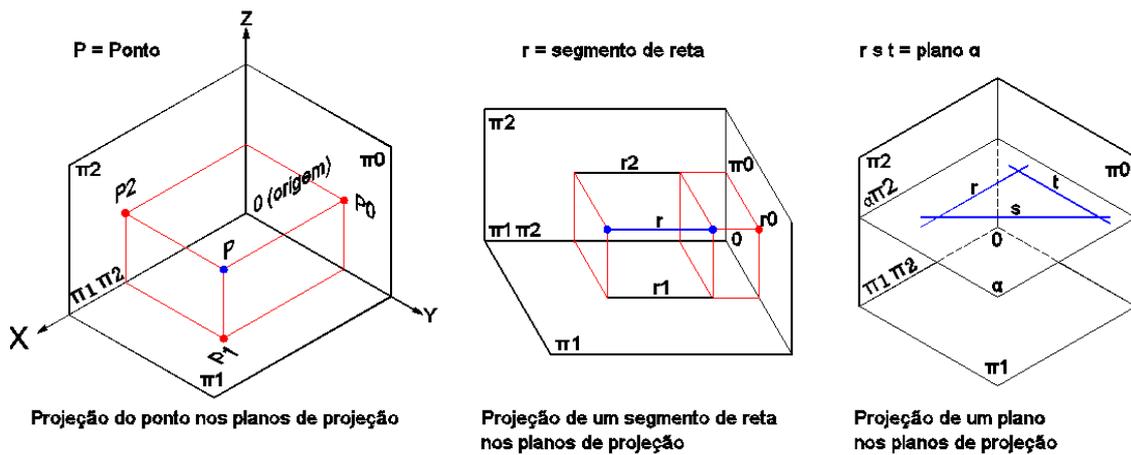


Figura 18. Projeções no sistema de coordenadas do ponto, reta e plano.
 Fonte: Adaptado de Borges (1998).

A representação gráfica sobre apenas um plano é chamada de bidimensional, determinada em um sistema de coordenadas formada por um par de termos que determinam sua posição no sistema. Na Figura 19, para exemplificação, o plano β pertence ao sistema de coordenadas (XZ) e contém a representação gráfica bidimensional de um perfil aerodinâmico, lembrando que esta forma é composta por inúmeros pontos coplanares, e estes possuem valores numéricos absolutos, ou seja, sempre a uma determinada distância em relação à origem do sistema de coordenadas. Foram destacados dois pontos A e B pertencentes ao perfil com os seus respectivos valores para posicionamento no espaço dentro do plano β .

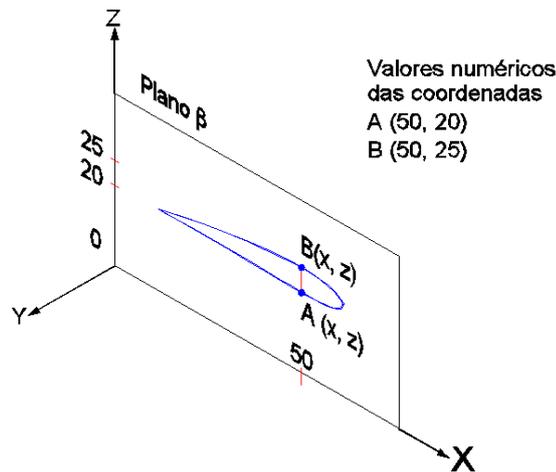


Figura 19. Representação bidimensional da forma do perfil.
 Fonte: O autor (2022).

O deslocamento no espaço do plano β em relação ao sistema de coordenadas, na direção complementar Y, obtém-se mais um termo, formado agora por XYZ, o que torna o sistema tridimensional, e este, pode ser uma projeção ou a formação de objeto tridimensional. Uma

observação importante, é que os dois pontos AB, formam nos planos bidimensionais, segmentos de reta, mas, perpendicular às projeções, forma-se um plano, destacado na Figura 20, através da hachura.

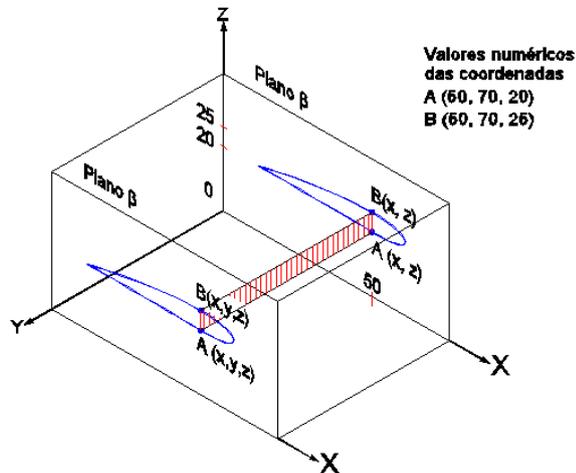


Figura 20. Representação tridimensional do perfil.
Fonte: O autor (2022).

Ao se deslocar a foram sobre o eixo Y todos os pontos do perfil, produz-se uma forma tridimensional com um volume. Uma observação, e que além dos pontos AB, qualquer outro par de pontos, forma um novo plano, conforme ilustrado na Figura 22.

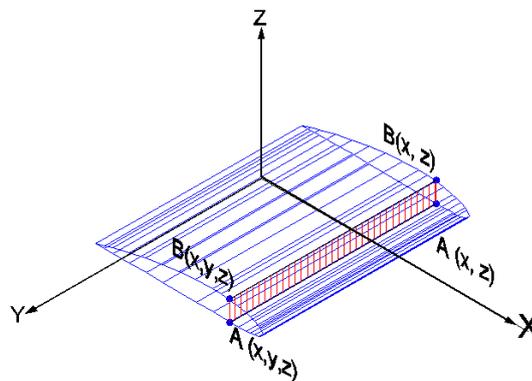


Figura 21. Forma tridimensional produzida pelo deslocamento da projeção sobre o eixo Y.
Fonte: O autor (2022).

Cada projeção na Geometria Descritiva possui propriedades distintas, devendo-se sempre buscar-se a projeção paralela de um objeto a um plano de projeção, proporcionando assim a sua Verdadeira Grandeza (VG), ou seja, seu tamanho real, além do posicionamento preciso no espaço do referido objeto projetado. Na Figura 22, temos a ilustração do perfil contido no plano β , sendo este,

projetado sobre um plano vertical de projeção, esta projeção é paralela, e há um reflexo ou transferência das características de um plano para outro.

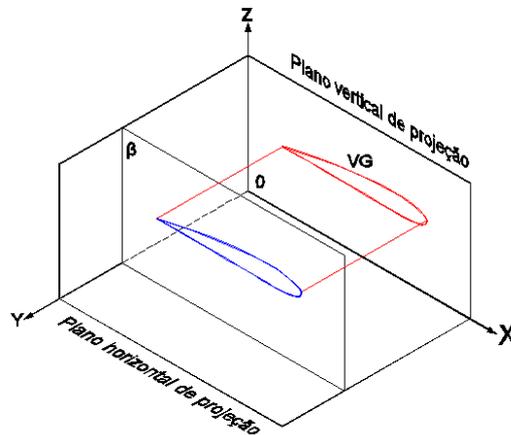


Figura 22. Projeção paralela ao plano vertical de projeção, gerando a VG da forma projetada..
Fonte: O autor (2022).

Wong (1998), afirma para se pensar em três dimensões, deve-se antes de tudo, conhecer as três direções primárias, dadas pelo comprimento, largura e profundidade, que determinam as dimensões de qualquer objeto no espaço através das medidas nas direções: vertical (para cima e para baixo), horizontal (para direita e para esquerda) e transversal (para frente ou para trás), e estas direções formam planos de projeção, já discutidos na GD, sendo o plano de projeção horizontal (PH), plano de projeção vertical (PV) e plano de projeção transversal (PT), o deslocamento destes planos formam um cubo, que contém todas as projeções de um corpo no espaço, ilustrado na Figura 23.

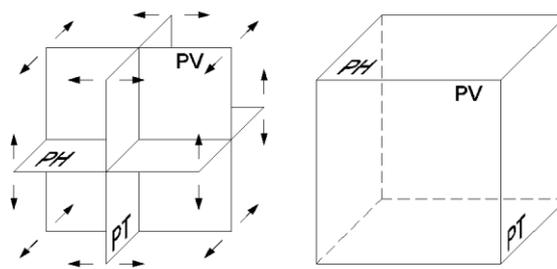


Figura 23. Os planos de projeção PH, PV e PT, formam um cubo que contém todas as projeções de um corpo no espaço.
Fonte: Adaptado de Wong (1998).

Estes planos são à base do desenho técnico e formam suas principais vistas ortográficas, como a vista frontal (PV), vista superior (PH) e vista lateral (PL), e conforme a GD, dependendo da posição, podem-se adicionar planos auxiliares paralelos a fim de se obter a (VG) de elementos que estejam

deslocados em relação aos principais planos de projeção. O desdobramento do cubo permite a representação bidimensional (apenas um plano) de um objeto tridimensional, ilustrado na Figura 24.

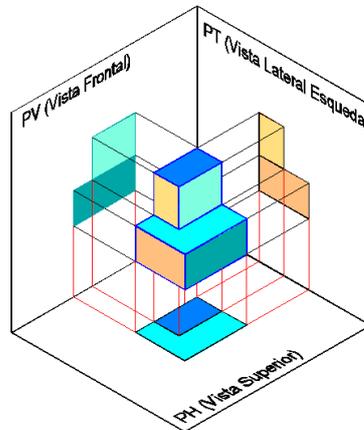


Figura 24. Vistas Ortográficas a partir dos planos de projeção.
Fonte: Adaptado de Gomes (2012).

2.3.2 Plano seriado na composição tridimensional de formas complexas

O plano seriado no presente trabalho será utilizado como ferramenta de design para a construção tridimensional da pá para a turbina hidrocínética que possui uma forma orgânica, ou melhor, helicoidal, difícil de ser modelada por entes geométricos convencionais como: retângulos, círculos, triângulos e etc., portanto, a partir do perfil aerodinâmico repetindo-se com determinadas variações consegue-se a forma volumétrica. Esta técnica de construção volumétrica é amplamente utilizada em diversas áreas e permite criar ou determinar formas complexas, adaptando-se tecnologicamente na construção das pás para a turbina hidrocínética.

Um exemplo de aplicação dos conceitos de plano seriado para construção volumétrica de design com forma orgânica complexa é mostrada na Figura 25.

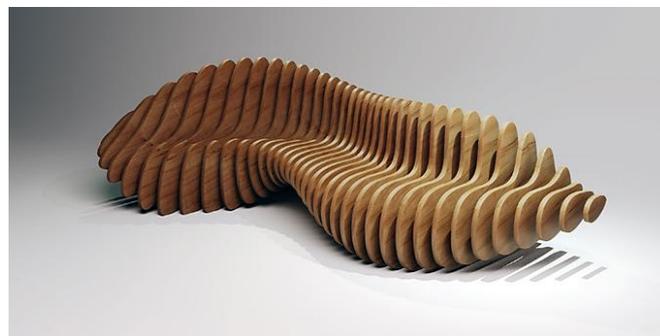


Figura 25. Exemplo de construção volumétrica complexa utilizando os conceitos de plano seriado.
Fonte: <https://parametricarch.com/en/works/>

Os conceitos de plano seriado não se restringem somente a criação de objetos abstratos ou um exercício de criatividade, na verdade é amplamente utilizado em vários campos do conhecimento na obtenção ou análise de objetos tridimensionais. Pode ser observado de forma prática na construção de diversos dispositivos tecnológicos que atendem a humanidade, como prédios, navios, submarinos, aeronaves, produtos de designers, e etc. Na Figura 26, é mostrada a representação tridimensional e vistas ortogonais do casco de um barco, seu projeto parte do formato das seções transversais ou costelas que são elementos estruturais. São repetidas sucessivamente ao longo da longitudinal, variando o tamanho e a forma, resultando no volume que é o casco da embarcação.

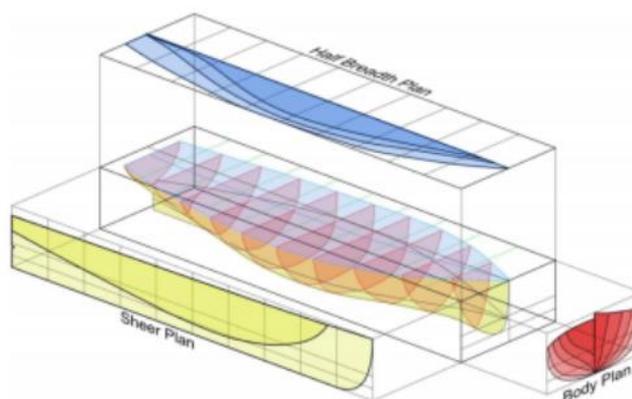


Figura 26. Sucessivos planos geram a forma do casco de um navio..
Fonte: <https://liganaval.poli.ufrj.br/index.php/2021/03/13/desenvolvendo-o-plano-de-linhas-da-embarcacao/>

De acordo com Hust (2001), o mesmo princípio é utilizado para a construção de aviões, onde os elementos estruturais possuem determinada forma que geram o volume e o formato final da aeronave, sempre mantendo uma estrutura forte e resistente, e ao mesmo tempo leve, para exemplificar será utilizada somente a asa, que é recoberta por chapas, revestindo sua estrutura compondo o seu volume, internamente e composto por nervuras (*ribs*) com a forma do perfil aerodinâmico, que faz o papel do plano seriado, no caso deste projeto de asa, as nervuras se alteram somente em proporção, se repetindo sobre longarinas, elementos estruturais que se estendem da raiz, ponto próximo ao corpo do avião até a ponta da asa, sendo responsáveis pela resistência às solicitações dos esforços, conforme mostrado na Figura 27.

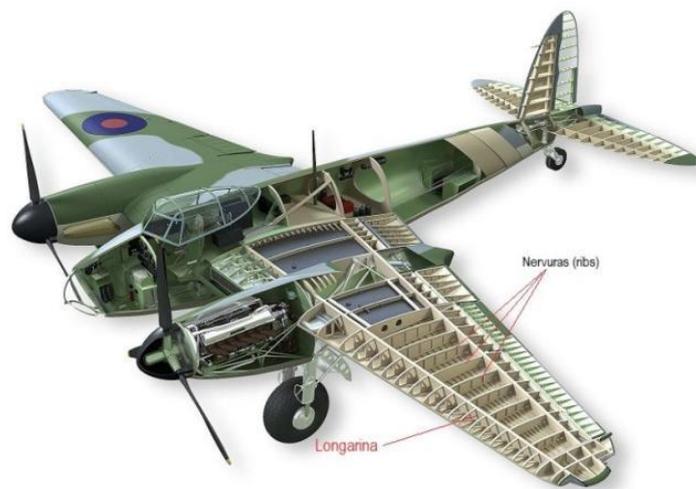


Figura 27. Estrutura da asa de um avião formada por sucessivas nervuras sobre uma longarina.
 Fonte: <https://hangarmma.com.br/blog/esforcos-estruturais/>

Segundo Wong (1998, p. 247), plano seriado “é a representação de um volume por uma série de planos, e cada plano é uma seção transversal do volume”. O plano é considerado uma unidade de forma e esta unidade é repetida sucessivamente, no qual o volume pode ser constante caso haja somente a repetição do plano, ou variar sua forma, tamanho ou ambos, formando volumes relativamente complexos. Como exemplo, um perfil é repetido sucessivamente ao longo de um eixo retilíneo formando um volume, mantendo-se constante seu tamanho e sua forma, conforme ilustrado na Figura 28.

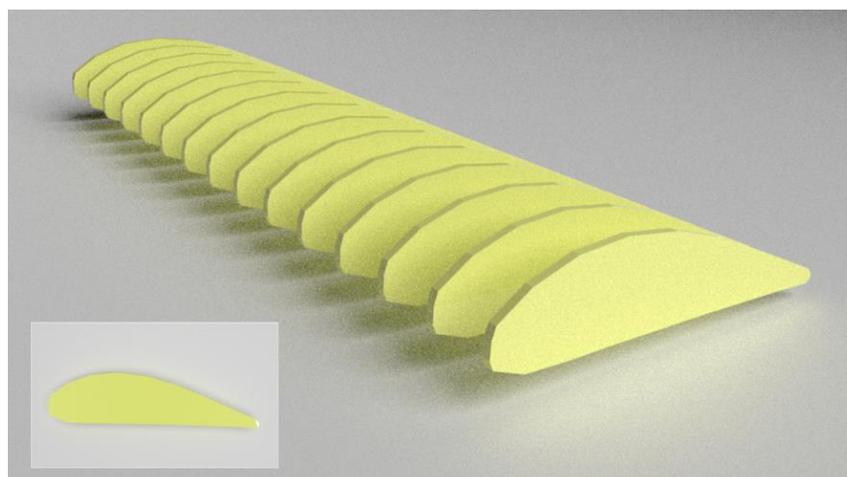


Figura 28. Repetição, mantendo formato e tamanho.
 Fonte: Adaptado de Wong (1998).

Ainda conforme Wong (1998), com o mesmo perfil, mantendo constante o comprimento e dobrando a quantidade, haverá a diminuição do espaçamento, fortalecendo a percepção de solidez

do volume, ou seja, têm-se um efeito de aumento de densidade. Este efeito é importante, pois com o aumento do número de perfis, melhora-se a precisão na obtenção do volume, mas, é necessário ponderação para não dificultar sua execução, ilustrado na Figura 29.

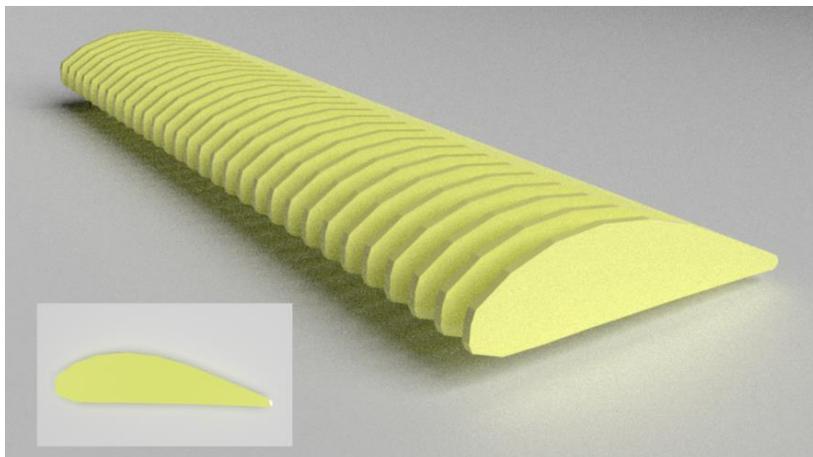


Figura 29. Aumento da densidade com a diminuição do espaçamento.
Fonte: Adaptado de Wong (1998).

Alinhado sobre um eixo, aumenta-se proporcionalmente ou atribui-se um determinado valor ao tamanho de cada perfil sem alterar sua forma, obtêm-se assim uma gradação de tamanho, ilustrado na Figura 30. Este volume é o mesmo mostrado no exemplo da asa do avião representado na figura 28.

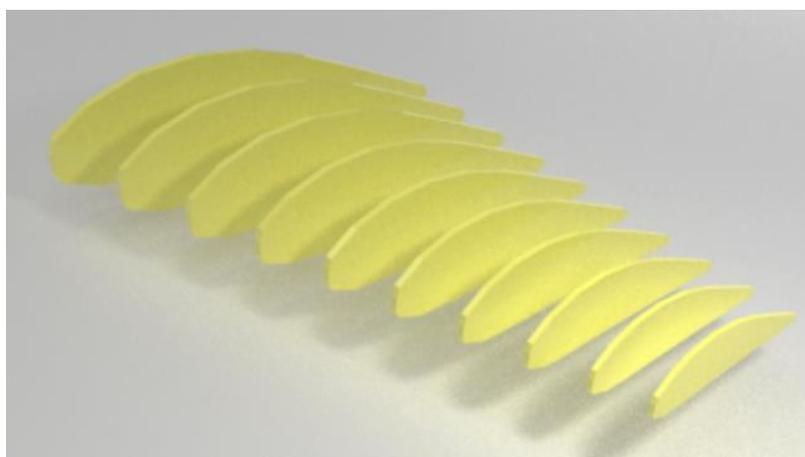


Figura 30. Gradação de tamanho mantendo-se o formato.
Fonte: Adaptado de Wong (1998).

Variando-se o formato de cada seção sem alterar o seu comprimento, obtêm-se o volume ilustrado, na Figura 31a. Outra possibilidade é a gradação simultânea da forma e tamanho visto na Figura 31b. As construções de algumas hélices possuem este tipo de variação na obtenção de sua forma volumétrica, porém no presente trabalho não será aplicado.

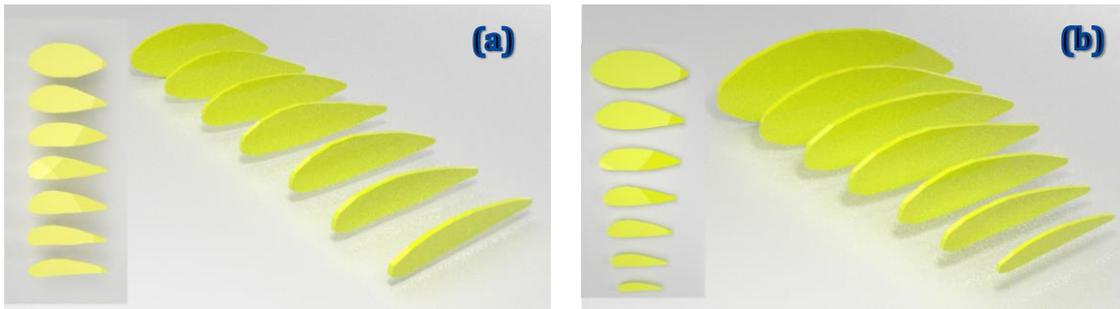


Figura 31. (a)Variação da forma, (b) variação simultânea da forma e tamanho.
 Fonte: Adaptado de Wong (1998).

Outra variação dos planos seriados refere-se à direção, correspondendo ao giro dos planos em torno de um eixo, seja ele, vertical, horizontal ou no próprio eixo, Figura 32, há a representação de dois exemplos: o primeiro, os planos giram em um eixo vertical externo ao volume, que fica distorcido, no segundo exemplo, os planos giram em um eixo no próprio plano, obtendo-se também uma distorção em forma helicoidal. Esta última será aplicada ao presente trabalho, onde será atribuído determinado ângulo a cada plano, resultando em uma forma volumétrica de hélice.

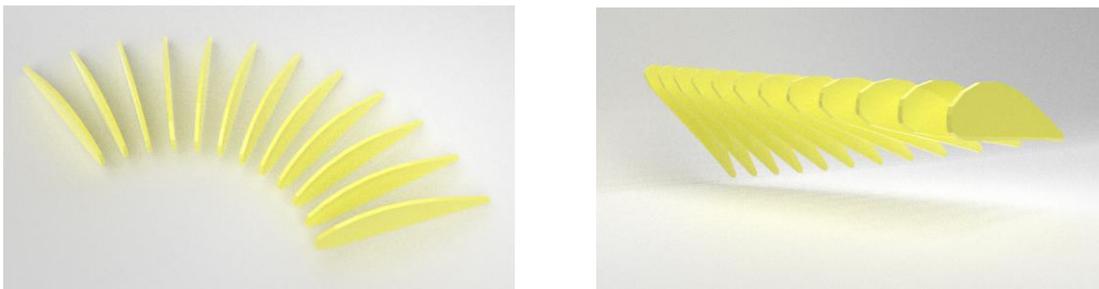


Figura 32. À esquerda, os planos giram em um eixo vertical externo ao volume e a direita, os planos giram em um eixo comum em um ponto, no próprio plano.
 Fonte: Adaptado de Wong (1998).

Uma hélice apresenta as mesmas características de uma asa, porém, possui uma forma helicoidal, fazendo um paralelo com o plano em série, além de possuir variação de posição com gradação de tamanho e forma, haverá a variação de direção, girando em um determinado eixo no próprio plano, em que a superfície ganha a forma helicoidal, e cada seção que representa um plano, possui um ângulo específico, conforme ilustrado na Figura 33.

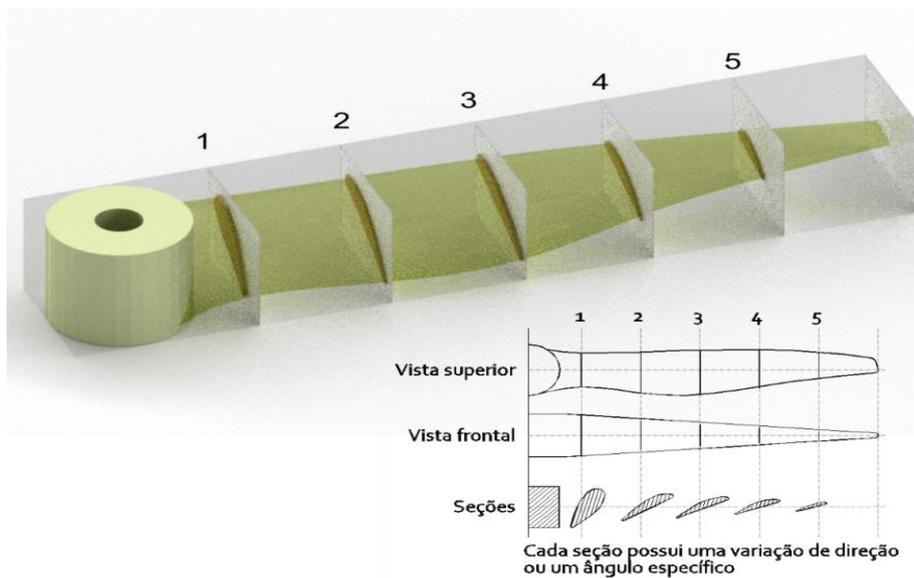


Figura 33. Desenho básico de uma hélice.
 Fonte: Adaptado de Weick (1960).

Conforme Paula, Lima, *et al.*, (2014), o princípio do plano seriado está sendo amplamente utilizado na manufatura automatizada, estando na vanguarda da tecnologia em que equipamentos de usinagem, de corte ou na adição de material, podem imprimir ou cortar sobre planos bidimensionais sucessivos, gerando um volume tridimensional, atualmente sendo amplamente utilizado na impressão 3D, com uma boa variedade de materiais, inclusive com a utilização de ligas metálicas. Outra aplicação é o fatiamento 3D, em que, através de tecnologia apropriada, faz o escaneamento de uma seção transversal por vez de seu alvo, subsequentemente faz a varredura longitudinal sobre o corpo, compondo imagens tridimensionais com extrema precisão, esta técnica é utilizada por tomógrafos, ressonância magnética, ultrassonografia, sismógrafos, dentre outros equipamentos de escaneamento tridimensional.

Os conceitos de plano seriado associados à Geometria Descritiva servirão de base na aplicação nos desenhos técnicos, gabaritos e de referência para a construção precisa das pás para turbina hidrocínética, estabelecendo e norteando a construção do volume, obedecendo às gradações de forma e tamanho, além da variação de direção, especificada nos ângulos para cada seção determinando seu passo.

2.3.3 Inovação utilizando baixa tecnologia x adaptação tecnológica

De acordo com Herbig e Kramer (1993), há diversas inovações tecnológicas do mundo industrial que mudaram nosso cotidiano a nível mundial, cada uma, dentro de determinada linha do tempo, temos, então: a invenção do transistor, a válvula iônica, o raios-X, o vapor, a energia nuclear, a

lâmpada, o motor ciclo Otto, o motor elétrico, o telescópio, a internet, dentre muitos outros. Todos são de grande importância, porque fizeram com que houvesse um avanço do conhecimento da sociedade a nível globalizado. Portanto, quando falamos em inovação, logo somos remetidos a um pensamento de tecnologia industrial, mas, este conceito é equivocado, a inovação não está restrita à alta tecnologia, devemos analisar o conceito de inovação ao qual se refere a uma novidade, algo desconhecido ou novo, que pode ser: uma ideia, um produto, um novo design, um conceito, um processo e etc., utilizados em um determinado contexto, dentro de uma sociedade. Uma inovação segundo Manual de Oslo (2017), no qual uma *“Inovação é a introdução de algo novo em qualquer atividade humana. A diversidade de significado de inovação se dá pela abrangência de sua aplicação como vetor de desenvolvimento humano e melhoria da qualidade de vida”*.

Para Freeman e Perez (1988), inovação é o processo que inclui as atividades técnicas, concepção, desenvolvimento, gestão e que resultam na comercialização de novos (melhorados) produtos ou processos.

Analisando o conceito da palavra “inovação”, que vem do latim *“inovare”*, ou seja, criar algo diferente que faça uma mudança, ou algo que nunca antes tenha sido criado, e que traz algum benefício a um determinado grupo, não necessariamente é um avanço na base do conhecimento científico, mas alguma melhoria na qualidade de vida dos indivíduos, adaptando-se melhor ao seu ambiente que usufruam deste “novo”, tendo alguma utilidade e sendo normalmente de ordem econômica ou social.

O termo “tecnologia” provém de 1750, no qual se originam das palavras gregas *“techné e logos”*, sendo: *techné* = saber fazer e *logos* = conhecimento científico, que na verdade, tecnologia é uma técnica com base científica para resolução de problemas, e sua utilização no presente, possibilita resultados concretos, como por exemplo: transistores, compósitos, produtos industrializados, produção agrícola, ferramentas e etc. Também podemos obter resultados abstratos, como: privacidade, dignidade humana, ambiente de trabalho, resolução de problemas sociais, econômicos, políticos e etc., (CUPANI, 2020).

Fazendo uma associação dos termos, para o homem primitivo, o fogo, é um fenômeno ao qual este não conhecia, e é uma inovação para o mesmo, trazendo grandes consequências, inclusive evolutivas, pois se mudou a forma de se preparar alimentos, serviu também para afugentar animais selvagens, impor poder perante outras sociedades, além de trazer toda uma gama de possibilidades que acabaram induzindo a outras inovações. Não se sabe que inventou, mas, descobriu-se que ao se fazer a fricção de determinados materiais, principalmente metálicos, produziam faíscas, ou seja, com determinada técnica, conseguia-se acender o fogo e o processo podia ser replicado. Com o avanço do conhecimento humano, descobriram-se diversas formas de produzir fogo de forma simples, compacta e cômoda, tais como: fósforos, isqueiros, acendedores piezelétricos e etc. Porém

em certos momentos, para determinados grupos como caçadores e aventureiros ou em ambientes extremamente úmidos, acender o fogo através da fricção de dois metais, similar aos primórdios do processo inicial, porém com materiais desenvolvidos cientificamente para ter melhor eficiência, portanto, não sendo necessariamente, esta, considerada uma tecnologia obsoleta, pelo seu princípio de funcionamento, pois atende perfeitamente a necessidade de fazer o fogo, mesmo em condições adversas.

Neste contexto temos uma “inovação disruptiva”, termo empregado primeiro em um artigo de Clayton Christensen, (1995) *Harvard Business Review*, tendo como coautor Joseph L. Bower, posteriormente no livro intitulado “*the Innovator’s Dilemma*” (GOBBLE, 2016). Segundo Shang, Miao e Abdul (2019), este novo termo chamado “inovação disruptiva”, definia a perspectiva de uma tecnologia para resolver o dilema do inovador.

A tecnologia disruptiva era inicialmente inferior a uma tecnologia de vanguarda na dimensão de desempenho e valor de consumo convencional, atrairia consumidores em mercados restritos, fornecendo produtos mais acessíveis, mais simples e mais convenientes. De uma perspectiva dinâmica, a inovação disruptiva ocupa inicialmente um lugar de destaque em mercados inferiores e em novos mercados e continua a mover-se para mercados de ponta, acabando em alguns casos, por substituir os principais produtos. Christensen (2006) propôs o processo de construção de uma teoria disruptiva e reforçou a credibilidade e fiabilidade do quadro teórico.

Conforme o autor supracitado, a inovação disruptiva possui diversas perspectivas, das quais as mais importantes são: Perspectiva estática, em que uma tecnologia, produto ou processo sobe lentamente das empresas existentes e ameaça deslocar as empresas já consolidadas no mercado. De uma perspectiva funcional, onde a inovação disruptiva tem sido vista como um importante instrumento estratégico para expandir e desenvolver novos mercados ou para destruir as ligações de mercados existentes. Perspectiva criativa, onde é definida como uma forma de alterar o desempenho do mercado, através de métricas ou expectativas dos consumidores. Esta última, aplicada ao trabalho, compõe os principais elementos que justificam a nova forma de inovação aplicada à construção das pás para a turbina hidrocínética de eixo horizontal atendendo as necessidades de determinados consumidores, não dependendo de alta tecnologia, somente disponível em grandes centros urbanos, mas sendo possível ser executado em uma pequena oficina, e, desta forma, ser uma novidade do ponto de vista deste público, havendo interesse pelos benefícios trazidos, mesmo utilizando materiais, ferramentas e processos considerados simplórios em âmbito de tecnologia.

Visto de outra perspectiva, para estes usuários, talvez não haja algo mais moderno, ou que melhor atenda seus anseios, provendo autonomia e independência, pois se uma lâmina for quebrada durante o funcionamento, estes poderão prontamente fazê-la, dispondo dos dados,

gabaritos e processos, baseados em dados científicos. O *know-how* que será adquirido através de manual explicativo e treinamento, além dos meios com a utilização da madeira como matéria prima e ferramentas para execução do artefato.

O grande diferencial deste método é que ele pode ser replicado para pessoas que não possuam grande qualificação técnica, bastando ter alguma habilidade manual, conseguindo confeccionar a pá de uma turbina hidrocínética, mesmo possuindo uma forma complexa, fazendo uso de conceitos de design e ferramentas convencionais.

Para Baxter (2000), a Análise Paramétrica, tem como finalidade a comparação no desenvolvimento de novos produtos com os existentes ou concorrentes para determinação de critérios que possam ser melhorados ou adaptados e estes são chamados de parâmetros comparativos, sendo que estes podem ser quantitativos, em que se determinam valores numéricos, como: peso, potência, velocidade, valores de eficiência e etc. ou qualitativo, servindo para ordenar sem utilizar valores absolutos, tais como: melhor aspecto, praticidade, aceitação pelo público alvo, expectativas e etc.

Segundo Pazmino (2015), o método paramétrico no design auxilia na melhoria de produtos e processos de produtos. O processo de construção é adaptado da hélice aeronáutica, em que os desenhos são projetados com determinada forma e são feitos gabaritos específicos, prevendo a confecção por processo mecanizado, com pouca ou nenhuma readaptação em caso de modificação do projeto. Para a confecção das pás para a turbina hidrocínética, com o auxílio referências gráficas, haverá certa flexibilidade que pode ser facilmente readaptada para outras formas, ângulos ou posicionamentos, para o trabalho manual, trazendo benefícios e melhorias em relação a adaptação da tecnologia.

2.4 REVESTIMENTO DAS PÁS

A madeira que fornece a forma às pás da turbina, mas sozinha, possui diversas limitações relativas às propriedades mecânicas e degradação quando submersa na água, por longos períodos de tempo. Sendo necessário à combinação com outros materiais para resolução destes problemas, além de proporcionar melhorias como um todo. Muñoz et al. (2014), propuseram o revestimento das pás em madeira da turbina hidrocínética com fibra de vidro e resina epóxi, com o propósito de proteger a madeira contra deterioração causada pelo contato direto com água, realizaram testes virtuais para análise de stress com FEM (Método dos Elementos Finitos), com, e sem o revestimento. Com o revestimento, concluíram que houve significativas melhorias nas propriedades mecânicas das pás, principalmente relativos às deformações, que podem afetar a extração de energia calculada, reduzindo a eficiência do sistema.

Serão apresentados os principais conceitos de resinas e fibra de vidro para a formação de compósito, evidenciando sua importância em relação as aplicações, características e melhorias proporcionadas de acordo com sua finalidade, bem como, os principais termos utilizados e a familiarização com a tecnologia de compósitos, com o intuito da compreensão teórica para sua aplicação na prática no momento do revestimento das pás para a turbina hidrocínética.

2.4.1 Fibra de vidro

Conforme Chawla (2012), a fibra de vidro é um nome genérico para fibras feitas de vidro, são baratas, disponível em uma variedade de formas, servem de reforço para poliéster, epóxi e resinas fenólicas. Assim como a fibra de carbono, a fibra de vidro possui diferentes composições químicas disponíveis comercialmente. A composição comum dos diversos tipos vidros da fibra são baseadas em ($\approx 50-60\% \text{ SiO}_2$), contendo outros óxidos como cálcio, boro, sódio, alumínio e metais, proporcionando-lhes características específicas. A designação E, significa ser um excelente isolante elétrico, possui baixa densidade (2.55g/cm^3), resistência à tração de $1,750\text{Mpa}$, boa resistência (módulo de Young = 70) e coeficiente de expansão térmica de 4.7×10^{-6} ; Na classe C, significa melhor resistência química à corrosão; Em classe S, contém maior percentual de sílica, favorecendo maior resistência à temperatura do que nas outras classes. Ressaltasse que a maior parte da fibra de vidro contínua produzida é do tipo E, apesar de, somente uma pequena fração do mercado total faz uso elétrico deste tipo de fibra de vidro.

Em conformidade com Chawla (2012), há condições que podem interferir no desempenho da fibra de vidro, com a umidade diminui que a resistência da fibra de vidro, e são também suscetíveis ao que é chamado de fadiga estática; ou seja, quando sujeito a uma carga constante por um longo período de tempo, pode ocorrer o crescimento de fissuras subcríticas, levando ao colapso ao longo do tempo.

Como compósito, a fibra de vidro é um dos mais conhecidos, formado tramas ou malhas a partir de finíssimos fios, e estas, quando envolvida por um material polimérico líquido, que pode ser resina epóxi ou poliéster, ao entrar em processo de cura, resulta em um material mais resistente, flexível e de baixa massa específica, que pode ser moldado em diversas formas e apresenta acabamento superficial (CALLISTER e G.RETHWISCH, 2018).

2.4.2 Resina Poliéster

Segundo Chawla (2012), a resina de poliéster insaturada, ou seja, possui sítios reativos na molécula é constituída de ligações duplas $\text{C}=\text{C}$, obtida através da condensação e reação entre um glicol e um ácido dibásico insaturado resultando em um poliéster linear. São utilizados diluentes

como o estireno, usado para reduzir a viscosidade do poliéster. Frequentemente, um catalisador como um peróxido orgânico é adicionado para iniciar a ação de cura. Pode-se apressar o processo de cura elevando a temperatura, porém, aumenta-se a taxa de decomposição do catalisador ou, pode ser feito usando um acelerador como cobalto naftalato. O poliéster insaturado tem resistência adequada à água e uma variedade de químicos, intemperismo, envelhecimento e, por último, mas não menos importante, é muito barato. Pode suporta temperaturas de até cerca de 80°C e combina facilmente com fibras de vidro. As resinas de poliéster retraem entre quatro e oito por cento, na cura.

Ainda conforme autor supracitado, o termo poliéster causa certa confusão, sendo usado para dois polímeros muito diferentes, o poliéster insaturado é uma resina da família dos termofixos comumente usado como material de matriz em compósitos poliméricos e há o poliéster família dos termoplásticos com características totalmente distintas. Este polímero termofixo encontra usos extensivos em produtos como barcos reforçados com fibra de vidro, tubos, chuveiros, etc.

2.4.3 Resina Epóxi

Conforme Ashby e Johnson (2011), a resina epóxi é um polímero termofixo normalmente é composto por duas partes, quando misturados provocam uma reação levemente exotérmica com ligações cruzadas e são curados a temperaturas entre 20 e 175°C. Apresenta alta resistência à tração chegando à 45Mpa, é resistente a solventes, ácidos, bases e sais. Conserva sua resistência à temperatura de 150 a 250°C.

Para Callister e G. Rethwisch (2018), os epóxios apresentam melhores propriedades mecânicas e resistência à umidade, sendo utilizadas para aplicações aeroespaciais, sendo mais caros que as resinas poliéster e vinílicas. Conforme Chawla (2012), a resina epóxi possui menor retração na cura (cerca de 3%), uma temperatura máxima de uso, mais alta e boa adesão com fibras de vidro.

De acordo com Chawla (2012), este é uma das principais matrizes termorrígidas, possui uma estrutura composta principalmente por um átomo de oxigênio e dois átomos de carbono na sua estrutura química. Frequentemente são usados aditivos com diversas finalidades, como por exemplo: redução de sua viscosidade, flexibilizantes para que a resina se torne mais flexível, protetor para radiação ultravioleta dentre outros. A rapidez da reação de cura é influenciada pela temperatura. A formulação com muitas propriedades de resina epóxi estão disponíveis e são possuem alto desempenho como polímero matriz para compósitos termorrígidos.

2.4.4 Compósitos

Conforme Callister et al. (2018), compósito, consiste da união ou combinação de dois ou mais materiais individuais que resultam na melhoria de suas características como um todo, princípio da

ação combinada. Portanto, compósito é uma classe distinta de materiais, que possuem propriedades específicas aplicadas em alta tecnologia, no qual a combinação de materiais proporcionam resultados específicos para cada aplicação, por exemplo, na engenharia aeronáutica, buscam-se materiais que possuam baixa massa específica, rigidez, resistência mecânica a impacto e a abrasão, combinação necessária à construção forte e ao mesmo tempo leve, aplicado a aeronaves, resultado da combinação de materiais que lhe conferem características específicas esperadas.

No presente trabalho, o revestimento terá a finalidade de compósito, sendo usada uma resina como matriz e a fibra de vidro como carga, ao qual, revestirá a madeira, sendo esta a fase dispersa, com a finalidade de proporcionar três propriedades adicionais que melhorarão a qualidade final do material, estas são:

- 1) Impermeabilização, tendo em vista que a madeira é um material orgânico, logo em contato prolongado com a água, se deteriora por conta do ataque de fungos e xilófagos, bem como a abrasão de particulados na água.
- 2) Estruturação, a madeira bem seca, mesmo estando no sentido de suas fibras o que melhora a resistência mecânica, não é resistente a flexões acentuadas ou a impactos, portanto, já foi comprovado por Callister et al. (2014), que adicionando uma camada de material mais resistente, há um ganho geral, com o incremento da resistência mecânica, deixando o material mais apto para sua aplicação.
- 3) Rugosidade, conforme Munson, Young e Okuiishi (2004), esta influencia diretamente no escoamento de um fluido sobre a superfície, aumenta o coeficiente de arrasto e a tensão de cisalhamento. A rugosidade superficial deve ser minimizada ao máximo, para redução do atrito e maximização do escoamento, conseguido com aplicação de uma resina que deixe a superfície lisa.

2.5 ERGONOMIA

A ergonomia é a ciência aplicada de conhecimento interdisciplinar na interação entre o homem e o trabalho, formando o sistema homem-máquina-ambiente para a realização de tarefas. Há diversas definições, mas em comum, propõem-se melhorias na configuração do ambiente e posto de trabalho atendendo as necessidades do trabalhador (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

O termo máquina, não se limita somente a dispositivos complexos envolvendo alta tecnologia, mas a utensílios simples como uma colher, que é considerada uma máquina no contexto da ergonomia, também incluindo ferramentas, instalações ou qualquer dispositivo que auxiliem o ser humano. O mesmo para o posto de trabalho, que pode ser o ambiente doméstico ou o espaço ao qual está envolvido. A ergonomia se estende também para o campo cognitivo e organizacional,

permeando pelas mais diversas atividades inerentes ao ser humano na realização de uma atividade (IIDA, 2005)

Conforme DUL e Werdmeeste (2012), a biomecânica estuda os esforços físicos aplicados ao corpo humano, estimando tensões aplicadas sobre músculos e articulações, ou a interação do homem com trabalho, analisando e recomendando melhores posturas, minimizando esforços sejam eles estáticos ou dinâmicos, com o intuito de prever e minimizar lesões, dores ou fadiga. Procura restringir o tempo de duração de esforços prolongados, prejudiciais ao trabalhador e que podem causar queda no rendimento e até a parada de determinada atividade. Alguns dos problemas relacionados biomecânica são solucionados através da adequação apropriada, muitas vezes com soluções simples, como dimensionamento ou ajuste do posto de trabalho, ou pausas frequentes frente a grandes esforços.

De acordo com Iida (2005), o planejamento do posto de trabalho é muito importante para determinação de requisitos e parâmetros, com o intuito da redução de cargas biomecânicas, organização do trabalho, rendimento e melhoria na postura e informações relevantes a realização das tarefas, buscando melhorias na segurança, conforto e eficiência. E este, tratará do macro espaço, que pode ser a extração da madeira em um local distante, seu transporte, armazenamento para secagem até o micro espaço, que é a menor área de produção que envolve o ser humano para realização de sua tarefa, mas também pode abranger o espaço detalhado do posto de trabalho que envolve as características da interface homem-máquina-ambiente realiza.

Ainda conforme o autor supracitado, as características dos sujeitos que farão a tarefa, especificação dos elementos que configurem segundo a ergonomia as pessoas que realização o trabalho, estabelecendo: características gerais como sexo, idade, características físicas, e principalmente para o presente trabalho a Instrução e experiências para trabalhos manuais.

O micro espaço para o posto de trabalho, ou seja, local onde será feita a produção, contempla a interferência dos ruídos, vibrações, iluminação, substâncias químicas e clima como conforto térmico em função da temperatura e umidade relativa. Portanto, estes fatores devem ser observados com cautela e especificados dentro de limites pré-estabelecidos para melhorar segurança, conforto e facilitar na realização das tarefas pelo usuário (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

Ainda conforme o autor supracitado, apesar de se utilizar ferramentas manuais para a realização das tarefas, a ergonomia, auxiliará na boa prática para prevenção de acidentes através de um bom ambiente de trabalho e procedimentos seguros, tendo em vistas que vários destes instrumentos servem para fazer cortes e desbastes na madeira, portanto o uso inapropriado pode incorrer em lesões graves, por erros de ação, bem como, lesões musculares provocadas pelo esforço

físico. Portanto é imperial que o trabalho siga critérios ergonômicos para realização das tarefas, sendo esta a mais confortável possível e que de preferência flua com boas práticas e prevenção contra acidentes, por estes motivos foram propostas as seguintes recomendações ergonômicas para realização das tarefas:

- Manter as articulações em posição neutra;
- Manter pesos o mais próximo possível do corpo;
- Evitar realizar tarefa curvada à frente;
- Evitar manter o tronco torcido;
- Evitar picos de tensões através de movimentos bruscos;
- Alternar posturas e movimentos;
- Restringir a duração do esforço muscular contínuo, ou seja, quanto maior o esforço muscular, menor o tempo suportável;
- Prevenir a exaustão muscular, sendo que um músculo exausto leva 30 min para recuperar 90% da capacidade, e a completa recuperação pode levar horas, ou seja, quanto maior o tempo de exaustão, muito maior sua recuperação;
- Fazer pausas curtas e frequentes.

Metodologia

Neste capítulo com base na pesquisa bibliográfica dos conceitos pertinentes ao trabalho é apresentado o método científico e metodologia de design, que por sua vez, determina o caminho a percorrer de forma sistematizada para se chegar aos resultados, onde:

Na seção 3.1 será abordado o método científico e sua classificação para se chegar aos resultados;

Na seção 3.2 utilizando metodologia de design para buscar soluções estratégicas a partir da análise do problema.

3.1 MÉTODO CIENTÍFICO

Para se chegar a um resultado deve-se planejar e trilhar um caminho, portanto, o método é esta estrada para se buscar o conhecimento e atingir objetivos (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Conforme Lakatos e Marconi (2003), o conhecimento popular não se distingue do conhecimento científico, o que os difere, são os métodos e os instrumentos pela qual se chega ao conhecimento científico, sendo de forma racional, sistematizada, apoiada em teorias.

De acordo com Gil (2002), é necessário classificar a pesquisa utilizando critérios científicos com base nos objetivos gerais, sendo estabelecida a pesquisa de natureza aplicada, pois visa produzir conhecimento de aplicação prática na solução das questões propostas; Segundo Lakatos e Marconi (2003), será utilizado o método científico dedutivo em que a análise dos problemas será limitada para garantir a certeza; a abordagem do problema será qualitativa, onde o ambiente de pesquisa fornece dados para sua análise e interpretação; Quanto aos objetivos do estudo, a natureza da pesquisa será descritiva, pois para Prodanov e Freitas (2013), o pesquisador, registra, ordena, classifica, analisa e interpreta as características dos fatos observados estabelecendo relações entre as variáveis, sem a sua interferência; Quanto aos procedimentos, à pesquisa têm como base material já produzido, com a prospecção de informações principalmente em livros, artigos científicos, teses e dissertações.

Na Figura 34, está representado a metodologia científica utilizada em forma de esquema como panorama para facilitar a compreensão.

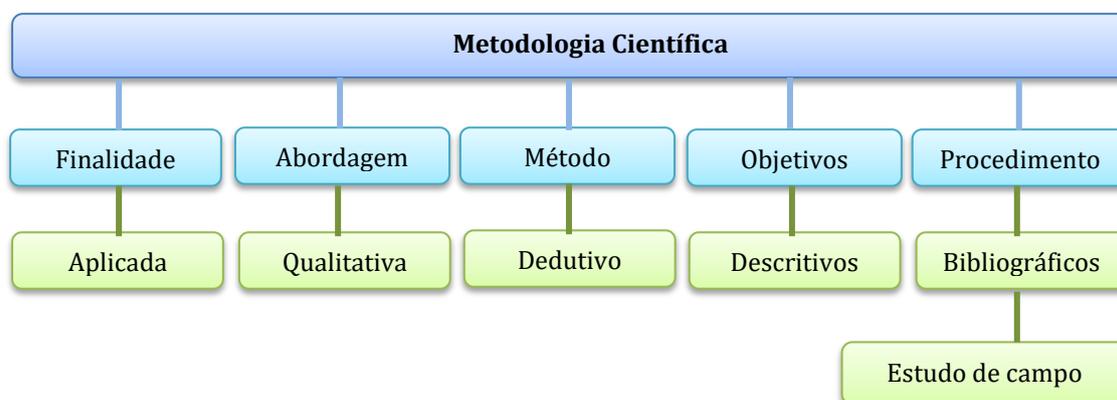


Figura 34. Esquema da Metodologia Científica
Fonte: O autor (2022).

A produção de hélice aeronáutica em madeira de certa forma é de conhecimento popular difundida no meio, mas o presente trabalho propõe-se trazer e adaptar este conhecimento para um processo produtivo sistematizado, embasado em conceitos básicos de Geometria Descritiva e plano seriado para que possa ser replicado por qualquer usuário, mesmo não possuindo conhecimento

técnico da área, possibilitando sua confecção futura por moradores de áreas isoladas, público-alvo almejado por este projeto. Das técnicas pesquisadas, foram escolhidas: “técnica por entalhe direto” e a “técnica por seções longitudinais”, ambas podem ser realizadas manualmente sem o auxílio de equipamentos elétricos.

Primeiro, será originado o perfil aerodinâmico NACA4412, disponibilizado gratuitamente no site <http://www.airfoiltools.com>, que são dados numéricos, e é necessária a conversão através de um software de planilha que transforma os números em valores de coordenadas, sendo atribuídas a pontos, que ao serem ligados através de linhas, formam o desenho do perfil aerodinâmico no software AutoCAD.

Em seguida, são determinadas variáveis previamente definidas sobre características de configuração da turbina, como: raio da pá, eficiência, número de lâminas, velocidade e densidade do fluido. Estes elementos base são inseridos em um algoritmo, resultando em uma planilha com informações que determinarão a forma da pá, ou seja, ambos os dados, comporão a forma das seções impressas nos gabaritos e dos desenhos técnicos distintos para cada técnica. Estes dados são atribuídos à distância de cada seção a um eixo fixo, ao comprimento ou dimensão de cada perfil em cada seção e o seu respectivo ângulo.

Após a conversão do perfil aerodinâmico e a determinação dos atributos para cada seção transversal, serão feitos os desenhos técnicos e gabaritos, sendo estes transversais ou longitudinais, este último, será utilizado um recurso do CAD de operações booleanas (interseção, união e subtração de formas tridimensionais), em que será feito uma lâmina tridimensional com a mesma espessura de uma tábua de madeira, ao qual se subtrai da lâmina a pá com forma tridimensional, resultando o contorno da seção longitudinal, este é recoberto por linhas e repassado para o desenho técnico e gabaritos longitudinais.

Para a técnica por entalhe direto os desenhos serão transferidos para o bloco de madeira, cortados, conformados e conferidos até se chegar à forma final, sendo dado o acabamento e aplicado o revestimento.

No caso da técnica por seções longitudinais, devesse também transferir os desenhos dos gabaritos para as tábuas, que serão cortadas, aplainadas, coladas e prensadas. Após o tempo de cura da cola, deverá ser transferido o desenho para a projeção da vista frontal e cortado, em seguida a superfície deverá ser conformada e aferida com os gabaritos transversais até se obter a forma desejada, ao qual será realizado o acabamento final com lixa.

Após a execução de ambas as técnicas, serão realizadas avaliações para determinação de valores como: número de processos, custo, ferramentas, dificuldades de execução e melhor adequação à produção em pequenas oficinas desprovidas de ferramentas elétricas e longe de grandes centros

urbanos. Havendo a definição da técnica que possa ser replicada pelo usuário ao qual se destina o trabalho, resultando nas conclusões e considerações a respeito da pesquisa.

3.2 METODOLOGIA DE DESIGN

Segundo Pazmino (2013), para se atingir um objetivo, deve-se seguir um caminho, utilizando técnicas com planejamento e sistematização das etapas cuidadosamente planejadas em um processo de design.

Löbach (2000) afirma, que o design é um agente criador, que ao se deparar com um problema, desperta a criatividade fazendo associações entre o problema com seus conhecimentos e experiências, criando novas relações entre estes, adquirindo uma postura crítica com novas respostas para antigos problemas.

Para isto, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da turbina hidrocínética, com a finalidade de ter o estado da arte de suas principais aplicações e características, delimitando o tipo de turbina que será atendida pela pesquisa, no caso, turbina hidrocínética de eixo horizontal.

Pazmino (2013), propõe a análise do problema como ponto de partida que ajuda a nortear a busca de um conjunto de soluções de forma estratégica. No presente trabalho, sintetizando os problemas, temos: a produção das pás deve ser realizada com ferramentas convencionais sem o uso de energia elétrica, fazendo uso de adaptação tecnológica, no qual o usuário deve ter autonomia na produção e utilização de madeira de reuso, como matéria prima do produto.

Conforme Baxter (2011), havendo tecnologia adaptativa para atender a confecção da pá para a turbina hidrocínética horizontal, deverá ser utilizada a análise paramétrica ou sincrônica para comparação e melhoria do processo existente, baseado em variáveis qualitativas e quantitativas em relação à eficiência, custo, tempos, conceitos e aplicação. Outra variável refere-se à classificação, que consiste em definição do material, para o presente trabalho: a madeira de reuso. Dentre as melhorias será proposta a adição dos conceitos de plano seriado e geometria descritiva como ferramenta de design para o aprimoramento da técnica. Esta ferramenta de design tem como função a melhoria da percepção cognitiva nos elementos de balizamento, as marcações dos eixos e projeções nos gabaritos, fazendo uma analogia ao plano seriado juntamente com os planos de projeção da Geometria Descritiva para melhor entendimento durante a execução das tarefas.

Para Löbach (2000) o levantamento de dados deve ser o mais abrangente possível, coletando informações que servirão de base para a solução do problema, para isto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito do perfil aerodinâmico, conceitos e características; os principais processos

de fabricação de pás para turbinas e hélices aeronáuticas confeccionadas em madeira, onde serão classificadas técnicas passíveis de adaptação tecnológica; inovação tecnológica advinda da simplicidade, ferramentas de design para construções geométricas tridimensionais: plano seriado e geometria descritiva; o revestimento, com a função de impermeabilização e estruturação e ergonomia.

Dentre as técnicas manuais para construção de hélices ou turbinas, deverão ser executada como forma produzir resultados, ideias e soluções de problemas no decorrer do processo, equivalente à geração de alternativas, propostos por (LÖBACH, 2000); (FREITAS, COUTINHO e WAECHTER, 2013).

Segundo Bomfim (1995), toda avaliação está baseada em um “objeto a ser avaliado” que é visto pelo sujeito através de suas expectativas (necessidades), devendo ser satisfeitas através características e qualidades proporcionadas pelo objeto a ser avaliado. Neste contexto, as variáveis deverão possuir valores positivos, sejam eles quantitativos, como: custo, tempo e processos, ou qualitativos, como: eficiência, facilidade de produção e aquisição. Sendo estes valores avaliados com a comparação das duas técnicas de produção das pás para turbina hidrocínética, determinando qual das técnicas atende aos objetivos propostos pelo projeto e por consequência aos usuários. Na Tabela 1, está esquematizada a metodologia de Design e sua classificação.

Tabela 1. Classificação da metodologia de design e sua classificação.

Metodologia de Design		
Análise do problema	Ponto de partida para a busca de soluções;	(Pazmino, 2013)
Análise Paramétrica	Comparação com tecnologia existente e melhoria no processo de fabricação;	(Baxter, 2011)
Levantamento de Dados	Pesquisa bibliográfica;	(Löbach, 2000)
Confecção das Pás	Realização de duas técnicas manuais para produção de resultados, ideias e solução de problemas;	(Löbach, 2000); (Freitas et. Al, 2013)
Avaliação	Avaliação das variáveis quantitativas e qualitativas para determinação do processo de fabricação.	(Bomfim, 1995)

Fonte: O autor (2022).

Resultados

Na seção 4.1 Está descrito a execução das técnicas de construção das pás a partir da geração do perfil aerodinâmico, aplicação do plano seriado na confecção dos gabaritos e produção dos desenhos técnicos;

Na seção 4.2 Preparo de materiais e proposta de ferramentas como serra tico tico manual e arco de serra com lâmina perpendicular, além da confecção dos gabaritos;

Na seção 4.3 Nesta etapa do trabalho serão executadas as pás para turbina hidrocínética com a primeira e segunda técnica, aplicando o plano seriado com ferramenta de design.

4.1 EXECUÇÃO DE TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DAS PÁS

O volume ou a representação tridimensional da pá é gerado matematicamente em um algoritmo desenvolvido para o MATLAB, o qual depende de atribuídos como: número de pás, ângulo de ataque, velocidade do fluido (água), densidade, número de seções, dentre outros vistos mais adiante. Para isto, o aerofólio ou perfil aerodinâmico foi pré-estabelecido em cada seção através com o padrão NACA 4412. Resultando em dados como: a distância entre as seções, o comprimento da corda ou a escala a forma do perfil e o ângulo fixado sobre um eixo, estes dados compõem os valores que determinam a forma tridimensional que apresenta o melhor rendimento com o mínimo de material.

Portanto, o primeiro passo é gerar o a perfil aerodinâmico que é uma forma adimensional, ou seja, não possui dimensão definida, e este é fornecido em formato de coordenadas numéricas em planilha ao qual devem ser convertidas para representação gráfica através de um CAD. Aplicando conceitos de plano seriado, onde cada seção é projetada no respectivo gabarito onde são atribuídas as distâncias entre os mesmos, as variações de escala ou dimensão, bem como, o ângulo, todos os valores determinados por um algoritmo.

Com o perfil aerodinâmico convertido em CAD e os valores determinados pelo algoritmo, obtém-se virtualmente a forma tridimensional, ao qual se produz os desenhos técnicos. Em seguida preparam-se os materiais e ferramentas, fundamentais para executar a tarefa de produzir a par dentro da técnica estabelecida.

4.1.1 Geração do Perfil

Para a construção das pás (lâminas) da turbina hidrocínética é necessário ter as dimensões das mesmas, realizado através das seções transversais, longitudinais e desenho técnico específico, pois além das medidas, temos os ângulos, diferenciados da ponta à raiz da lâmina, desta forma não é uma tarefa trivial a sua construção, portanto, os dados devem ser bem claros para que não haja problemas, o que pode afetar diretamente o seu rendimento. Outro fator importante é que, dependendo da localidade onde a turbina será implantada, haverá a necessidade de modificação da potência, por consequência, alteração no raio das lâminas da turbina hidrocínética, alterando todas as suas características de funcionamento, portanto, é necessário, um sistema de rápida mudança em função da alteração destes dados.

Arruda, Neto e Medeiros (2018), desenvolveram um algoritmo no software MATLAB, ao qual são inseridos os dados, resultando em números, suficientes para sua geração automática, e estes, devem ser convertidos para poderem ser reconhecidos por softwares CAD. Para realização dos desenhos, será utilizado o software proprietário AutoCAD 2022, com licença estudantil, sendo

possível a impressão dos dados ou sua representação tridimensional. Estas informações podem ser convertidas a outros softwares, necessitando apenas do tratamento específico conforme a entrada de seus dados.

Será feito uma descrição sucinta dos principais procedimentos para a obtenção dos dados necessários à obtenção dos perfis, começando pelo MATLAB, versão r2021a. Este também é um software proprietário, para o presente trabalho utilizou-se a versão estudantil que faz cálculos matemáticos através de matrizes, resultando em números ou gráficos.

Utilizaram-se os seguintes dados como parâmetros de projeto:

- Foi estabelecido quinze perfis como número de seções para o projeto da pá, mas, deve-se tomar cuidado com este número, em excesso, dificulta a fabricação e menos, implica na perda de eficiência;
- Valor da eficiência mecânica neste caso foi adotado 0,8;
- A densidade do fluido, para água utiliza-se o valor de 996;
- O número de pás do rotor, para o projeto utilizou-se três pás;
- O raio da pá atribuído terá o valor de 1m;
- A velocidade do fluido indicada será de 2m/s.

Após a determinação específica dos valores, utiliza-se o comando “run”, para a inicialização da compilação dos dados, resultando, numa tabela ilustrada na Figura 35, no qual, obtendo a geração das principais características de cada perfil.

	r (x)	Corda da pá	Ângulo Phi	Ângulo Phich	Ângulo Twist	Fator de Correção	C.sustentação	C.arrasto
P1	0.0667	0.1100	42,1609	33,7900	37,2269	1.000	1,3033	0.0161
P2	0.1333	0.1133	30,0173	21,5000	24,9369	1.000	1,3211	0.0164
P3	0.2000	0.0962	22,4966	13,9600	17,3969	1.000	1,3211	0.0164
P4	0.2667	0.0801	17,7502	9,2100	12,6469	1.000	1,3211	0.0164
P5	0.3333	0.0676	14,5733	6,0343	9,4712	1.000	1,3211	0.0164
P6	0.4000	0.0581	12,3265	3,7900	7,2269	1.000	1,3211	0.0164
P7	0.4667	0.0508	10,6694	2,1303	5,5672	0.9999	1,3211	0.0164
P8	0.5333	0.0450	9,3925	0,8575	4,2944	0.9998	1,3211	0.0164
P9	0.6000	0.0404	8,3787	-0,1475	3,2894	0.9993	1,3211	0.0164
P10	0.6667	0.0366	7,5645	-0,9600	2,4769	0.9979	1,3211	0.0164
P11	0.7333	0.0334	6,8593	-1,6301	1,8068	0.9934	1,3033	0.0161
P12	0.8000	0.0307	6,2608	-2,1918	1,2451	0.9796	1,3033	0.0161
P13	0.8667	0.0284	5,7218	-2,6692	0,7677	0.9370	1,3033	0.0161
P14	0.9333	0.0265	5,2553	-3,0799	0,3570	0.7990	1,3033	0.0161
P15	1,00	0.0247	1,5431	-3,4369	0	0	0.9660	0.0124

POTENCIA TOTAL DA TURBINA : 4724.2739 (WATTS)

Figura 35. Dados gerados no MATLAB, definindo os parâmetros de cada perfil.

Fonte: Adaptado de Gomes (2019).

Analisando os dados, cada linha, representa as informações de cada seção, nesta situação, foram geradas quinze seções. Outro fator importante é a unidade obtida nestes dados, dadas em “metros”,

portando, devem ser posteriormente convertidos para milímetros. A título de exemplo, o valor da primeira linha, no caso 0.0667m (metros), que, convertido, passará a ser 66,7mm (milímetros).

Nas colunas, há três informações que são mais relevantes para o trabalho, sendo na primeira coluna $r(x)$, que corresponde a medida do raio a partir do centro do rotor até este valor, na segunda coluna a corda da pá (r), que é o comprimento longitudinal de cada perfil, e na quarta coluna, o ângulo Pitch, que é o ângulo de incidência do fluxo da água em cada perfil.

Uma observação, o primeiro valor de $r(x)$ 0.0667m ou 66,7mm, está mais próximo da raiz da pá, enquanto o décimo quinto valor de $r(x)$ 1,00 m ou 1000mm, está mais distante do centro a ponta da pá, outra questão é que o eixo para a rotação de cada seção, que será aproximadamente um terço do comprimento da corda de cada perfil.

O perfil é igual em todas as seções, o que muda, são suas dimensões e os ângulos de incidência, proporcionais aos valores gerados pelo algoritmo. O perfil padrão utilizado no projeto, foi estipulado o NACA 4412, e este pode ser alterado para outros padrões, conforme a necessidade, mas a forma de obtenção dos números para execução se manterá, lembrando que este padrão serve para gerar a forma da seção da lâmina, portanto, interfere diretamente no rendimento do sistema em relação a extração de energia do fluxo da água e arrasto, dados levados em consideração no trabalho já realizado.

O perfil NACA 4412 está disponível no site <http://www.airfoiltools.com>, disponibilizando todas as especificações e arquivo "dat" (*Delivered At Terminal*), que pode ser aberto em qualquer aplicativo que edite dados, gerando assim as coordenadas, conforme mostrado na Figura 36.

NACA 4412 - NACA 4412 airfoil

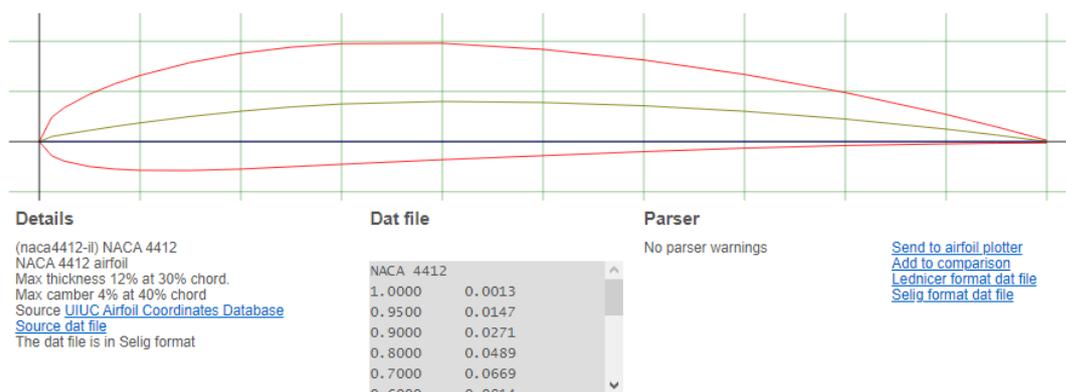


Figura 36. Perfil padrão NACA 4412 especificações e arquivo Dat.
Fonte: <http://www.airfoiltools.com/>

Os dados a partir do arquivo DAT são parâmetros adimensionais, ou seja, é necessário adicionar uma razão específica para atribuir uma medida a dimensão resultante, o que será feito posteriormente.

A conversão será realizada de acordo com (IMPORTAR..., 2020), para isto, os dados devem ser editados em qualquer programa que trabalhe com planilhas eletrônicas, bastando recortar os dados do arquivo DAT e colar na planilha eletrônica, conforme Figura 37.

	A	B	C	D
11	0.2000	0.0880		
12	0.1500	0.0789		
13	0.1000	0.0659		
14	0.0750	0.0576		
15	0.0500	0.0473		
16	0.0250	0.0339		
17	0.0125	0.0244		
18	0.0000	0.0000		
19	0.0125	-0.0143		
20	0.0250	-0.0195		
21	0.0500	-0.0249		
22	0.0750	-0.0274		
23	0.1000	-0.0286		
24	0.1500	-0.0288		
25	0.2000	-0.0274		
26	0.2500	-0.0250		
27	0.3000	-0.0226		
28	0.4000	-0.0180		
29	0.5000	-0.0140		
30	0.6000	-0.0100		
31	0.7000	-0.0065		
32	0.8000	-0.0039		
33	0.9000	-0.0022		
34	0.9500	-0.0016		
35	1.0000	-0.0013		

Figura 37. Os dados são colados diretamente na planilha eletrônica.
 Fonte: O autor (2022).

Nota-se que a os dados estão agrupados em apenas uma coluna, portanto deve-se fazer a separação dos mesmos em células distintas, para isto, se utiliza uma ferramenta, comum aos programas editores de planilhas, normalmente no *menu* principal, na paleta “dados” com a opção “Texto para colunas”, conforme mostrado na Figura 38. A operação é realizada em três etapas, sendo que na primeira, seleciona-se a opção “Largura fixa”, clicar em “avançar”, na etapa dois “avançar” novamente e na etapa três “concluir”, finalizando a operação.

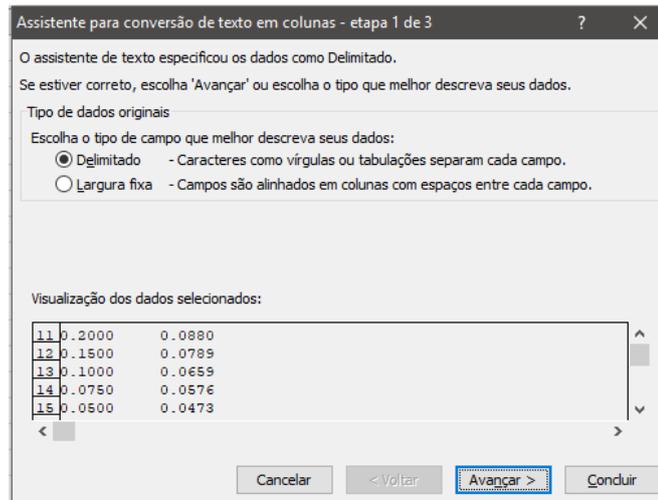


Figura 38. Operação para separação dos dados em duas colunas na planilha.
Fonte: O autor (2022).

Após a separação dos dados em duas colunas, deve-se corrigir o primeiro e o último número da primeira coluna, substituindo o valor de 10000 para 1.

Foi utilizado o AutoCAD como programa para gerar os desenhos, e este utiliza “ponto” para separação decimal e “vírgula” para separação de coordenadas, portanto é necessário fazer outra conversão, pois os números decimais gerados estão separados por vírgulas, ocasionado erro ao se aplicar os mesmos, então, utilizaremos o “bloco de notas” do *Windows*, para fazer esta conversão, procedendo da seguinte forma: selecionamos os dados da planilha utilizando a ferramenta copiar “ctrl+c”, no bloco de notas colamos com “ctrl+v”, seleciona-se todos os dados do bloco de notas e aplicamos a ferramenta no menu principal editar > substituir ou a tecla “ctrl+h”, na caixa de opções no campo “Localizar”, deve-se digitar “,” (vírgula) e no campo “Substituir por” digita-se “.” (ponto), clica-se na opção “substituir tudo”, automaticamente toda a pontuação é substituída, então se fecha a ferramenta, conforme a Figura 39.

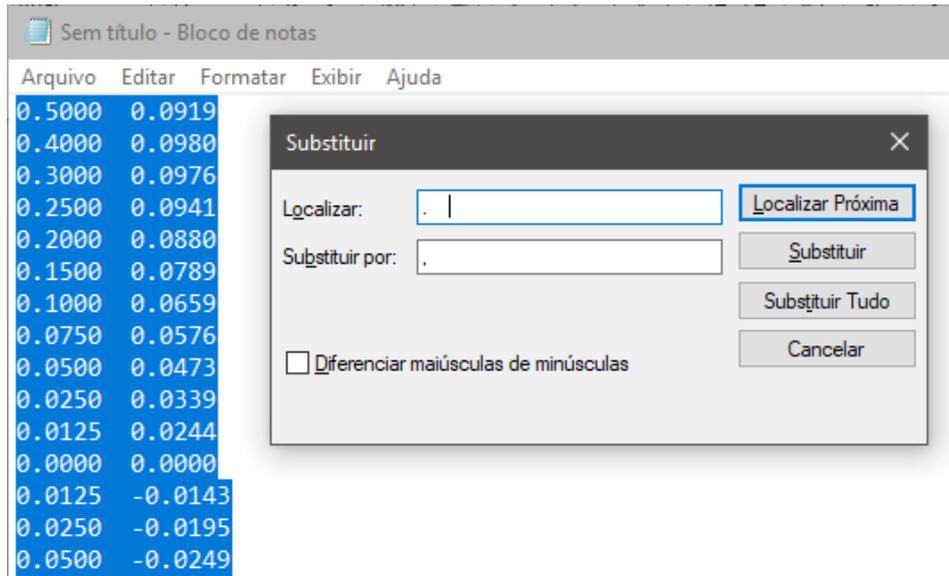


Figura 39. Modificação de vírgula por ponto nos separadores decimais, utilizando o bloco de notas.
 Fonte: O autor (2022).

Novamente os dados devem ser transferidos para a planilha, no entanto, deve-se fazer uma nova operação, no qual faremos a separação dos dados como coordenadas no AutoCAD, com a utilização da vírgula entre os dados, usando a fórmula “= CONCATENAR (célula 1; “ , “ ; célula 2)”, esta operação deve ser copiada para as demais células, correspondentes aos dados, conforme mostrado na Figura 40.

C1		fx =CONCATENAR(A1;" , ";B1)			
	A	B	C	D	E
1	1	0.0013	1,0.0013		
2	0.9500	0.0147			
3	0.9000	0.0271			
4	0.8000	0.0489			
5	0.7000	0.0669			
6	0.6000	0.0814			
7	0.5000	0.0919			
8	0.4000	0.0980			

C24		fx =CONCATENAR(A24;" , ";B24)				
	A	B	C	D	E	F
1	1	0.0013	1,0.0013			
2	0.9500	0.0147	0.9500,0.0147			
3	0.9000	0.0271	0.9000,0.0271			
4	0.8000	0.0489	0.8000,0.0489			
5	0.7000	0.0669	0.7000,0.0669			
6	0.6000	0.0814	0.6000,0.0814			
7	0.5000	0.0919	0.5000,0.0919			
8	0.4000	0.0980	0.4000,0.0980			

Figura 40. Função CONCATENAR, para separação dos dados.
 Fonte: O autor (2022).

. Fazer uma correção no último dado, mudando seu sinal de negativo para positivo, ilustrado na Figura 41. Esta mudança serve para fechar o contorno do polígono, sem esta mudança o perfil ficaria aberto, deve-se então selecionar dos dados recém-criados na coluna C, estes servirão como coordenadas para o AutoCAD.

24	0.1500	-0.0288	0.1500,-0.0288	24	0.1500	-0.0288	0.1500,-0.0288
25	0.2000	-0.0274	0.2000,-0.0274	25	0.2000	-0.0274	0.2000,-0.0274
26	0.2500	-0.0250	0.2500,-0.0250	26	0.2500	-0.0250	0.2500,-0.0250
27	0.3000	-0.0226	0.3000,-0.0226	27	0.3000	-0.0226	0.3000,-0.0226
28	0.4000	-0.0180	0.4000,-0.0180	28	0.4000	-0.0180	0.4000,-0.0180
29	0.5000	-0.0140	0.5000,-0.0140	29	0.5000	-0.0140	0.5000,-0.0140
30	0.6000	-0.0100	0.6000,-0.0100	30	0.6000	0.0100	0.6000,0.0100

Figura 41. Troca do sinal no último dado, necessário para fechar a poligonal do perfil.
Fonte: O autor (2022).

No AutoCAD, com um novo arquivo aberto, digita-se o comando “*Polyline*” ou tecla de atalho “PL”, inserir os dados no campo “*command:*” utilizando “ctrl+v”, automaticamente é formado o perfil, para melhor visualização, utiliza-se o comando “*Zoom*” em seguida o subcomando chamado “*Extend*”, mostrado na Figura 42.

Este procedimento pode ser feito para outros softwares CAD, porém deve-se observar o formato da inserção dos dados para que se faça a conversão necessária.

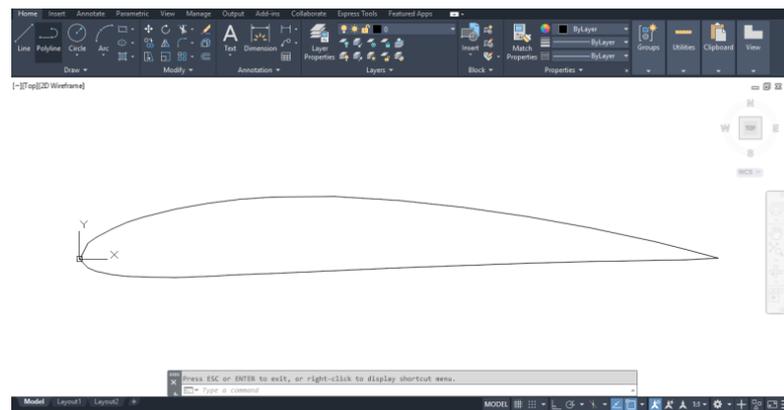


Figura 42. Representação do perfil AutoCAD.
Fonte: O autor (2022).

Este perfil terá o valor do comprimento da corda em uma unidade (medida adimensional), e o ângulo em relação ao eixo horizontal é igual a zero grau. Divide-se a corda na terça parte (centro de gravidade), no qual passará uma linha com comprimento de mil unidades (será convertida para milímetros, correspondendo ao raio) que será o eixo longitudinal da pá, nomeia-se cada seção com um texto de referência para melhorar a edição e evitar equívocos no processo, conforme Figura 43.

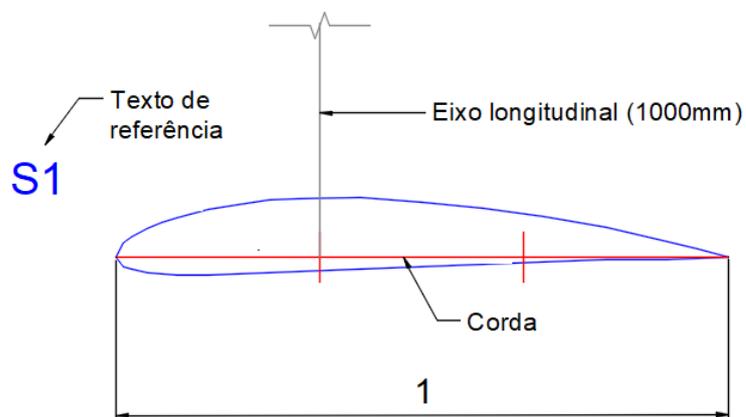


Figura 43. Determinação do centro de gravidade do perfil e eixo longitudinal.
Fonte: O autor (2022).

Os dados mais relevantes foram transferidos do MatLAB para uma planilha, assim, na primeira coluna haverá a identificação de cada seção, na segunda coluna a distância absoluta em relação ao eixo, na terceira coluna o comprimento da corda e na quarta coluna, o ângulo ϕ . As colunas que são relevantes foram destacadas com cores para reduzir confusão nas leituras dos dados, de acordo com a Figura 44.

ANGULO DE ATAQUE OTIMIZADO: 8.5				
TSR OTIMIZADO: 7.5				
	r(x)	Corda da pá	Ângulo Phi	Ângulo Phich
P1	0,0667	0,11	42.161	33,7900
P2	0,1333	0,1133	30.017	21,5000
P3	0,2000	0,0962	22.496	13,9600
P4	0,2667	0,0801	17.750	9,2100
P5	0,3333	0,0676	14.573	6,0343
P6	0,4000	0,0581	12.326	3,7900
P7	0,4667	0,0508	10.669	2,1303
P8	0,5333	0,045	9.392	0,8575
P9	0,6000	0,0404	8.378	-0,1475
P10	0,6667	0,0366	7.564	-0,96
P11	0,7333	0,0334	6.859	-1,6301
P12	0,8000	0,0307	6.260	-2,1918
P13	0,8667	0,0284	5.721	-2,6692
P14	0,9333	0,0265	5.255	-3,0799
P15	1,0000	0,0247	1.543	-3,4369
POTENCIA TOTAL DA TURBINA : 4724.2739 (WATTS)				

Figura 44. Dados transferidos para planilha nomeou-se cada seção e destacaram-se as colunas mais relevantes.
Fonte: O autor (2022).

Foram feitas quinze cópias (número estabelecido de seções), com distâncias absolutas em relação ao eixo, de acordo com os dados da planilha, extraídos do MatLAB,

4.1.2 Aplicando Plano Seriado na Confeção dos Gabaritos

O perfil aerodinâmico gerado no CAD representa uma seção ou um plano que irá se repetir a uma distância determinada pelos valores atribuídos a “ $r(x)$ ”, desta forma, quanto maior o número de seções, maior a densidade do volume, aumentando a precisão. Em cada repetição haverá uma gradação de tamanho que será proporcional ao valor dado na “corda da pá”, ou seja, terá um aumento em escala, atribuindo todos os valores para milímetros. Haverá também em cada repetição uma mudança de posição, ao qual o plano que contém a seção gira em torno de um eixo pré-definido que passa pelo CP (Centro de Pressão), o valor da rotação é dado pelo “ângulo ϕ ”. Na Figura 45(a), a representação tridimensional e na Figura 45(b) a representação bidimensional da repetição de alguns dos perfis a partir de uma origem, com seu aumento de escala (comprimento da corda), distâncias a partir da origem e seus respectivos ângulos.

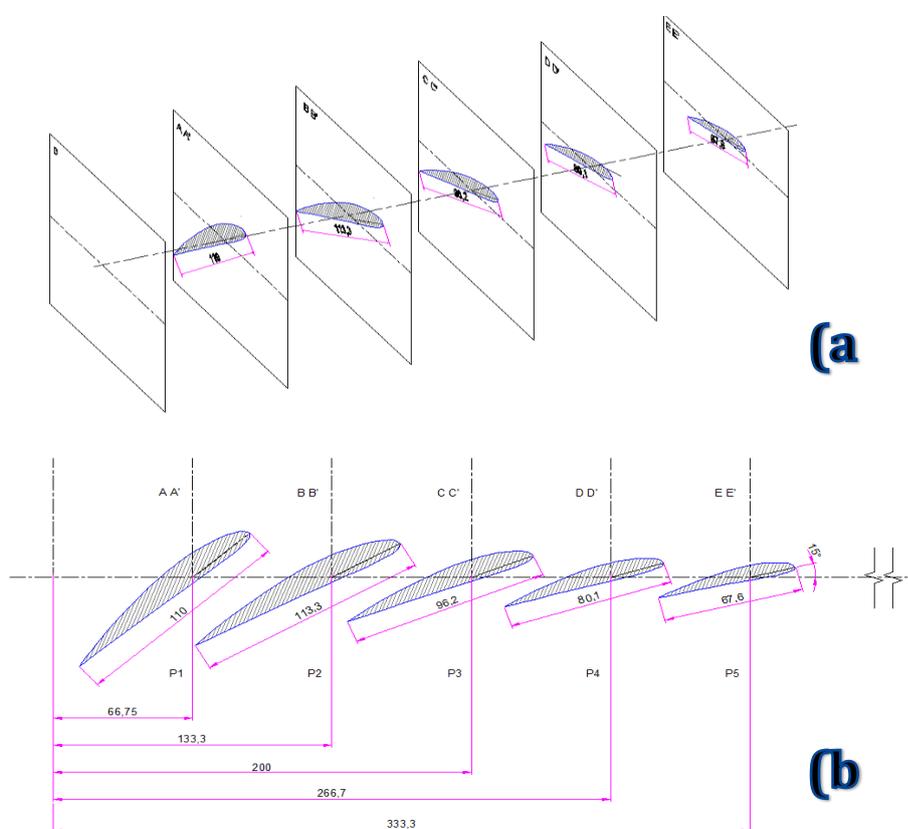


Figura 45(a) e (b). Representações das seções com suas distâncias, ângulos e comprimentos de corda a partir dos dados fornecidos pela planilha.
Fonte: O autor (2022).

A partir do conceito de planos seriados, são feitos os gabaritos, onde cada plano servirá de molde e guia com seção do perfil aerodinâmico. Estes possuem grade com escala, dois eixos que representam os planos de horizontal e vertical de referência, todos estes elementos ajudarão como guias para confecção da pá. Gabaritos ilustrados na Figura 46.

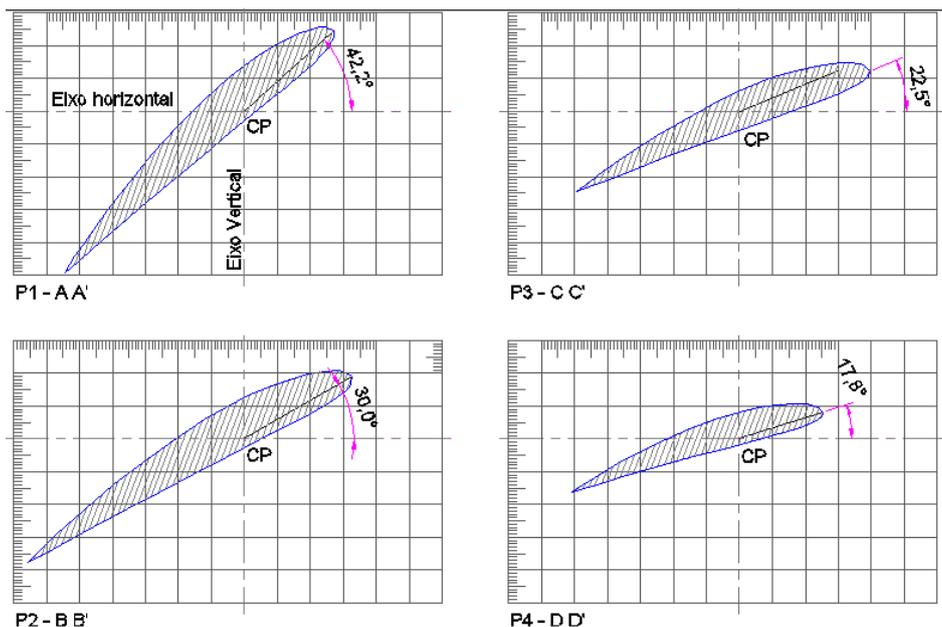


Figura 46. Exemplo de quatro dos quinze gabaritos gerados.
 Fonte: O autor (2022).

Com as atribuições do plano seriado e os dados gerados a partir do algoritmo para geração dos perfis, além dos gabaritos, têm-se informações necessárias para a realização do desenho técnico, ou geração tridimensional, para simulação ou impressão 3D, em diversas plataformas CAD. O procedimento pode variar em função da arquitetura de cada software, mas, os perfis gerados com suas devidas características são os mesmos para cada um, normalmente utilizando um comando 3D que liga as seções, chamado de “loft” chega-se a representação tridimensional da pá. Um cuidado importante é a utilização de valores com frações decimais, no entanto, se forem utilizados equipamentos de alta precisão, estes devem ser desenhados obedecendo às frações, mas no caso do presente trabalho, como será manual, os valores fracionados das distâncias, dimensões e ângulos, serão arredondados.

4.1.3 Produção dos Desenhos Técnicos

Os desenhos técnicos são de suma importância para execução das técnicas de construção das pás, bem como os gabaritos, devendo ser bem claros e objetivos, para que não haja interpretação errônea dos mesmos. Dois desenhos técnicos foram feitos, para atender as técnicas de confecção das pás, sendo o primeiro desenho constituído de vistas ortográficas, superior, frontal e seções que representam os perfis, do número um ao número quinze. Este desenho técnico atenderá a primeira técnica, “entalhe direto na madeira”, ilustrado na Figura 47.

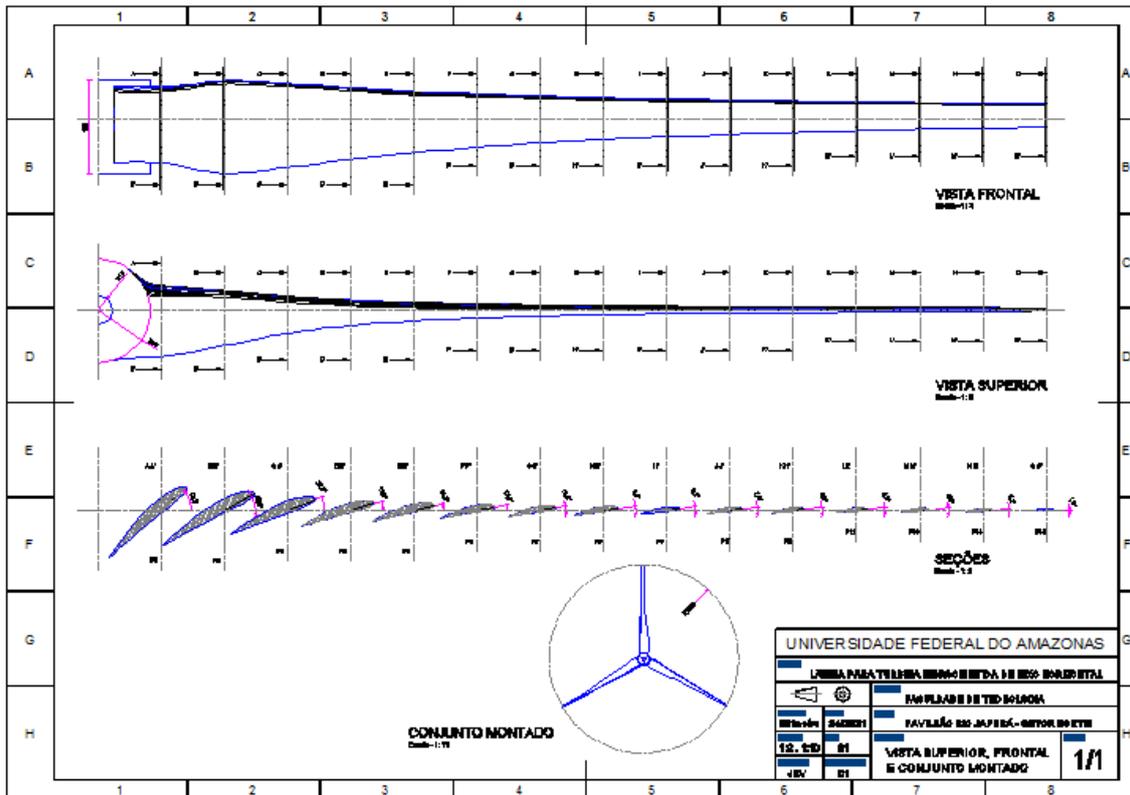


Figura 47. Desenho técnico para técnica um e técnica três.
 Fonte: O autor (2022).

Para a segunda técnica “confecção por seções longitudinais”, houve a necessidade de desenvolver um desenho técnico distinto, ao qual serão compartilhados somente os desenhos das seções que servem de gabarito. Como a forma da pá apresenta sinuosidades nas vistas ortográficas de cada seção longitudinal, o método convencional de extrair as vistas através dos conceitos da geometria descritiva tornaria o desenho muito dispendioso e mais suscetível a erros. Para o procedimento foi recriado computacionalmente a pá em 3D dentro de um bloco que foi dividido em lâminas com espessura determinada similar ao da madeira que será utilizada, subtrai-se individualmente o perfil em cada lâmina como se fossem camadas, sobrando a silhueta do perfil, mostradas na Figura 48.

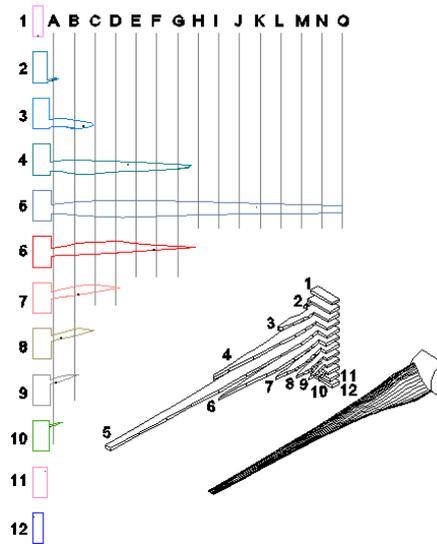


Figura 48. Extração das silhuetas formando um plano seriado das seções longitudinais.
 Fonte: O autor (2022).

O desenho de cada silhueta será impresso em um gabarito longitudinal e sobreposto para formar o desenho técnico, mostrado na Figura 49.

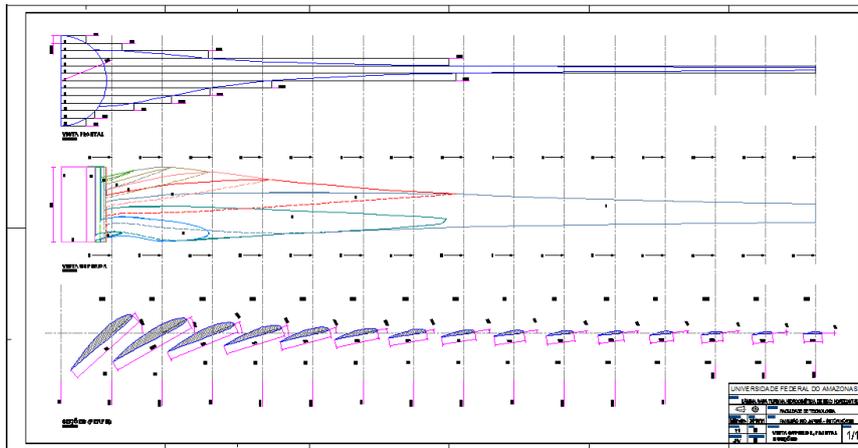


Figura 49. Desenho técnico a partir das silhuetas da subtração da pá dos blocos em 3D.
 Fonte: O autor (2022).

Este último procedimento para obtenção do desenho técnico da segunda técnica, requer maior habilidade do projetista e leva mais tempo e atenção para ser executado.

4.2 PREPARO DE MATERIAIS E FERRAMENTAS

4.2.1 Cuidados com a madeira utilizada

Antes da realização do trabalho devem-se observar alguns critérios para evitar transtornos que podem inutilizar o resultado, dentre estes destacamos:

- Verificar imperfeições como nós, umidade, oleosidade, empenamento, rachaduras e infestação por pragas;
- Ao cortar a madeira, acompanhar o grã ou o sentido das fibras, para que estas fiquem sempre que possível no sentido longitudinal em relação à pá;
- Tomar cuidado nas marcações do desenho sobre o bloco de madeira, observando medidas, posições e ângulos, evitando assim erros no corte ou desbaste da peça.
- Sempre calçar regiões da peça que sejam finas ou com grande distancia

4.2.2 Cuidado com as ferramentas

Para melhor desempenho no resultado do trabalho e utilização das ferramentas é necessário que as mesmas devam estar sempre afiadas ou amoladas. Portanto, esta tarefa deve ser realizada antes do início das atividades ou durante o trabalho, observada a perda do fio das lâminas de corte, utilizadas em algumas ferramentas, como: formão, plaina, *corteché* (*spokeshave*) e lâmina de serra, este último, utiliza-se outro processo de amolação. A perda do fio de corte ocorre naturalmente em função de seu uso, sendo necessário o preparo prévio ou intervenção durante o trabalho caso a ferramenta perca seu desempenho.

A tarefa de afiação das lâminas de corte podem ser realizadas com a utilização de uma pedra de afiar, no caso foi utilizado uma pedra com dupla face de 8" x 2" x 1". Estas pedras são facilmente encontrada no comércio local. Para o procedimento, deve-se umedecer a pedra e um pano que ficará por baixo, servindo de apoio para que esta não oscile com o movimento da afiação, que deve ser sempre no mesmo sentido, com angulação igual ao do fio de corte da lâmina a ser afiada. Uma técnica para saber se o fio de corte está bem afiado e encostar de leve sobre a unha, se esta prender, provavelmente chegou-se ao ponto. Este procedimento requer atenção e paciência para que não ocorram acidentes, ilustrado na Figura 50.



Figura 50. Lâmina do *corteché* sendo afiada sobre a pedra dupla face.
Fonte: O autor (2022).

A amolação da lâmina de serra é um trabalho delicado e especializado devendo de preferência ser realizado por um técnico, mas em caso de não dispor deste serviço, pode ser feito com o uso de uma lima triangular, duas pequenas ripas como suporte, uma morsa e um alicate para formar travas, mas é necessário muito cuidado para não estragar a lâmina de serra.

4.2.3 Serra tico tico manual

Esta ferramenta terá diversas finalidades como confeccionar os gabaritos, fazer cortes em curvas mais acentuadas, cortar seções, dentre outras aplicações. Sendo de fundamental importância a sua aquisição, que nem sempre é possível no comércio local, portanto, foi proposta a confecção própria utilizando materiais reutilizados como um pedaço de vergalhão $\varnothing 1/4''$ x 540mm, um parafuso M4x50 com duas porcas, um cabo de vassoura, um arco de serra para corte de metais e um jogo de lâminas de serra tico tico de bancada, ilustrados na Figura 51.



Figura 51. A esquerda o material utilizado, à direita o arco de serra tico tico manual confeccionado pelo próprio usuário.
Fonte: O autor (2022).

4.2.4 Confeção dos gabaritos

Para a construção das pás da turbina hidrocínética é necessário primeiro a confecção dos gabaritos dos perfis, servindo para aferição das dimensões, formas geométricas e ângulos.

O procedimento será necessário os seguintes itens: cola branca, pincel macio com largura de 15mm, escala 500mm, estilete, tesoura, grafite de 9mm ou lápis, um grampo de marceneiro, folha de compensado de reuso de 300x100x4mm e uma serra tico-tico manual.

Inicia-se com a impressão dos desenhos das seções transversais devidamente numeradas, estas serão recortadas e coladas sobre uma folha de compensado, que foi marcado com um pincel para facilitar o posicionamento de cada recorte no momento da colagem, conforme ilustrado na Figura 52.



Figura 52. À esquerda o Desenho técnico dos gabaritos das seções transversais, à direita estes são recortados e colados sobre uma folha de compensado. Fonte: O autor (2022).

Após a colagem dos gabaritos sobre o compensado, recorta-se com um arco de serra, primeiro destacando individualmente cada gabarito, segundo, a forma do perfil. Cada gabarito será bipartido, ou seja, na parte superior temos a forma do extradorso e na parte inferior o intradorso. Após todos os recortes, com o auxílio de uma lixa, dá-se acabamento às formas. Procedimentos ilustrados na Figura 53.

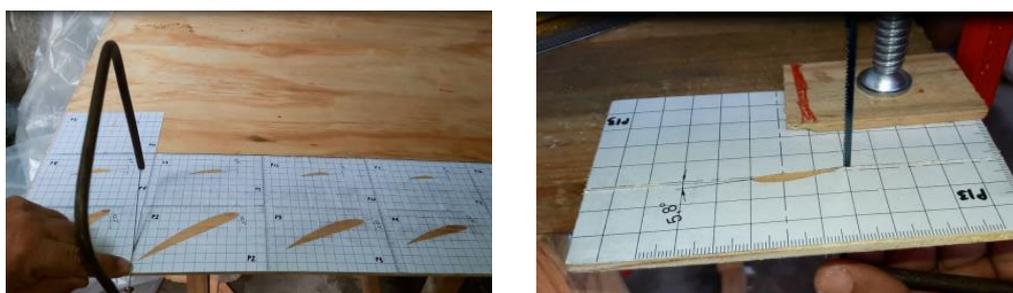


Figura 53. À esquerda o corte individual de cada gabarito e a direita o corte do perfil. Fonte: O autor (2022).

4.2.5 Arco de serra com lâmina perpendicular

Os arcos de serra comerciais normalmente possuem a lâmina de serra paralela ao suporte ou a empunhadura, porém para o presente trabalho será proposto um arco de serra no qual a lâmina é perpendicular, conforme mostrado na Figura 54.



Figura 54. Arco de serra com lâmina horizontal.
Fonte: O autor (2022).

Esta configuração da lâmina terá como função facilitar o corte, não havendo bloqueio do corpo do arco de serra na abertura feita durante o trabalho.

Este arco em específico tem como vantagem em relação ao arco de serra comum a fato da lâmina não ser descartável, ou seja, esta pode ser amolada diversas vezes, também, utiliza uma lâmina própria para corte em madeira, o que proporciona melhor rendimento ao trabalho.

4.3 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DAS PÁS EM MADEIRA

4.3.1 Primeira Técnica

A técnica é derivada da construção por entalhe e consiste em fazer desenhos dos contornos sobre as faces ortogonais, serrar e entalhar diretamente sobre um bloco de madeira, observando a forma do perfil aerodinâmico com suas posições e proporções impressas nos gabaritos que representam as seções do plano seriado justapostas transversalmente, sendo referência para o desbaste mais apurado, conforme ilustrado na Figura 55.

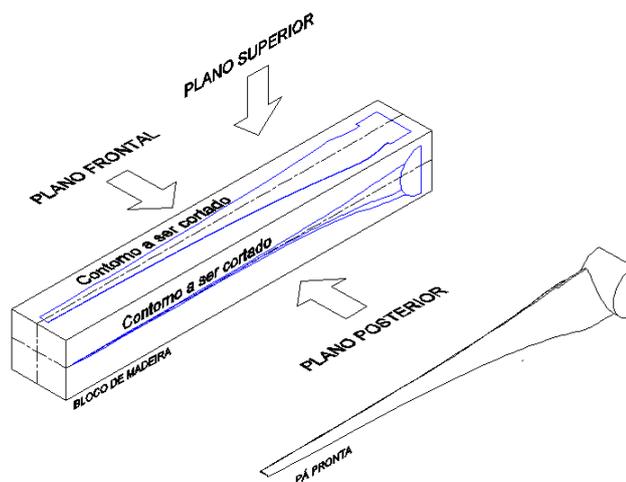


Figura 55. Faces ortogonais do bloco onde serão desenhados os contornos da pá.
Fonte: O autor (2022).

Utilizou-se um bloco de madeira maciça e seca, possuindo as dimensões de 95 x 55 x 1140mm, peso de 2956g. Poderia ser usado um bloco laminado, mas optou-se pelo maciço, por questões de praticidade e disponibilidade do material.

Os desenhos técnicos estão na escala 1:1, portanto, ocupa uma folha no formato A0, nem sempre possível de ser impresso em localidades remotas onde não há a disponibilidade de um plotter, além dos custos da plotagem, portanto, optou-se por imprimir os desenhos em partes, no formato A4, tomando-se o cuidado na organização e enquadramento para que nenhuma parte do desenho seja omitida, Figura , acima, a folha impressa e abaixo o bloco de madeira maciça.



Figura 56. Desenhos impressos no formato A4, colados e bloco de madeira maciço.
Fonte: O autor (2022).

Há várias formas de transferir o desenho para a face ortogonal do bloco de madeira, para esta função, foram fixados alfinetes sobre as principais linhas do desenho, principalmente eixos e contornos. Nas linhas mais sinuosas, incluir mais alfinetes, melhorando assim a precisão do traçado, tarefa ilustrada na Figura .

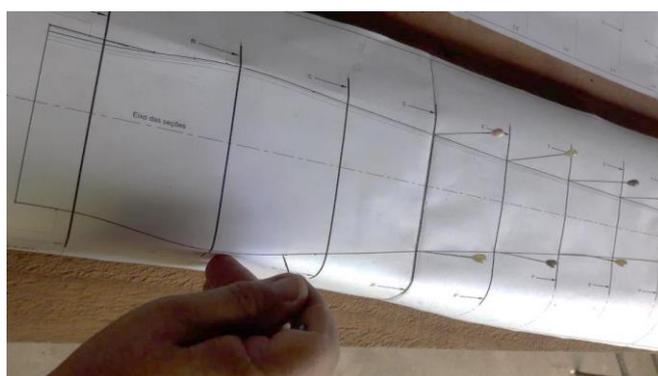


Figura 57. Alfinetes para marcar os vértices que delineiam os principais elementos do desenho, transferindo para o bloco de madeira.
Fonte: O autor (2022).

Após a marcação do desenho sobre a projeção do plano superior no bloco de madeira, procede-se o respectivo corte, para isto, fixou-se horizontalmente o bloco de madeira à mesa em posição que melhor favoreça a tarefa, sendo usado o arco de serra com lâmina perpendicular, mostrado na Figura .



Figura 58. Bloco fixo à mesa para o corte da projeção superior.
Fonte: O autor (2022).

A lâmina de serra deverá ficar o mais vertical possível, deixando sempre uma sobra para fora do contorno, esta margem deverá ser de pelo menos um milímetro para possíveis ajustes durante o trabalho. Obedecer as angulações das seções oriundas dos desenhos. Retirar com a serra horizontal a maior quantidade de material possível, minimizando o trabalho com outras ferramentas. Na Figura (a), ilustração do corte dos contornos da face do plano superior da pá, após marcações transferidas do desenho técnico. O mesmo procedimento foi feito para o plano frontal e plano posterior do bloco de madeira, fixado verticalmente em relação à mesa para favorecimento do corte Figura (b), que deve ser feito obedecendo aos ângulos determinados no desenho, como sugestão para evitar erros, é bom marcar onde será o bordo de ataque e de fuga, servindo de referência durante o corte. Para esta tarefa ajusta-se o movimento da lâmina para que acompanhe os contornos do desenho, formando assim um pequeno retângulo em cada seção ao longo da pá. Este retângulo contém os perfis aerodinâmicos que serão esculpido cuidadosamente com o uso de ferramentas específicas como *corteché* e a grossa Figura (c), sendo conformado sobre superfície da madeira em cada seção.

Marca-se uma linha na horizontal e na vertical, estas representarão os respectivos planos de referência que devem ser constantemente aferidos através do uso dos gabaritos, mostrado na Figura 59(d), encaixadas para verificação visual, até se chegar ao resultado da forma e posição desejadas, almejando seu encaixe perfeito à peça. A suavização e acabamento da superfície são realizados com auxílio de lixas com granulação apropriada.

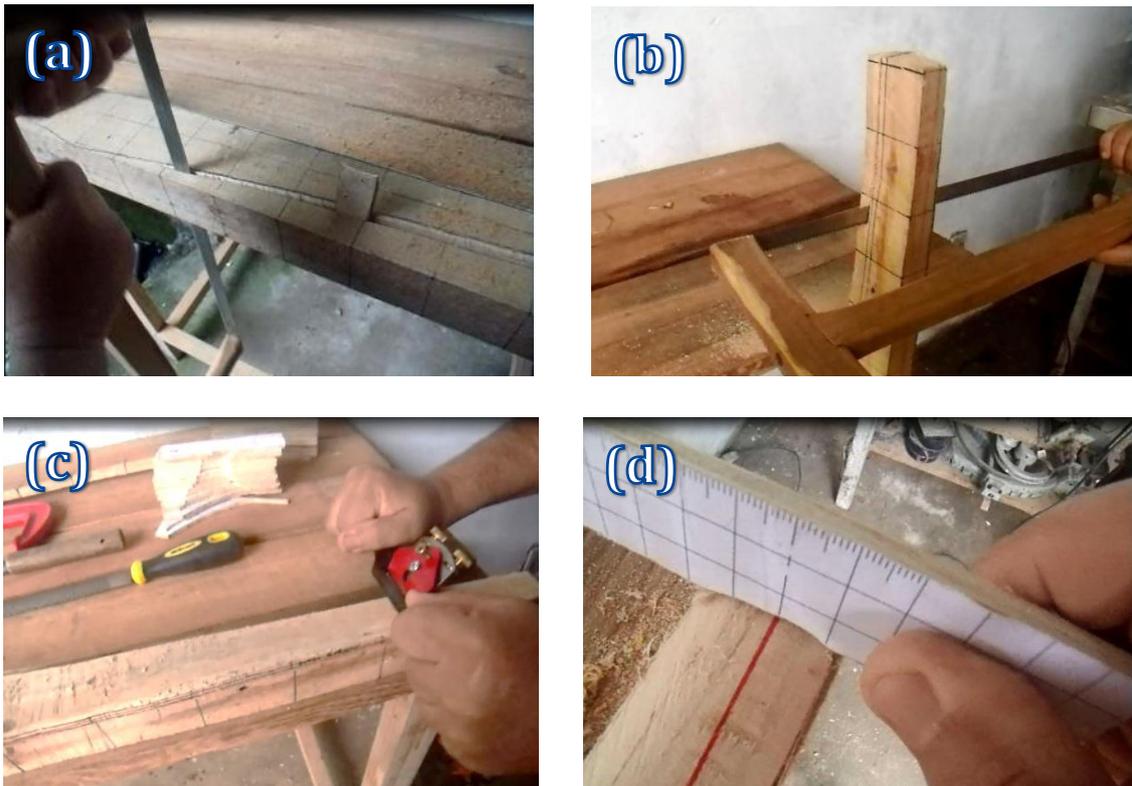


Figura 59. (a) corte do plano superior, (b) corte simultâneo dos planos frontal e posterior, (c) conformação da superfície e (d) conferência utilizando gabarito.
 Fonte: O autor (2022).

Alguns cuidados devem ser tomados para melhoria das tarefas como, por exemplo:

- A cada trabalho deve-se fixar à peça para que esta fique firme e favoreça a atividade, principalmente os cortes dos contornos, onde é necessário mais esforço;
- A mesa de trabalho também deve ficar bem firme, para que esta não oscile, causando desconforto e imprecisão durante realização da tarefa;
- Manter a base da peça sempre apoiada, principalmente próximo à ponta da pá, local menos espesso, se for muito flexionado pode vir a quebrar, para isto, foi usado o próprio material complementar retirado após o corte, servindo de apoio à peça durante o trabalho;
- De modo a facilitar e aumentar a eficiência do corte adicionasse uma cunha de madeira dentro do corte, tomando somente o cuidado de não forçar demais a abertura da peça, para que esta não parta. A cunha ajuda a abrir o corte facilitando a entrada da lâmina evitando seu travamento;

- Posicionar o arco de serra adequadamente em relação à linha de corte, deixando sempre uma sobra, evitando assim algum corte indesejado, que venha a comprometer o trabalho;
- Observar sempre que possível, o avanço do corte em relação ao que está marcado sobre a peça, possibilitando correções momentâneas ao longo do corte;
- Na peça é de fundamental importância ter como referência os eixos horizontal e vertical, além das linhas que representam as seções. Todas estas marcações ajudam a manter referência e a precisão dos parâmetros que se pretendem alcançar na pá para turbina hidrocínética.

Na Figura 60, uma pá realizada utilizando a primeira técnica.



Figura 60. Foto da pá confeccionada com a primeira técnica.
Fonte: O autor (2022).

Esta técnica provou ser viável e exequível, utilizando madeira reaproveitada e com poucas ferramentas que independem de do uso de energia elétrica, sendo possível sua execução em uma pequena oficina, ocupando pouco espaço, portando se adequa bem a confecção das pás em locais remotos, longe de grandes centros urbanos.

4.3.2 Segunda Técnica

Esta técnica consiste em cortar as lâminas em seções longitudinais, em seguida são coladas e prensadas durante certo tempo para cura da cola, então é feito o corte frontal, em seguida o desbaste da peça e o por fim o acabamento.

Foi utilizado como material, também madeira de reuso, ao qual, faz-se necessário uma boa escolha, evitando-se peças muito empenadas, nós, rachaduras no sentido das fibras, e, observar cuidadosamente furos de pregos para que estes não atrapalhem a área do útil da construção da pá, conforme mostrado na Figura 61.



Figura 61. Evitar madeira muito empenada, com furos e rachaduras.
Fonte: O autor (2022).

Caso haja pregos, retirá-los totalmente antes do início do trabalho, para que não atrapalhem as atividades e também prevenir eventuais acidentes, ilustrado na Figura 62.



Figura 62. Peças de madeira de reuso com pregos que devem ser retirados.
Fonte: O autor (2022).

Quando a madeira é adquirida, são necessárias várias peças para escolha adequada de poucas que realmente possam ser reaproveitadas, no entanto, boa parte será utilizada para calços e suportes durante a execução do trabalho.

No desenho técnico deve-se conhecer previamente a espessura da madeira para determinação do número de camadas, deixando uma pequena margem para o futuro aplainamento até se chegar a medida nominal estabelecida. No caso de madeira cortada, também é necessário o mesmo procedimento, porém deve-se ter maior atenção durante o corte para evitar pranchas muito empenadas ou com grande irregularidade de espessura o que pode provocar maior volume de trabalho para acerto das peças, aumentando a possibilidade de erro nas medidas.

Transferem-se as linhas dos desenhos para a superfície da madeira, no presente trabalho, foram utilizados alfinetes para marcar pontos de ligação. Para melhoria da precisão da marcação de linhas curvas do desenho sobre a madeira, aumenta-se o número de alfinetes para melhorar a precisão do

traçado. Na Figura 63, está representado o procedimento para transferência do desenho para a superfície da madeira.



Figura 63. Marcação com alfinetes, para transferência do desenho técnico para a superfície da madeira. Fonte: O autor (2022).

Para o corte é necessário fixar firmemente as peças sobre a bancada com o auxílio de grampos e calços para não marcar a superfície de trabalho da peça. Serrar sempre deixando uma pequena margem sobre os contornos do desenho na peça, pelo menos um milímetro. Observar o sentido do corte e ajustar a lâmina para melhor rendimento do procedimento em relação à execução. Também estabelecer a melhor postura para evitar lesões musculares, desconfortos e cansaço excessivo durante a atividade, obedecendo a períodos de descanso quando for exercido maior esforço durante o corte. Na Figura 64(a), lâmina fixada firmemente sobre a bancada com grampos e Figura 64(b), corte da lâmina com uma margem de pelo menos um milímetro em relação ao contorno a ser cortado.



Figura 64. (a) Fixação da lâmina sobre a bancada, (b) corte do contorno. Fonte: O autor (2022).

Caso haja furos ou imperfeições na superfície da lâmina, é possível utilizar pó de serragem misturado com cola pvc para preenchimento e regularização da peça.

É necessário o aplainamento da superfície das peças que terá como função adequar a espessura de acordo com o indicado no desenho técnico, ou seja, uniformizar as medidas, além de reduzir

empenamentos localizados ao longo da peça. Outra função do aplainamento é a retirada de manchas e irregularidades, além de permitir a abertura dos poros das fibras para melhor aderência da cola para junção das peças. Na Figura 65, o aplainamento realizado por plaina ou por *corteché*.



Figura 65. (a) aplainamento realizado com plaina manual, (b) aplainamento com *corteché*.
Fonte: O autor (2022).

Nesta técnica é notório o plano seriado na longitudinal, com as lâminas sobrepostas, observa-se a gradação da forma e do tamanho, formando o volume da pá para a turbina hidrocínética, conforme ilustrações da Figura 66.



Figura 66. Com as lâminas cortadas, fica claro o plano seriado na longitudinal.
Fonte: O autor (2022).

São refeitas as linhas que representam os eixos verticais (transversais) e horizontais (longitudinais), relativas às seções, devendo ser alinhadas para o correto posicionamento das camadas. O ideal é marcar as linhas em todos os lados da lâmina, facilitando a orientação em qualquer posição que for feita a montagem. Na Figura 67, estão marcados os eixos sobre as lâminas para o seu alinhamento.



Figura 67. Marcação dos eixos nas lâminas para correto alinhamento.
Fonte: O autor (2022).

Aproveitando o restante da madeira foram feitos cinco grampos, no qual em todos foram realizados dois furos correspondentes ao diâmetro da barra roscada utilizada, no caso $\text{Ø}6\text{mm}$, para cada suporte foram cortados dois pedaços de barra roscada com quatro porcas e quatro arruelas na mesma medida para cada um. Os furos devem ficar o mais próximo possível das lâminas, para minimizar flexões que podem ocasionar a quebra, sendo esta de madeira, além de melhorar a compressão sobre a peça. Estes grampos devem ser distribuídos ao longo das lâminas de tal forma que pressione favoravelmente toda a superfície da pá, não havendo tensões localizadas, para isto é necessário fazer um montagem prévia antes da colagem, colocar calços, também com a própria madeira de reuso, para que todos os pontos fiquem bem apoiados, organizando para que não haja imprevistos no momento da colagem. Ilustrações nas Figura 68 (a) e (b).



Figura 68. (a) Grampos de madeira, barra roscada, porcas e arruelas. (b) organização para montagem.
Fonte: O autor (2022).

Sobre as lâminas foram passadas generosas porções de cola pvc com uma trincha (pincel), em seguida foram montadas cuidadosamente de acordo com os respectivos alinhamentos, e prensados com os grampos de madeira em pontos estrategicamente pré-determinados, para que todas as superfícies fiquem perfeitamente comprimidas formando um conjunto, conforme ilustrado na Figura 69.



Figura 69. Cola pvc sendo passada em uma das lâminas e conjunto montado e colado.
Fonte: O autor (2022).

Após sete dias de cura, o conjunto ficou bem colado, ao qual, foi realizada a marcação do desenho do perfil sobre o bloco, que em seguida é cortado, processo similar à primeira técnica.

Após o corte é retirado o excesso de material com o *corteché* e, conformado utilizando uma grossa, sempre acompanhando a forma do perfil em cada seção marcada encaixando os gabaritos para sua devida aferição. Completada a forma final da pá, realiza-se o acabamento superficial com lixa nº. 100 e em seguida lixa nº. 400.

Uma observação, os cuidados para realização da primeira técnica, são praticamente os mesmos da segunda técnica. Observa-se também, marcas características da colagem das lâminas, mas após o revestimento, a superfície será completamente preenchida. Na Figura 70, uma pá realizada utilizando a segunda técnica.



Figura 70. Foto da pá confeccionada com a segunda técnica.
Fonte: O autor (2022).

CAPÍTULO 5

Análise comparativa das técnicas

Neste capítulo será realizada a análise do processo de fabricação onde serão descritas as etapas e respectiva descrição de cada uma, obtendo um panorama a respeito da sistematização para a confecção da pá para a turbina hidrocínética. Será realizada também a análise de custo de produção, levando em consideração insumos e ferramental necessário à sua produção.

5.1 Análise do processo de fabricação;

5.2 Análise do custo da produção da pá

5.3 Avaliação entre a primeira e a segunda técnica de construção das pás

5.1 ANÁLISE ENTRE AS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DAS PÁS

Esta análise favorece o desenvolvimento dos critérios para a criação de um manual de instruções para replicação da técnica por qualquer pessoa que disponha das ferramentas, insumos e mesmo pouco conhecimento técnico, mas que tenha alguma aptidão para trabalhos manuais.

5.1.1 Discussão das Patentes

Preliminar à discussão das técnicas, torna-se necessário investigar especificamente se o projeto das pás ou a construção possuem alguma proteção intelectual por patente, visando a idoneidade do presente trabalho. Para isso, foram investigadas as bases de patentes: <https://patents.google.com>, <https://patents.justia.com>, <https://portal.unifiedpatents.com> e <https://www.gov.br/inpi/pt-br>, com as palavras chaves: *blade hydrokinetic*, *rotor hydrokinetic* e turbina hidrocínética, onde foram encontradas os seguintes números de registros: US11022001, US8764391, US11174829, US7997870 e WO2016130984A2.

Nesta pesquisa foi possível constatar que as patentes identificadas nesses registros se concentraram noutras partes e componentes, como: mecanismo para ajuste hidrodinâmico para uma turbina hidrocínética, estrutura e sistema para turbina, difusores e sistemas para melhor aproveitamento do fluxo da água, pás flexíveis para adequação à velocidade do fluido, por conseguinte, não foi encontrada proteção intelectual em relação à forma específica do projeto, que seja igual ao apresentado no presente trabalho.

Conforme foi mencionado no capítulo 3, o perfil aerodinâmico é de domínio público disponibilizado gratuitamente em <http://www.airfoiltools.com>, e este, é responsável pela geração tridimensional da pá, além de outros parâmetros, que são estipulados em função do projeto, em específico determinados pela demanda do usuário e atribuídos um algoritmo desenvolvido por Arruda et. al. (2018). Estes dados são produzidos pelo Software MATLAB com registro estudantil, resultando em referências também responsáveis pela composição da forma.

Desta forma, infere-se que não há proteção específica de propriedade intelectual para estas pás. A partir daqui são discutidas as técnicas.

5.1.2 Primeira técnica

Descrevendo o processo de fabricação das pás para turbina hidrocínética pela primeira técnica, temos a seguinte sequência de produção, onde é mostrado a tarefa e o tempo de execução, ilustrado na Figura 71.

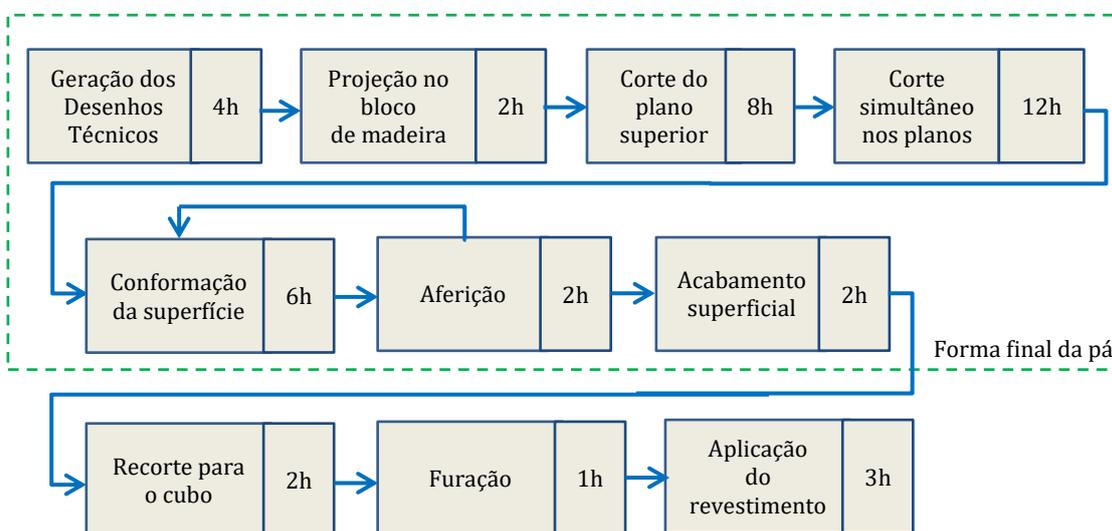


Figura 71. Sequência do processo de produção da pá. Através da primeira técnica
Fonte: O autor (2022).

O trabalho é iniciado com a geração dos desenhos técnicos, incluindo os gabaritos já descritos no capítulo 3, que são projetados sobre o bloco de madeira, com marcações que delimitam os contornos e plano das seções transversais que contém as formas dos perfis aerodinâmicos que no presente são quinze. Efetua-se primeiramente o corte do plano superior, em seguida o corte simultâneo dos planos frontal e posterior, estes cortes dão a forma geral da pá, sendo necessária a conformação da superfície, realizada com ferramentas específicas e que são constantemente aferidas com o uso dos gabaritos, sendo estes associados aos conceitos do plano seriado e finalmente é realizado o acabamento superficial.

Após estas etapas a pá já está com sua forma final, mas para o acoplamento ao eixo é necessário o recorte para o cubo e a furação para seu devido encaixe.

Por último aplica-se o revestimento, que tem o objetivo de lacrar a superfície da pá, para que esta seja completamente impermeabilizada, impedindo a infiltração da água para a “alma” em madeira.

Praticamente todo o processo é contínuo, com exceção da conformação da superfície que depende de aferição constante, até que a forma do perfil esteja de acordo com os contornos impressos nos gabaritos.

O tempo total de execução de uma pá que tenha seu raio de 1000 milímetros (1,00 metro) foi confeccionada em 42 horas, sem contar com as pausas para descanso nas tarefas que exigem grande esforço físico. Para produção de pás menores, o tempo é drasticamente reduzido em função da simplificação das tarefas e procedimentos sobre a menor dimensão do objeto, havendo menor consumo de material, mão de obra e desgaste de ferramentas.

5.1.3 Segunda técnica

Descrevendo o processo de fabricação das pás para turbina hidrocinética pela segunda técnica, temos a seguinte sequência de produção, onde é mostrado a tarefa e o tempo de execução, ilustrado na Figura 72.

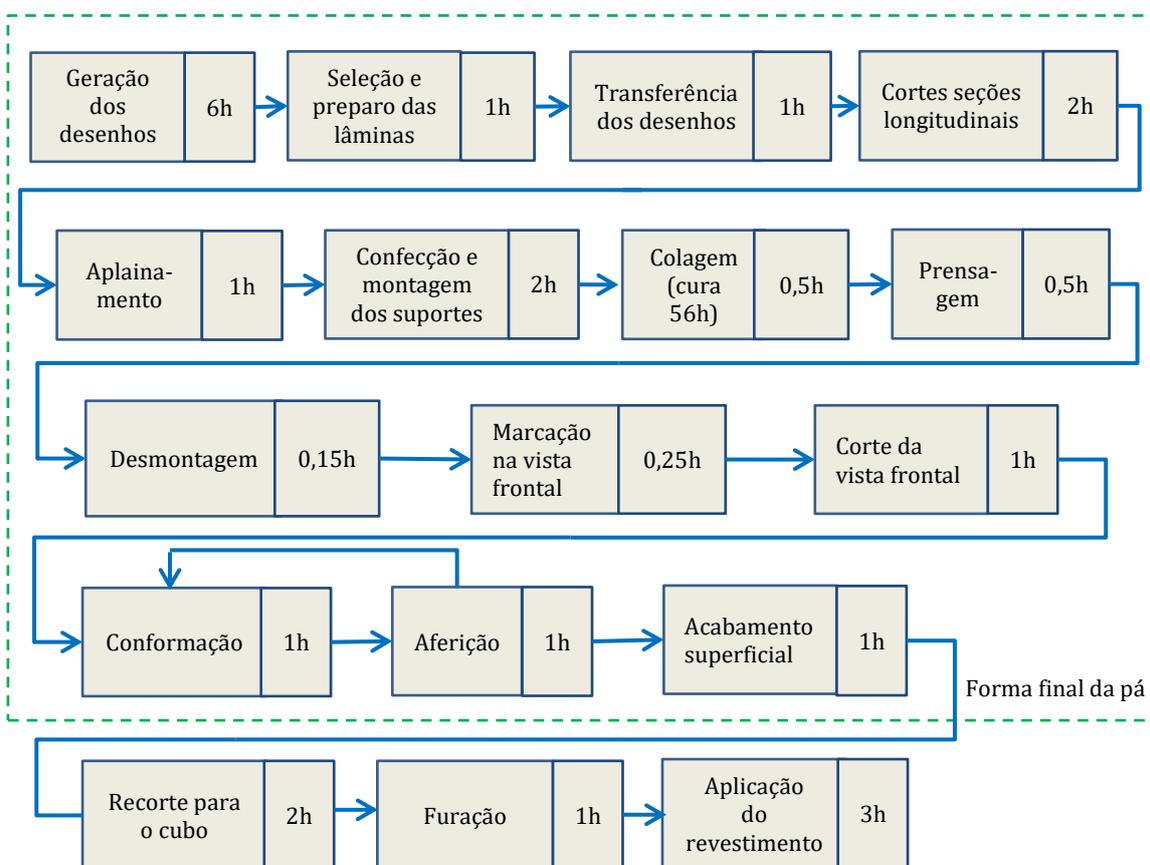


Figura 72. Sequência do processo de produção da pá. Através da segunda técnica
Fonte: O autor (2022).

A geração dos desenhos técnicos é elaborada através da extração dos perfis longitudinais em função da espessura da madeira que será utilizada, determinando o número de camadas. Os gabaritos são os mesmos da primeira técnica.

No preparo da madeira, inclui sua verificação geral, evitando peças com defeitos, e é realizada a retirada de pregos e a seleção das melhores peças para aproveitamento na execução do trabalho. Em seguida os desenhos são transferidos para as lâminas e cortados na longitudinal, conforme os

contornos marcados. Na próxima etapa a superfície é aplainada, com plaina manual, utilizada no trabalho uma plaina de 245mm de comprimento, 60mm de largura e faca de 50mm. Então, são feitos grampos de madeira e barra roscada de Ø5mm com porcas e arruelas, sendo realizada uma montagem prévia, e em seguida é passado cola PVC entre as lâminas, sendo estas coladas e prensadas, respeitando o tempo de cura para fixação entre as peças.

Após o tempo de cura, é realizada a desmontagem, em seguida a marcação na vista frontal. A partir desta etapa, o processo é similar à primeira técnica, sendo cortado, conformado, aferido até se chegar ao formato equivalente ao formato dos gabaritos. Realiza-se o acabamento superficial com lixas, até se chegar à forma final da pá para a turbina hidrocínética.

Também similar à primeira técnica, são realizados os recortes para o cubo, e respectivos furos antes de aplicar o revestimento, este último só deve ser feito após todas as outras etapas estiverem concluídas, para evitar infiltração de umidade na madeira, ou seja, deve haver uma contenção hermética através do revestimento.

5.2 ANÁLISE DO CUSTO DA PRODUÇÃO DA PÁ

Esta análise tem como objetivo nortear os valores monetários necessários para a produção da pá, principalmente em localidades remotas, servindo também para o planejamento dos materiais e ferramentas que devam ser adquiridos para confecção das pás da turbina hidrocínética.

5.2.1 Análise da primeira técnica

Na Tabela 2, estão demonstrados os valores dos insumos necessários para a produção individual de cada pá, no qual totaliza o valor em real de R\$177,00 e em dólar \$36.34, cotado ao valor de R\$ 4,87 no dia 7 do junho de 2022. Uma observação importante é que o bloco de madeira foi adquirido em empresa que vende materiais para reciclagem, no entanto, outros custos poderão estar envolvidos com a utilização da madeira de árvores caídas, dentre estes, temos o combustível para extração, o transporte, o desdobro e a secagem que além do financeiro, envolve a questão do tempo para utilização do material, que pode levar meses. Estes custos devem ser lavados em consideração para composição do valor deste material como insumo.

Tabela 2. Lista de insumos para confecção da pá com primeira técnica.

Insumos	Unidade	Valor	Valor (USD)
			7/6/2022 R\$ 4,87
Bloco de madeira (reuso/unidade)	95x55x1140mm	R\$ 25,00	\$ 5,13
Compensado 4mm (reuso/unidade)	300x100x4mm	R\$ 10,00	\$ 2,05
Lixas números 100 e 200	4 unidades	R\$ 8,00	\$ 1,64
Transporte	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 4,10
Flanela, pincel e etc.	1 unidade	R\$ 40,00	\$ 8,21
Lã de vidro	1 m	R\$ 26,00	\$ 5,34
Resina de Poliestireno	1Kg	\$ 17,00	\$ 3,49
Catalizador	200g	R\$ 7,00	\$ 1,44
Thinner	1 litro	R\$ 12,00	\$ 2,46
Trincha 1.1/4"	1 unidade	R\$ 4,00	\$ 0,82
Luvras de borracha	Par	R\$ 8,00	\$ 1,64
TOTAL		R\$ 177,00	\$ 36.34

Fonte: O autor (2022).

As ferramentas são facilmente encontradas no comércio local, com exceção do *corteché* e grampos, podendo ser adquiridas em lojas mais especializadas. Na Tabela 3, estão listadas as principais ferramentas utilizadas para a produção da pá com a primeira técnica.

Tabela 3. Lista de ferramentas utilizadas na confecção da pá.

Ferramentas	Unidade	Valor	Valor (USD)
			7/6/2022 R\$ 4,87
Serra horizontal	1 unidade	R\$ 40,00	\$ 8,21
Serra tico tico manual	1 unidade	R\$ 60,00	\$ 12,32
Arco de serra	1 unidade	R\$ 40,00	\$ 8,21
Mesa	1 unidade	R\$ 100,00	\$ 20,53
<i>Corteché ou Spock chave</i>	1 unidade	R\$ 35,00	\$ 7,19
Grosa meia cana 8"	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 5,13

Grosa meia cana 6"	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 5,13
Grampo de 6"	2 unidades	R\$ 72,00	\$ 14,78
Pedra de amolar	1 unidade	R\$ 15,00	\$ 3,08
Lima triangular	1 unidade	R\$ 15,00	\$ 3,08
Esquadro	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 5,13
Estilete	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 4,11
Escala	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 5,13
Alfinetes, pincel, cola, linha e outros	1 unidade	R\$ 30,00	\$ 6,16
TOTAL		R\$ 527,00	\$ 108.21

Fonte: O autor (2022).

O custo das ferramentas totalizou o valor em real de R\$ 527,00 e em dólar \$ 108.21, este valor será diluído em função do número de pás que forem produzidas, tendo em vista que estes ao serem adquiridos possuem grande durabilidade e podem ser utilizados para produzir inúmeras pás.

5.2.2 Análise da segunda técnica

Na Tabela 4, estão demonstrados os valores dos insumos necessários para a produção individual de cada pá, no qual totaliza o valor em real de R\$237,00 e em dólar \$43.44, cotado ao valor de R\$ 5,38 no dia 26 de setembro de 2022. As peças de madeira também foram adquiridas em uma empresa que vende materiais para reciclagem, para utilização de madeira advinda de árvores caídas ou de reaproveitamento, também deverão ser considerados os custos para sua utilização como insumo, já citados anteriormente na primeira técnica.

Tabela 4. Lista de insumos na confecção da pá com a segunda técnica

Insumos	Unidade	Valor	Valor (USD)
			26/9/2022 R\$ 5,38
Tábuas de madeira (reuso/dúzia)	100x18x1200mm	R\$ 25,00	\$ 4,65
Compensado 4mm (reuso/unidade)	300x100x4mm	R\$ 10,00	\$ 1,86
Lixas números 100 e 200	4 unidades	R\$ 8,00	\$ 1,49
Transporte	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 3,72
Cola PVC	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 3,72

Barra roscada Ø5mm	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 3,72
20 Porcas e 20 arruelas	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 3,72
Flanela, pincel e etc..	1 unidade	R\$ 40,00	\$ 7,43
Lã de vidro	1 m	R\$ 26,00	\$ 4,83
Resina de Poliestireno	1 kg	\$ 17,00	\$ 3,16
Catalizador	200g	R\$ 7,00	\$ 1,30
Thinner	1 litro	R\$ 12,00	\$ 2,23
Trincha 1.1/4"	1 unidade	R\$ 4,00	\$ 0,74
Luvras de borracha	Par	R\$ 8,00	\$ 1,49
TOTAL		R\$ 237,00	\$ 43.44

Fonte: O autor (2022).

As ferramentas são as mesmas da primeira técnica, adicionando-se uma plaina manual para melhor regularização das superfícies das lâminas longitudinais. Na Tabela 5, estão listadas as principais ferramentas utilizadas para a produção da pá com a segunda técnica.

Tabela 5. Lista de ferramentas na confecção da pá com a segunda técnica.

Ferramentas	Unidade	Valor	Valor (USD) 26/9/2022 R\$ 5,38
Serra horizontal	1 unidade	R\$ 40,00	\$ 7,43
Serra tico tico manual	1 unidade	R\$ 60,00	\$ 11,15
Arco de serra	1 unidade	R\$ 40,00	\$ 7,43
Mesa	1 unidade	R\$ 100,00	\$ 18,59
Corteché ou Spock chave	1 unidade	R\$ 35,00	\$ 6,51
Grosa meia cana 8"	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 4,65
Plaina de ferro manual 245x60mm	1 unidade	R\$ 100,00	\$ 18,60
Grosa meia cana 6"	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 4,65
Grampo de 6"	2 unidades	R\$ 72,00	\$ 13,38
Pedra de amolar	1 unidade	R\$ 15,00	\$ 2,79

Lima triangular	1 unidade	R\$ 15,00	\$ 2,79
Esquadro	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 4,65
Estilete	1 unidade	R\$ 20,00	\$ 3,72
Escala	1 unidade	R\$ 25,00	\$ 4,65
Estilete, pincel, cola, linha e outros	1 unidade	R\$ 30,00	\$ 5,58
TOTAL		R\$ 627,00	\$ 116.54

Fonte: O autor (2022).

O custo das ferramentas para segunda técnica também são quase os mesmos, adicionou-se a plaina manual necessário à realização do trabalho, o que totalizou em real o valor de R\$ 627,00 e \$ 116.54 em dólar, que também será diluído pelo número de pás produzidas.

5.3 AVALIAÇÃO ENTRE A PRIMEIRA E A SEGUNDA TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO DAS PÁS

Será realizada uma avaliação da primeira e segunda técnica de construção das pás para a turbina hidrocínética, levando em consideração as dificuldades e facilidades de cada uma, para determinação de qual técnica será estabelecida para o andamento do presente trabalho, para isto foram determinados valores qualitativos, como: execução dos desenhos técnicos e aquisição de insumos. Para os valores quantitativos, temos: etapas do processo de fabricação, tempo de execução, custo/ferramentas e custo/insumos. Valores mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Avaliação entre primeira e segunda técnica.

	Primeira Técnica	Segunda Técnica
Execução dos Desenhos Técnicos	Simple	Complexo
Etapas do Processo de fabricação	10 Etapas	17 Etapas
Tempo de Execução	42 horas	80,4h
Aquisição de insumos	Fácil	Difícil
Custos/Ferramentas	\$36,34	\$108,21
Custo/Insumos	\$43,44	\$116,54

Fonte: O autor (2022).

Observa-se que a primeira técnica apresenta a execução mais simplificada dos desenhos técnicos, menos etapas no processo de fabricação, sendo sete a menos que a segunda técnica, o tempo de execução é quase a metade, a aquisição de insumos é mais fácil, pois com apenas um bloco de madeira faz-se a pá, enquanto para a segunda técnica é necessário a escolha entre várias tábuas, optando-se pelas melhores, além de se limitar à espessura das tábuas ofertada no mercado, evitando-se cortes em equipamentos nem sempre disponíveis (máquina de desengrosso ou plainadeira). O custo das ferramentas é quase o mesmo, acrescentou-se a plaina para facilitar a regularidade das superfícies das lâminas na segunda técnica. Houve também a adição nos insumos com cola pvc e material para fazer os grampos com madeira.

A primeira técnica utiliza madeira maciça na produção das pás para turbina hidrocínética e, dependendo das propriedades físicas da madeira, mesmo que haja alguma infiltração é possível ainda certa durabilidade do material. Na segunda técnica, como as placas foram coladas com cola pvc, se houver alguma infiltração de água, esta poderia ser catastrófica, causando o descolamento das lâminas e por consequência a degradação da forma da pá, no entanto, este processo é muito utilizado na fabricação de hélices aeronáuticas por apresentar ótimo desempenho em relação a madeira maciça, resistindo melhor à empenamentos futuros o que também prejudicial ao trabalho.

Para o presente trabalho ressalta-se que será escolhida a primeira técnica por apresentar maior simplicidade e facilidade de execução em relação à segunda técnica, tendo em vista que os procedimentos deverão ser replicados por usuários que não necessitam possuir formação técnica na área, além do baixo custo e facilidade de aquisição ou disposição de insumos para a produção das pás para a turbina hidrocínética.

CAPÍTULO 6

Conclusão e Considerações

Neste capítulo são descritos os resultados parciais da execução das técnicas de construção, a viabilidade de produção e exequibilidade utilizando madeira de reuso, organizado em:

Na seção 6.1 são relatadas as conclusões com relação ao objetivo geral e objetivos específicos, sendo estes os pretendidos e alcançados para realização da pesquisa;

Na seção 6.2 as considerações finais.

6.1 CONCLUSÃO

Para definição de uma técnica de confecção para as pás da turbina hidrocínética proposta no presente trabalho, foram estabelecidos objetivos que conduziram aos seguintes resultados descritos abaixo:

Objetivo Geral pretendido - Adaptar técnica de construção de hélices aeronáuticas para as pás de turbina hidrocínética axial, confeccionadas em madeira com ferramentas convencionais, sem o uso de eletricidade para produção em pequenas oficinas;

Objetivo Geral alcançado - Como resultado, conseguiu-se produzir as pás através de duas técnicas que se mostraram viáveis, no entanto, a técnica por entalhe direto na madeira ou designada como primeira técnica se mostrou mais apropriada para o público alvo ao qual se destina a pesquisa.

Resultados para os objetivos específicos pesquisados:

Objetivo específico pretendido 1 - Identificar técnicas de construção das pás em madeira;

Objetivo específico alcançado 1 - Após pesquisa, foram classificadas cinco técnicas, dos quais, três são manuais e duas são mecanizadas, e ou, automatizadas. Entre as três manuais, uma das técnicas é utilizada para criação de modelos para posterior cópia por outros processos mecanizados, portanto, duas das técnicas foram definidas como objeto de pesquisa para o presente trabalho;

Objetivo específico pretendido 2 - Designar técnica de construção de pás com madeira de reuso ou madeira de árvores caídas da Amazônia;

Objetivo específico alcançado 2 - Após execução de duas técnicas utilizando madeira de reuso adquirida no comércio local, e a avaliação das mesmas, determinou-se que a primeira técnica, possui melhor relação custo-benefício em número de etapas, tempo de realização, ferramentas e simplicidade em relação a segunda técnica;

Objetivo específico pretendido 3 - Contribuir estrategicamente para o aproveitamento de insumos naturais de forma ecoeficiente;

Objetivo específico alcançado 3 - Com a viabilidade da execução da técnica, haverá colaboração em relação ao ecodesign, ou seja, indo além dos benefícios diretos trazidos pela reutilização da madeira como matéria prima, com benesses indiretas que impactarão a vida dos usuários pelo uso da turbina hidrocínética;

Objetivo específico pretendido 4 - Propor ferramental necessário a sua confecção, utilizando materiais de fácil aquisição nas comunidades e no mercado;

Objetivo específico alcançado 4 – Durante a realização do trabalho foram encontradas algumas dificuldades em se encontrar determinadas ferramentas, e também em relação ao uso, portanto, foi necessário a construção de duas ferramentas: um arco de serra manual e uma serra tico tico manual, ambas feitas de materiais reutilizado, com exceção das lâminas que podem ser facilmente encontradas no comércio local;

Objetivo específico pretendido 5 - Disponibilizar conteúdo para confecção de um manual, bem como gabaritos e desenhos técnicos para replicação da técnica de construção das pás;

Objetivo específico alcançado 4 – O registro da documentação da primeira técnica de construção da pá possibilita o desenvolvimento de um manual descritivo de instruções, determinando o sequenciamento das tarefas e os procedimentos, mas é necessário complementar o trabalho com oficinas aplicadas a pessoas de outras áreas, de preferência os usuários ao qual se destina o projeto, observando e analisando procedimentos que corroborem para o conteúdo da pesquisa.

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para produção das pás para a turbina hidrocínética adaptaram-se técnicas de fabricação de hélices aeronáuticas em madeira, ainda hoje utilizada no atendimento de pequenas aeronaves, sendo esta produzida com a utilização de equipamentos elétricos, principalmente o corte, sendo a forma realizada por máquinas automatizadas, as ferramentas manuais são usadas somente para aferição ou acabamento.

No presente trabalho utilizaram-se duas técnicas que se mostraram viáveis, a primeira por entalhe direto na madeira a segunda por seções longitudinais, no entanto a segunda técnica após análise, concluiu-se que a mesma é mais complexa na obtenção dos desenhos técnicos, sua execução é mais demorada, envolvendo mais etapas de produção. O projeto parte da disponibilidade da espessura das tábuas encontradas no mercado local, outro elemento desfavorável é a necessidade do corte preciso e regularização das superfícies para que sejam bem coladas, o que também onera o processo. Portanto, a primeira técnica se mostrou mais promissora e viável, utilizando apenas ferramentas convencionais sem o uso de energia elétrica, resultando em uma peça com boa precisão dimensional, acabamento e resistência mecânica, sendo feita a partir do desenho técnico gerado pelo algoritmo executado no MatLAB, com a aplicação dos conceitos de plano seriado para guiar sua execução, atendendo aos objetivos propostos.

Os perfis aerodinâmicos são a forma que se repetem sofrendo gradação (variação) de tamanho, sendo mais espessa próxima a raiz e mais fino na ponta, ocorre também distorção volumétrica por girar sobre um eixo, caracterizando uma forma espiralada, proporcionando o volume típico em hélices e turbinas. Esta associação facilitou a conferência das posições com a constante aferição, fazendo uso dos gabaritos e dos conceitos propostos. Outra questão importante é que, mesmo havendo mudança no padrão do perfil aerodinâmico (a forma) ou outros parâmetros (ângulos, distâncias), por consequência ocorrerá a alteração completa do formato volumétrico da pá para a turbina hidrocínética, mas os procedimentos serão resguardados, ou seja, poderá ser realizado, alcançando os mesmos resultados, isto implica em relativa facilidade de mudança na execução em função de melhorias ou adaptação do projeto.

Foi confeccionada para testes uma pá com o raio de 0,5 metros e levou aproximadamente 12 horas para ser realizada. A pá para a dissertação possui um raio de 1 metro e levou 42 horas para sua conclusão. Notou-se claramente que quanto maior for o tamanho da pá, mais horas de trabalho são necessárias para sua execução, havendo diversos fatores que aumentam o grau de dificuldade como: desgaste de ferramentas, prender adequadamente a peça, cuidado para manter a precisão da forma, mudança de posição para realização das tarefas, dentre outras dificuldades.

Houve cuidado no planejamento e execução das tarefas em relação à utilização de equipamentos de proteção, atenção e segurança no manuseio e manutenção das ferramentas, bem como obediência a intervalos de descanso após trabalhos mais exaustivos, posturas e correta utilização de ferramentas durante o trabalho, para evitar acidentes e lesões ao longo da realização das tarefas, com tentativa de se enquadrar nas recomendações ergonômicas. Muitas vezes por excesso de confiança ou desrespeito por se utilizar ferramentas manuais, acabam ocorrendo acidentes.

Para ambas as técnicas, a matéria prima utilizada foi madeira adquirida em estabelecimento de venda de materiais para reuso, apresentando boa trababilidade, estabilidade dimensional, leveza, resistência à flexão e seca, características importantes estabelecidas como critérios para utilização deste material. Durante o trabalho foram seguidas as recomendações no levantamento de dados em relação ao seguimento da direção da grã da madeira para que esta apresentasse melhor resistência mecânica, além da constatação da anisotropia que é notória, mas não interfere significativamente no resultado final.

Há a necessidade de testes laboratoriais para determinação de dados referentes à resistência mecânica para que sirvam de parâmetros comparativos na utilização de madeiras regionais com características similares, podendo ser utilizadas na confecção das pás pela oferta local ou disponibilidade aos usuários.

Foram propostas ferramentas tais como: um arco de serra específico, arco de serra tico tico manual para cortes dos perfis, bancada e recomendações ergonômicas, visando a melhoria na execução das tarefas, no que se refere a conforto e redução de riscos de acidentes, proporcionando mais eficiência e melhor precisão do trabalho. Algumas das ferramentas podem apresentar certa dificuldade de aquisição, portanto, uma alternativa seria a confecção própria de preferência utilizando insumos reaproveitados.

Foi realizada uma pesquisa prévia em busca de propriedade intelectual, que pudesse impedir o desenvolvimento do trabalho, encontrando somente mecanismos, estruturas e sistemas para melhoria do desempenho de turbinas hidrocinéticas, com isso, pôde prosseguir com o desenvolvimento do presente trabalho.

Deverão ser realizados testes para o revestimento com resina poliéster e fibra de vidro sobre a madeira para avaliação dos resultados, levando em consideração a impermeabilização, a resistência, o custo da resina, facilidade de aquisição e flexibilidade na mistura para aplicação, recaído no escopo do trabalho em relação a utilização de materiais de baixo custo e disponibilidade no mercado local. Outro fator importante é o ambiente de preparo e aplicação, no caso de comunidades remotas da Amazônia ou locais similares, estas regiões costumam ter um alto índice de umidade relativa do ar e temperatura, devendo ser observado o tipo de resina apropriada, para que não hajam deficiências pós-aplicação, o que poderia acarretar em infiltrações na pá de madeira causando sua deterioração.

O resultado obtido foi realizado simulando sua execução em uma comunidade isolada, não utilizando nenhum equipamento ou ferramenta que use energia elétrica para seu funcionamento, comprova até o momento que mesmo, na contramão do termo “alta tecnologia”, pode-se suprir a necessidade de determinado público, estabelecendo uma “inovação disruptiva”, cabendo futuramente sua comprovação definitiva com a produção das pás em uma comunidade isolada da Amazônia, na tentativa de compreender as dificuldades e aceitação pelos usuários com a aplicação da técnica.

Indiretamente o trabalho realizado trará diversos benefícios não limitados somente à confecção da pá, mas serão implícitos através da contribuição trazida pelo uso da energia elétrica gerada ao usuário, englobando uma conexão ecossistêmica do trabalho, como exemplo: o armazenamento de alimentos produzidos, sendo conservado por mais tempo, seja para uso próprio ou para venda, proporcionando renda adicional; interatividade seja educacional ou comercial; produção mais rápida das pás com o uso de ferramentas elétricas; novos nichos de negócios através do escoamento produtivo proporcionado pelo acesso à redes sociais; produção de produtos locais; divulgação cultural de determinados grupos sociais, dentre outros. Por consequência, haverá desenvolvimentos de ordem técnica, social, econômica, produtiva e cultural. Ou seja, haverá uma

cadeira de contribuições agregadas a realização confecção da pá para turbina hidrocínética. Desta forma, fica claro a atribuição de Design, conseguindo se estruturar muito bem, sobretudo utilizando conceitos do Design sistêmico e Ecodesign.

REFERÊNCIAS

- ADNAN, M. et al. Design, Analysis, and Fabrication of Water Turbine for Slow-moving Water. **Journal of Energy Resources Technology**, v. 144, 2021.
- ANDERSON JR., J. D. **Fundamentos de Engenharia Aeronáutica: introdução ao vôo**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.
- ANYI, M.; KIRKE, B. Hydrokinetic turbine blades. **Design and local construction techniques for remote communities**, Elsevier, Energy for Sustainable Development, 2011.
- ANYI, M.; KIRKE, B. Hydrokinetic turbine blades: design and local construction techniques for remote communities. **Elsevier, Energy for Sustainable Development**, Elsevier, Energy for Sustainable Development, 2011.
- ARAÚJO, R. D. D. **Avaliação do potencial de espécies manejadas na Amazônia para produção de painéis "EGP" não estrutural**. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA. Manaus. 2019.
- ARRUDA, A. G.; NETO, J. C. D. L.; MEDEIROS, A. S. D. Parametrização de rotores axiais de turbinas hidrocínéticas através de simulações Fluidodinâmica Computacional em projetos de geração de energia elétrica para comunidades isoladas na região Amazônica, 2018.
- ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design: Arte e Ciência da Seleção de Materiais no Design de Produto**. Tradução de Arlete Simile Marques. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2000.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BOMFIM, G. A. **Metodologia para Desenvolvimento de Projetos**. João Pessoa: UFPB, 1995.
- BORGES, G. C. D. M.; BARRETO, D. G. O.; MARTINS, E. Z. **Noções de GEOMETRIA DESCRITIVA teoria e exercícios**. 7. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1998.
- BURTON, T. et al. **Wind Energy**. [S.l.]: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2001.
- CALLISTER, J. W. D.; G. RETHWISCH, D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- CHAWLA, K. K. **Composite Materials**. 3. ed. New York: Springer, 2012.
- CUPANI, A. Modalidades da Tecnologia e suas consequências culturais. **Dialectus**, p. 82-95, 2020.
- DAVILA-VILCHIS, J. M.; MISHRA, R. S. Performance of a hydrokinetic energy system using an axial-flux permanent magnet generator. **Energy**, Denton, USA, v. 65, p. 631-638, February 2014.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática**. Tradução de Itiro Iida. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.
- FARIA, A. R. D. O. **Projeto de uma turbina hidrocínética de fluxo axial e eixo horizontal para geração de baixa potências**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 64. 2017.

- FRAENKEL, P. L. Marine current turbines: pioneering the development of kinetic energy converters, 17 November 2006. 159.
- FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour, N.Y., p. 38-66, 1988.
- FREITAS, R. F. D.; COUTINHO, S. G.; WAECHTER, H. D. N. Análise de Metodologia em Design: a informação tratada por diferentes olhares. **Estudos em Design**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 1-15, 2013.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOBBLE, M. M. Defining Disruptive Innovation. **Resources**, p. 66-68, July-August 2016.
- GOMES, A. P. **Desenho Técnico**. Ouro Preto: Rede Etec Brasil, 2012.
- GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação**. 6. ed. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006.
- HARDWOOD, J. O Cata-Água. **Energia para comunidades pequenas**, 1985. Ciência Hoje.
- HERBIG, P. A.; KRAMER, H. Low Tech Innovation. **Management Decision: Resurveying the Basic Meaning of Innovation**, v. 31, n. 3, p. 4-7, 1993.
- HUST, D. **Aircraft Structural Technician**. [S.l.]: [s.n.], 2001.
- HUST, D. **Aircraft Structural Technician**. [S.l.]: [s.n.].
- IIDA, I. **Ergonomia projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- IMPORTAR coordenadas do Excel para Autodesk Autocad - Forma rápida e prática, [S. l.: s. n.], 2020. 1 vídeo (7 min). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cmZdcBv2AyM>>. Acesso em: out 2021.
- JAVASHERCHI, T.; STELZENMULLER, N.; ALISEDA, A. Experimental and Numerical Analysis of the DOE Reference Model 1 Horizontal Axis Hydrokinetic turbine. **Proceedings of the 1st Marine Energy Technology Symposium METS2013**, Washington, DC., April 2013.
- JOHN D. ANDERSON, J. **Fundamentals of Aerodynamics**. 15. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2007.
- K. CHANDRASHEKHARA, X. D.; MISHRA, R. Reliability-based fatigue life investigation for a medium-scale composite hydrokinetic turbine blade. **Ocean Engineering** **89**, p. 230-242, 2014.
- LEE, K.-M.; PARK, P.-J. **Ecodesign: Best Practice of ISO/TR 14062**. [S.l.]: Ministry of Commerce, Industry and Energy Republic of Korea, 2005.
- LÖBACH, B. **Design Industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blucher Ltda, 2000.
- MACINTRE, J. **Máquinas Motrizes Hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois Irmãos, 1983.
- MANCILLA, C. C. et al. Horizontal axis hydrokinetic turbines: A literature review, Medellín Colombia, v. 9, p. 72-82, 08 novembro 2018. ISSN 2007-2422.
- MANUAL DE OSLO. **Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica**. [S.l.]: OECD, FINEP, 2017.
- MARCELLINE, D. **Manual Prático de Marcenaria**. São Paulo: Ediouro, 1960.

- MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2003.
- MORESCLU, P. D. J. C. **Propriedades da madeira**. UFPR. [S.l.]. 2012.
- MUÑOZ, A. H.; E.CHIANG, L.; JARA, E. A. D. L. A design tool and fabrication guidelines for small low cost horizontal axis hydrokinetic turbine. **Energy Sustainable Development**, n. 22(1), 21-33, 2014.
- MUNSON, B.; YOUNG, D.; OKUIISHI, T. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2004.
- NIEBUHR, C. M. et al. A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential. **Sandia National Laboratories**, Pretoria 0001, South Africa, 2021. ISSN 9507.
- PAULA, F. B. R. D. et al. Do plano ao volume: a gramática dos planos em série com partido para a fabricação digital por meio de cortadores. **Blucher Design Proceedings**, v. 1, p. 4, Dezembro 2014.
- PAZMINO, A. V. **Como se Cria: 40 métodos para design de produtos**. [S.l.]: Blucher, 2013.
- PAZMINO, A. V. **Como se Cria**. 1. ed. Rio de Janeiro: Blucher, 2015.
- PINHEIRO, M. J. D. A. **Arco Ocupacional: Madeiras e Móveis**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2006.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul: Freevale, 2013.
- REMER, D. D. **Aircraft Systems for Pilots**. 4. ed. Newcastle, Washington: Aviation Supplies & Academics, INC, 2017.
- RUTKAY, B. D. **A Process for the Design and Manufacture of Propellers for Small Unmanned Aerial Vehicles**. Carleton University Ottawa. Ontario, p. 274. 2014.
- SANTOS, L. M. A. Madeiras. **Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**, Brasília, 2018.
- SHANG, T.; MIAO, X.; ABDUL, L. W. A historical review and bibliometric analysis of disruptive innovation. **Esmeraldinsight**, Xi'an, China, v. 11, n. 2, p. 208-226, 4 February 2019. ISSN 1757-2223.
- SHUBERT, E. A. **How I Make Wood Propellers**. [S.l.]: [s.n.], 1984.
- SILVA, M. S. E. **ESTUDO DA QUALIDADE DE MADEIRAS DE ÁRVORES CAÍDAS EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, p. 100. 2013.
- WEICK, F. A. Design and Built Your Own Propeller, Florida USA, 7 July 1960.
- WONG, W. **Princípios de Forma e Desenho**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- ZENID, G. J. Espécies nativas com potencial madeireiro e moveleiro. **IPT**, São Paulo, 2006.
- ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. **Identificação Macroscópica de Madeiras**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2012.

APÊNDICE

GUIA DE EXECUÇÃO DA TÉCNICA POR ENTALHE DIRETO PARA CONFECÇÃO DA PÁ PARA TURBINA HIDROCINÉTICA AXIAL

1. Os desenhos dos gabaritos das seções transversais devem ser impressos em papel formato A4, então são recortados e colados sobre uma folha de compensado de 5mm de espessura, posteriormente são recortados com a serra tico tico manual e lixados;
2. Sobre um bloco de madeira com medidas um pouco maior que as dimensões da pá, transferem-se os desenhos dos contornos sobre as faces ortogonais: plano superior, plano frontal e plano posterior. Nestes planos deve-se marcar o bordo de ataque (plano frontal) e bordo de fuga (plano posterior), para evitar erros durante o corte. A transferência do desenho pode ser obtida por alfinetes espetados sobre as principais linhas e eixos marcados no desenho. Os pontos espetados no bloco de madeira são marcados por um pincel de ponta fina, o qual é interligado com o uso de régua, quando necessário, copiando assim, os elementos do desenho técnico para a superfície do bloco de madeira, nas respectivas faces. Para linhas sinuosas, utilizam-se mais alfinetes, melhorando a precisão do traçado;
3. O corte é um procedimento que para esta técnica que requer muito esforço, portanto, prende-se o bloco de madeira firmemente em suas extremidades na horizontal, deixando um dos contornos livre para passagem da lâmina da serra perpendicular. E para que seja realizado o corte do plano superior, a lâmina deve ficar o mais vertical possível, mantendo sempre uma margem de segurança de pelo menos 1mm em relação ao contorno marcado na superfície da madeira. Deve-se ter cuidado com as angulações do desenho, para ângulos mais acentuados, deve-se reduzir regulagem da tensão da lâmina, facilitando o corte em curva. Para o procedimento de corte deve-se colocar uma cunha para facilitar a entrada da lâmina durante a realização da tarefa, evitando seu travamento, mas cuidado, para não abrir demais e rachar a peça. Retirar a maior quantidade possível de material, minimizando o trabalho com outras ferramentas. Outro cuidado é em relação à mesa, que deve ficar bem firme para que não haja oscilação durante o corte da peça, o que prejudica a tarefa;
4. Para o corte do plano frontal e plano posterior, o bloco de madeira deve também, ser fixado firmemente à bancada na posição vertical, obedecendo aos mesmos critérios supracitados, no entanto, um cuidado adicional deve ser tomado, pois as duas faces são cortadas simultaneamente, devendo ser redobrada a atenção durante o avanço da lâmina de serra, observando a marcação do bordo de fuga e bordo de ataque, em relação ao que está marcado sobre a peça, possibilitando correções momentâneas e evitando erros durante a atividade, principalmente os contornos próximos à raiz da pá

que possuem ângulos mais acentuados. O corte deve formar um retângulo em torno do perfil aerodinâmico, para cada seção transversal, servindo de referência sobre a dimensão do que deve ser cortado;

5. Após o corte, utilizar a sobra de material do bloco de madeira para servir de suporte, mantendo a base da peça sempre bem apoiada, em função da pressão exercida pela ferramenta *corteché* ou a grossa, que servirão para retirar o material da face superior (extradorso), conformando até que fique próxima a forma desejada. Adjacente à ponta da pá, local menos espesso, se for muito flexionado pode vir a quebrar, para isto, deve-se redobrar a atenção na questão do apoio durante o trabalho;
6. Marcar com pincel uma linha na horizontal e vertical de acordo com o desenho, estes representam os respectivos eixos, ao qual deverão ser casados com os que estão marcados nos gabaritos. Para execução destes eixos, pode-se usar uma linha de pesca ou barbante esticado em alfinetes nas duas extremidades da pá (raiz e ponta). Além das linhas de eixo, devem-se remarcar as linhas que representam as seções, com isto, mantêm-se referências que ajudam a obter precisão dos parâmetros que se pretende alcançar na pá para turbina hidrocínética;
7. Com a grossa, completa-se a conformação da superfície, sempre conferindo com o gabarito para que as formas se igualem, ou seja, a superfície da madeira deve ficar idêntica à forma do gabarito;
8. O mesmo procedimento deve ser realizado na face inferior da madeira (intradorso);
9. Após a conformação da superfície superior e inferior da pá, utiliza-se uma lixa número 100, para retirada das ranhuras deixada pela grossa, e em seguida uma lixa número 220 para a suavização do trabalho;
10. De acordo com o processo de fixação ao cubo, realizam-se os furos e cortes necessários, somente após completar todos os procedimentos na pá, deve-se realizar o revestimento para sua impermeabilização.