

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO PEDRO FERREIRA

**ESTUDO E CONCEITO DE UM SISTEMA DE COLHEITA DE FRUTOS DE ÁRVORES DA FAMÍLIA
*ARECACEAE***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

RICARDO PEDRO FERRREIRA

**ESTUDO E CONCEITO DE UM SISTEMA DE COLHEITA DE FRUTOS DE
ÁRVORES DA FAMÍLIA ARECACEAE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin

PATO BRANCO

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

Estudo e Conceito De Um Sistema De Colheita De Frutos De Árvores Da Família *Arecaceae*

RICARDO PEDRO FERREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 13/05/2021 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Giovanni Bratti
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a mulher que esteve mais presente em minha vida, minha progenitora, minha mãe querida, Maria Nazaré da Conceição

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a minha família, em especial a minha mãe (Nazaré) a quem dedico este trabalho, a minha noiva (Camila) e ao meu tio (Francisco), por me acolherem e cuidarem de mim nos bons e maus momentos. Também agradeço aos meus companheiros caninos, Cindy por cuidar da minha mãe nos momentos em que eu estava ausente e o Thor por me aliviar do estresse com suas brincadeiras.

Também agradeço aos meus amigos, em especial aos membros do grupo cococultores, (Advan, Davi, Gabriel, Ítalo, Jeová, Jhony, Lucas, Luiza, Publio e Yuri) cujo o nome foi atribuído devido ao tema deste trabalho, a aos que dividiram a moradia comigo (Douglas, Lucas e Mike), por me ajudarem com os estudos e me proporcionar inúmeros momentos de diversão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin por permitir que eu trabalhasse com um tema de minha escolha e por me orientar e auxiliar neste trabalho. Agradeço a empresa Real World Agronomy, aqui representada pelo meu colega Wilson Henrique Tatto, cujo qual foi o motivo da escolha do tema deste trabalho, além de agradecer ao proprietário do sitio do mel Ricardo e a Embrapa tabuleiro costeiro por possibilitar a visita técnica a uma propriedade de cultivo de cocos.

Por fim agradeço a universidade tecnológica federal do Paraná (UTFPR), por oferecer sua estrutura, e seu corpo docente por me propiciar o conhecimento necessária para o desenvolvimento deste trabalho, além do hotel tecnológico da UTFPR (PROEM) que forneceu os recursos financeiros para tal realização.

EPÍGRAFE

Human knowledge is a great construction, where each human life lived or to be lived contributes as a block of this construction. (Own authorship).

O conhecimento humano é uma grande construção, onde cada vida humana vivida ou a se viver contribuí como um bloco desta construção. (Autoria própria).

RESUMO

FERREIRA, Ricardo Pedro. Estudo e Conceito de um Sistema de Colheita de Frutos de Árvores da Família *Arecaceae*. 2021. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

Este trabalho apresenta inicialmente uma necessidade do mercado, especificamente a falta de mecanismos que facilitem a operação de colheita de frutos de árvores da família *Arecaceae*. Discute-se os motivos para se investir na mecanização desse processo através de dados mercadológicos destas culturas, além da análise das invenções já criadas para tal por meio da literatura existente e suas patentes disponíveis. Posteriormente apresenta-se conceitos aplicados no desenvolvimento de produtos, somado a dados técnico referente a dados mecânicos das madeiras de palmeiras, dados técnicos dos equipamentos já existentes e conceitos da mecânica estática e da física clássica. Traz como resultado a determinação do conceito de um equipamento para realizar a colheita de fruto de palmáceas além de definir alguns parâmetros limites do mecanismo empregado na coqueicultura e na cultura do açaí, como velocidade mínima, área de contato entre máquina e árvore, energia mínimas dissipada dos frutos e massa máxima do equipamento.

Palavras-chave: Coco. Açaí. Buriti. Carnaúba. Babaçu. Desenvolvimento de produto. Colheita. Colheitadeira. Família das palmeiras (*Arecaceae*). Máquina. Equipamento.

ABSTRACT

FERREIRA, Ricardo Pedro. Study and Concept of a Fruit Harvesting System From Trees of the *Arecaceae* Family. 2021. 87 f. Course Conclusion Work – Mechanical Engineering Course, Federal Technological University of Paraná. White Duck, 2021.

This work initially presents a need in the market, specifically the lack of mechanisms that facilitate the operation of harvesting fruit from trees of the *Arecaceae* family. It discusses the reasons for investing in the mechanization of this process through market data of these cultures, in addition to the analysis of the inventions already created for this by means of the existing literature and its available patents. Subsequently, concepts applied in product development are present, added to technical data referring to mechanical data of palm woods, technical data of existing equipment and concepts of static mechanics and classical physics. As a result, it determines the concept of an equipment for harvesting palm fruit, in addition to defining some limit parameters of the mechanism used in coconut and in açai cultures, such as minimum speed, contact area between machine and tree, minimum energy dissipated. fruit and maximum mass of the equipment.

Keywords: Coconut. Açai. Buriti. Carnauba. Babaçu. Product development. Harvest. Combine harvester Family of palm trees (*Arecaceae*). Machine. Equipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – As cinco árvores importantes economicamente de família das palmeiras (família <i>Arecaceae</i>)	19
Figura 2 – Árvore esquemática sintetizando as relações filogenéticas entre palmeiras	23
Figura 3 – Gráfico: Nomes aceitos de espécies por domínio fitogeográfico.....	24
Figura 4 – Açaí.....	25
Figura 5 – Produção brasileira de açaí.....	25
Figura 6 – Preço pago ao produtor de Açaí (R\$/kg).....	26
Figura 7 – Quantidade de açaí produzida por UF e no Brasil - 2015, 2016 e 2017...	27
Figura 8 – Análise swot de negócios relacionados a produção de açaí	28
Figura 9 – Coco	29
Figura 10 – Avanço do cultivo de coqueiros nos estados brasileiros em 1990 e 2014	33
Figura 11 – Babaçu (fruto).....	34
Figura 12 – Mapa do Brasil demarcando as regiões de ocorrência de babaçuais	34
Figura 13 – Carnaúba	35
Figura 14 – Buriti	35
Figura 15 – Ciclo do extrativismo vegetal na Amazônia brasileira	36
Figura 16 – Colheita de coco realizada por macaco	40
Figura 17 – Colheita de açaí por escalada do tronco da árvore	41
Figura 18 – Colheita de coco por meios de varas	42
Figura 19 – Sistema de elevação proposto por Fadel	43
Figura 20 – Sistema de elevação com plataforma em “U”	43
Figura 21 – Colhedora proposta por Zine.....	44
Figura 22 – Máquina de elevação proposto por Keramat Jahromi et al	44
Figura 23 – Conceito de robô para colheita de coco remotamente controlado	45
Figura 24 – Gráfico tensão – deformação com áreas de tenacidade e resiliência destacados	48
Figura 25 – Processo de desenvolvimento de produto	49
Figura 26 – Visita técnica a uma propriedade produtora de cocos.....	50

Figura 27 – Curvas Força de compressão (kN) x deslocamento (mm) obtidas pelos ensaios de compressão em cocos verde. (a) amostra A, (b) amostra B e (c) amostra C.....	53
Figura 28 – Curvas Força de compressão (kN) x deslocamento (mm) obtidas pelos ensaios de compressão em cocos secos. (a) amostra D, (b) amostra E e (c) amostra F	54
Figura 29 – Esquematização dos movimentos realizados pelo equipamento no coqueiro	59
Figura 30 – Distintos comportamentos da velocidade e aceleração ao longo do movimento de subida/descida	60
Figura 31 – Esquematização das forças atuantes no coqueiro inclinado	61
Figura 32 – Diagramas de corpo livre para o caso estudado	62
Figura 33 – Corte de sessão do diagrama de corpo livre	63
Figura 34 – Efeitos dos esforços internos em uma sessão transversal do corpo	64
Figura 35 – Esquematização das forças atuantes no coqueiro reto (1)	67
Figura 36 – Ângulo de inclinação do indivíduo de Cocos nucifera	68
Figura 37 – Esquematização das forças atuantes no coqueiro reto (2)	70
Figura 38 – Localização por países das patentes pesquisadas através da plataforma orbit	71
Figura 39 – Datas de depósito das patentes pesquisadas através da plataforma orbit	72
Figura 40 – Classificação das patentes pesquisadas através da plataforma orbit	72
Figura 41 – Validade das patentes pesquisadas através da plataforma orbit	73
Figura 42 – Automatic Lopping Machine	74
Figura 43 – Self-Propelled Tree Pruning Apparatus	74
Figura 44 – Modelamento global do equipamento	77
Figura 45 – Primeiro desdobramento do modelamento do equipamento	77
Figura 46 – Matriz morfológica	78
Figura 47 – Vista isométrica do equipamento proposto	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção anual do açaí.....	27
Tabela 2 – Principais diferenças entre as variedades de coqueiro	29
Tabela 3 – Produção, área colhida e produtividade dos principais países produtores de coco, no ano de 2012.....	30
Tabela 4 – Área plantada e valor da produção de coco nas cinco regiões do Brasil, em 2012	30
Tabela 5 – Área plantada, produção e produtividade de coco nos principais estados produtores do Brasil, em 2012	31
Tabela 6 – Exportações brasileiras de derivados de coco	31
Tabela 7 – Médias dos preços de coco verde nos entrepostos das capitais brasileiras	32
Tabela 8 – Quantidade e valor dos produtos da extração vegetal não-madereira, Brasil, 2007	36
Tabela 9 – Principais características agronômicas dos grupos varietais de coqueiro	38
Tabela 10 – Propriedades mecânicas da madeira de coqueiros.....	39
Tabela 11 – Trabalho realizado pela máquina de tração para romper dos corpos de provas	55
Tabela 12 – Critérios limitantes para o equipamento	56
Tabela 13 – Trabalho realizado pela máquina de tração para romper dos corpos de provas	69
Tabela 14 – Características de equipamentos para a colheita de coco e açaí	71
Tabela 15 – Comparação por aspectos operacionais entre os três métodos de colheita.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama de esforço normal.....	63
Gráfico 2 – Diagrama de esforço cortante.....	63
Gráfico 3 – Diagrama de momento fletor	64

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

t_T	Tempo total	s
t_s	Tempo necessário para o movimento de subida do equipamento	s
t_d	Tempo necessário para o movimento de descida do equipamento	s
t_p	Tempo necessário para o movimento de posicionamento do equipamento	s
t_c	Tempo necessário para o movimento de corte do equipamento	s
t_{ac}	Tempo necessário para a aceleração total do equipamento	s
t_{an}	Tempo necessário para a desaceleração total do equipamento	s
t_i	Tempo inicial	s
t_f	Tempo final	s
x	Posição no eixo x	m
x_i	Posição inicial	m
x_f	Posição final	m
L	Comprimento efetivo	m
L_a	Comprimento do tronco da árvore	m
t	Espessura	m
H_a	Altura do solo até a posição do primeiro fruto	m
H_{qmi}	Altura máxima para soltar o fruto i sem danifica-lo	m
c	Distância da linha neutra até a casca do troco da árvore	m
e	Distância da linha neutra até o centroide do equipamento	m
D_a	Diâmetro do tronco da árvore	m
D_o	Diâmetro de operação do equipamento	m
A	Área	m ²
A_{ta}	Área da seção transversal do tronco da árvore	m ²
A_{CN}	Área mínima de contato entre equipamento e árvore	m ²
I	Momento de inércia	m ⁴
I_{ta}	Momento de inércia da área da seção transversal do tronco da árvore	m ⁴
v_v	Velocidade vertical mínima para o movimento de subida/ decida	m/s
v_h	Velocidade horizontal mínima para o movimento de posicionamento	m/s
v_{qmi}	Velocidade máxima de impacto do fruto i sem danifica-lo	m/s
ω_h	Velocidade angular horizontal mínima para o movimento de posicionamento	rad/s
g	Aceleração da gravidade	m/s ²

F	Força genérica	N
F _{at}	Força de atrito	N
F _n	Força normal	N
V	Esforço cortante	N
N	Esforço normal	N
P	Peso	N
P _x	Componente da força peso no eixo x	N
P _y	Componente da força peso no eixo y	N
R	Força resultante	N
R _x	Componente da força resultante no eixo x	N
R _y	Componente da força resultante no eixo y	N
N _m	Força normal máxima exercida pelo equipamento	N
M	Momento fletor	N*m
M _e	Momento referente ao centroide do equipamento	N*m
M _R	Momento resultante	N*m
W _{mi}	Trabalho realizado pela máquina de tração universal no ensaio de compressão do fruto i	J
U _{ti}	Módulo de tenacidade de um corpo genérico	J
U _{tmi}	Módulo de tenacidade médio do fruto i	J
E _{qdi}	Mínima energia dissipada do fruto durante a queda	J
F.S	Fator de segurança	----
μ	Coeficiente de atrito	----
μ _d	Coeficiente de atrito dinâmico	----
ε _{ad}	Deformação admissível	----
ε _{mf}	Deformação máxima em flexão	----
θ	Inclinação da árvore	°
m _e	Massa do equipamento	kg
m _{ci}	Massa do fruto i	Kg
σ _{ad}	Tensão admissível	Mpa
σ _{cx}	Tensão de compressão na direção x	Mpa
σ _{fx}	Tensão de flexão na direção x	Mpa
σ _{mc}	Tensão máxima de compressão	Mpa
σ _{mf}	Tensão máxima de flexão	Mpa
σ _x	Tensão na direção x	Mpa
σ _y	Tensão na direção y	Mpa

σ_{va}	Tensão de von misses no ponto A	Mpa
σ_{vb}	Tensão de von misses no ponto B	Mpa
τ_{xy}	Tensão de cisalhamento	Mpa
E_a	Módulo de elasticidade da madeira do tronco da árvore	Gpa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Principal	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 JUSTIFICATIVA	21
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 FAMÍLIA <i>ARECACEAE</i>	23
2.1.1 Açaí	24
2.1.2 Coco	29
2.1.3 Demais frutos economicamente relevantes.....	33
2.1.4 Principais características agrônômicas dos frutos mais relevantes.....	37
2.1.4.1 Propriedades mecânicas das madeiras de palmeiras	39
2.2 Colheita realizada em palmeiras	39
2.2.1 Colheita manual	40
2.2.2 Colheita semi-mecanizada	42
2.2.3 Colheita mecanizada	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 ENSAIOS MECÂNICOS	47
3.2 VISITA TÉCNICA	48
3.3 PESQUISA DE ANTERIORIDADE.....	51
3.4 DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DO PRODUTO	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS OBTIDAS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO....	53
4.1.1 ENERGIA DE DEFORMAÇÃO E SUAS INTERPRETAÇÕES.....	55
4.2 REQUISITOS DO PROJETO OBTIDOS NA VISITA TÉCNICA	56

4.2.1 DETERMINAÇÕES DAS PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES-META	58
4.2.1.1 ANÁLISE CINÉTICA.....	58
4.2.1.2 ANÁLISE ESTÁTICA.....	60
4.3 RESULTADOS DA BUSCA DE ANTERIORIDADE	71
4.3.1 PATENTES DE DESTAQUE.....	73
4.3.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE COLHEITAS EXISTENTES.....	75
4.4 DEFINIÇÃO DO CONCEITO DO EQUIPAMENTO	76
5 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

As palmeiras são plantas pertencentes a família *Arecaceae* e se diversificam em cerca de 2600 espécies, sendo muitas delas importantes economicamente para diversos países devido ao fato de originar produtos comestíveis que movimentam a fruticultura, produtos fibrosos que movimentam os setores de artesanato e de construção civil e produtos ornamentais que movimentam os setores de arquitetura e paisagismo (WILLIAM e JOHN, 2016).

Este trabalho aborda especificamente o setor da fruticultura avaliando uma forma de otimizar o processo de colheita dos frutos dessas palmeiras, mais especificamente os frutos de importância econômica para o Brasil como o Coco, Açaí, Buriti, Carnaúba e o Babaçu ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – As cinco árvores importantes economicamente de família das palmeiras (família *Arecaceae*)



Fontes: Compilação do autor (2020)¹

No Brasil só no ano de 2018 a cultura do coco (coqueicultura) e a cultura do açaí movimentaram cerca de 1,5 bilhões de dólares (AGROSAT, 2018) e cerca de 600 milhões de reais (SEDAP, 2018) respectivamente, os comércios dos frutos de Buriti, Carnaúba e Babaçu movimentaram juntos cerca de 193 milhões de dólares em 2007. (SARAIVA, 2019).

Todas as culturas mencionadas acima possuem um problema em comum, a baixa eficiência na colheita dos frutos, isto devido as características morfológicas

¹Montagem realizada a partir de imagens coletadas, da esquerda para a direita, respectivamente de Leandro vieira (coqueiro); Dick Culbert (açazeiro); Decor Fácil (buritizeiro); Otávio Nogueira (carnaubeira); Marcelo Cavallari (babaçu)

dessas plantas, principalmente a elevada altura, e a ausência no mercado de equipamentos que sanem essa dificuldade. Com exceção da coqueicultura, que possui médios e grandes fazendeiros e indústrias, as demais culturas tem como constituintes pequenos fazendeiros e populações ribeirinhas, limitando assim a gama de equipamentos.

Atualmente existem modos de colheitas distintos entre si, onde estes são definidos pelo grau de tecnologia empregada no processo, sendo eles a colheita manual, a colheita semi-mecanizada e a colheita mecanizada. Contudo todos esses métodos possuem limitações, alguns mais e outros menos, como detalhado posteriormente neste trabalho (FERREIRA; TATTO, 2018).

Levando em conta a importância econômica para o Brasil da comercialização dos frutos oriundos das palmeiras e sabendo da existência das limitações nos métodos de colheita, faz-se necessário um estudo de formas de alternativas de colheitas desses frutos com a finalidade de trazer uma maior eficiência a esse processo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal desse trabalho é desenvolver o conceito de um equipamento de baixo custo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Propor um equipamento que seja capaz de se acoplar em um tronco de árvore, da família *Arecaceae*, além de percorrê-lo ao longo de toda sua extensão e perímetro, com o intuito de coletar os seus frutos;

Estudar os equipamentos e formas de acoplagem existentes, para correlacionar com o poder capital dos consumidores e definir qual o escopo do projeto mais economicamente viável;

Definir o sistema de acionamento, economicamente viável, para a movimentação do equipamento;

Estudar a morfologia das árvores da família *Arecaceae* economicamente relevantes para dimensionar o equipamento, com foco no acoplamento;

Estudar do processo de colheita dos principais frutos da família *Arecaceae*, a fim de dimensionar o equipamento, com foco em seu deslocamento sobre a árvore.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa trazer impactos sociais e econômicos em alguns seguimentos do setor de fruticultura, sendo eles a coqueicultura, a cultura do Açaí, a cultura do Buriti, a cultura da Carnaúba e a cultura do babaçu.

Do ponto de vista social este trabalho tem o intuito de melhorar a qualidade de vida das pessoas que trabalham com a colheita desses frutos, visto que o equipamento proposto exime as pessoas da necessidade de escalar as árvores ou serem elevadas a uma altura cujo a queda causaria sérios danos à sua saúde.

Do ponto de vista econômico, as cinco culturas já mencionadas estão com seu mercado estável ou em crescimento, somado a isso a carência tecnologia neste setor são indicadores de que o investimento neste produto seria de baixo risco e com bom retorno financeiro para a empresa detentora desta tecnologia.

Ainda do ponto de vista econômico, a mecanização da colheita além de diminuir riscos, como já explanado, e também agiliza o processo de colheita. Com uma redução de tempos os custos desse processo caem o que implica no aumento de lucro para fazendeiros ou empresas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho conta com uma revisão bibliográfica dividida em três partes, sendo a análise da problemática através do estudo das características morfológicas das plantas da família *Arecaceae* e sua importância comercial, a definição de limites da solução por intermédio do estudo dos tipos de colheitas e poder capital dos indivíduos atuantes nesse processo, por fim a busca de anterioridade através do estudo de mecanismos e de tecnologias já existentes no mercado.

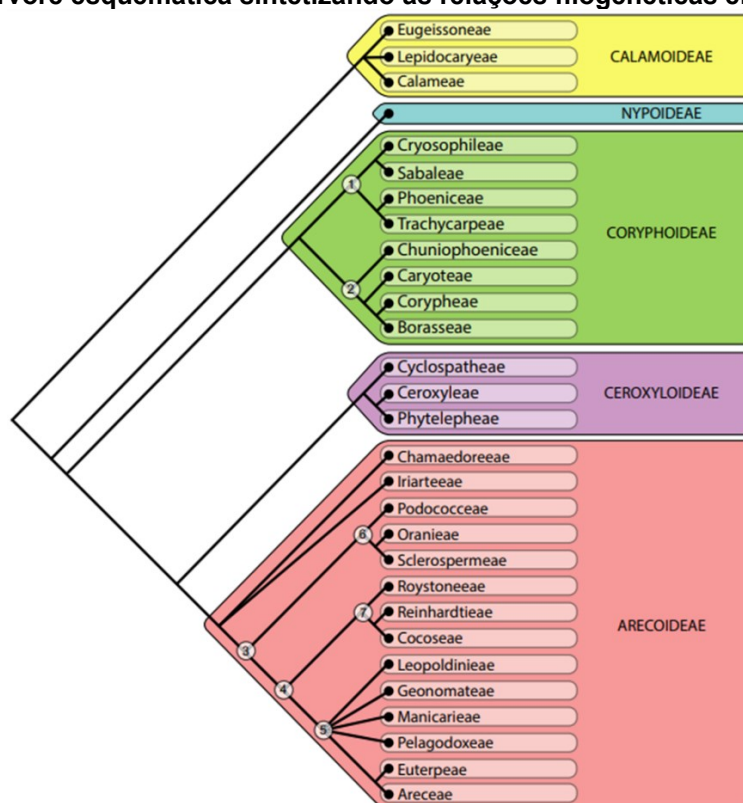
Posteriormente o tópico de materiais e métodos que descreverá detalhadamente o desenvolvimento da solução proposta, seguido dos tópicos de resultados e discussões, que descreve o funcionamento da solução, e a conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FAMÍLIA ARECACEAE

A família *Arecaceae*, também conhecida como família das palmeiras naturalmente é o grupo de espécies tropicais mais conhecido. Esse fato deve-se ao tamanho de suas plantas. Esta família pertence a ordem *Arecales* e é dividida em cinco subfamílias, *Calamoideae*, *Nypoideae*, *Coryphoideae*, *Ceroxyloideae* e *Arecoideae*, como apresentado na Figura 2. A família *Arecaceae* abrange 181 gêneros que compreende cerca de 2600 espécies (WILLIAM e JOHN, 2016).

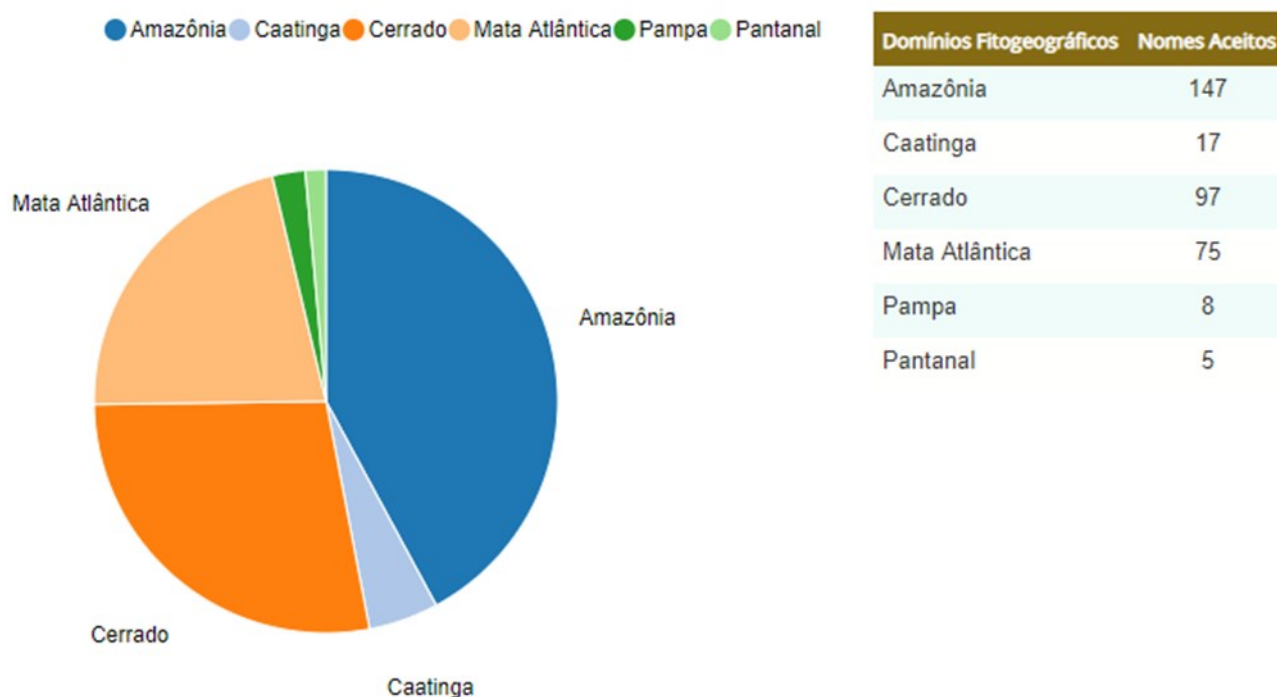
Figura 2 – Árvore esquemática sintetizando as relações filogenéticas entre palmeiras



Fonte: Dransfield *et al.* (2008)

As regiões tropicais e temperadas do globo são onde se concentram a incidência de plantas da família *Arecaceae* sendo o Brasil o abrigo de 37 gêneros, contemplando 302 espécies somadas a 26 subespécies e 20 variedades, distribuídas no território brasileiro conforme mostrado no Figura 3. (*Arecaceae*. Flora do Brasil, 2020).

Figura 3 – Gráfico dos nomes aceitos de espécies por domínio fitogeográfico



Fonte: Flora do Brasil (2020)

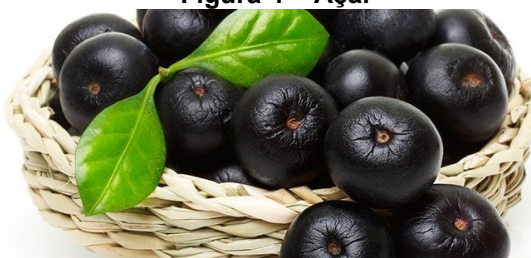
Essa família possui uma enorme importância nacional e global, pois diversas espécies dela geram produtos que movimentam o agronegócio. Por exemplo existem gêneros de plantas comestíveis, onde em muitas espécies não só o fruto é comestível como também o meristema apical, há gêneros fibrosos, que produzem fibras utilizadas no artesanato e na construção civil e também se tem gêneros que possuem plantas ornamentais utilizada na arquitetura e paisagismo.

Neste trabalho os estudos serão concentrados nos gêneros que possuem frutos comestíveis com alta circulação no mercado sendo eles descritos nos subtítulos a seguir.

2.1.1 Açaí

O açaí é um fruto oriundo do açazeiro, sendo apresentado duas variações do fruto onde um é o açaí preto (Figura 4), cujos frutos maduros têm polpa arroxeada, e o outro é o açaí branco, com frutos de coloração verde, mesmo quando maduras, originados das espécies *Oleracea* e *Precatoria* pertencentes ao gênero *euterpe* respectivamente (CONAB, 2019).

Figura 4 – Açaí



Fonte: Viva mais Viva melhor (2016)

O açaizeiro é uma palmeira delgada, com diâmetros do tronco entre 18,9 – 20,8 cm (Lunz et al, 2016), que pode atingir uma altura superior a 25 metros. Típica da Amazônia ela ocorre naturalmente nos estados do Pará, Amapá, Maranhão, além do próprio estado amazônico, fato que contribui para esta região ser responsável por mais de 90% da produção nacional de açaí (Figura 5).

Figura 5 – Produção brasileira de açaí



Fonte: Adaptado de G1 (2019)

O Brasil é o maior produtor mundial de açaí, onde este além de suprir a demanda interna brasileira, principalmente do centro-sul, abastece o mercado internacional, sendo que cerca de 77% da produção vai para as indústrias de processamento norte americanas. Somado a isso o açaí vem também ganhando outros mercados como por exemplo, Países Baixos, Japão, Austrália, entre outros.

A safra do açaí não é constante durante o ano, sendo que esta varia entre as regiões, sendo o período de colheita no Pará de agosto a novembro, no estuário amazônico de julho a agosto, no Amapá e maranhão no primeiro semestre e no Amazonas de novembro a maio. Esta situação contribui para que o preço pago no açaí varie conforme os meses, como mostra a Figura 6. Além do período o tipo do açaí influencia no preço, sendo o branco ligeiramente mais caro do que o preto (FLORENCE, 2019).

Figura 6 – Preço pago ao produtor de Açaí (R\$/kg)

UF	Mar/18	Fev/19	MÊS ATUAL			
			Mar/19	$\Delta\%$ (mês anterior)	$\Delta\%$ (ano anterior)	Preço mínimo
Pará	3,33	3,04	3,54	14,12	5,9	1,63
Amazonas	1,42	1,83	1,47	-24,49	3,4	1,63
Maranhão	2,42	3,33	3,25	-2,46	25,5	1,63
Amapá	2,50	1,21	1,11	-9,00	-125,2	1,63
Rondônia	2,00	2,00	2	0,0	0,0	1,63
Acre	1,47	1,26	1,27	0,79	-15,7	1,63

Fonte: CONAB (2019)

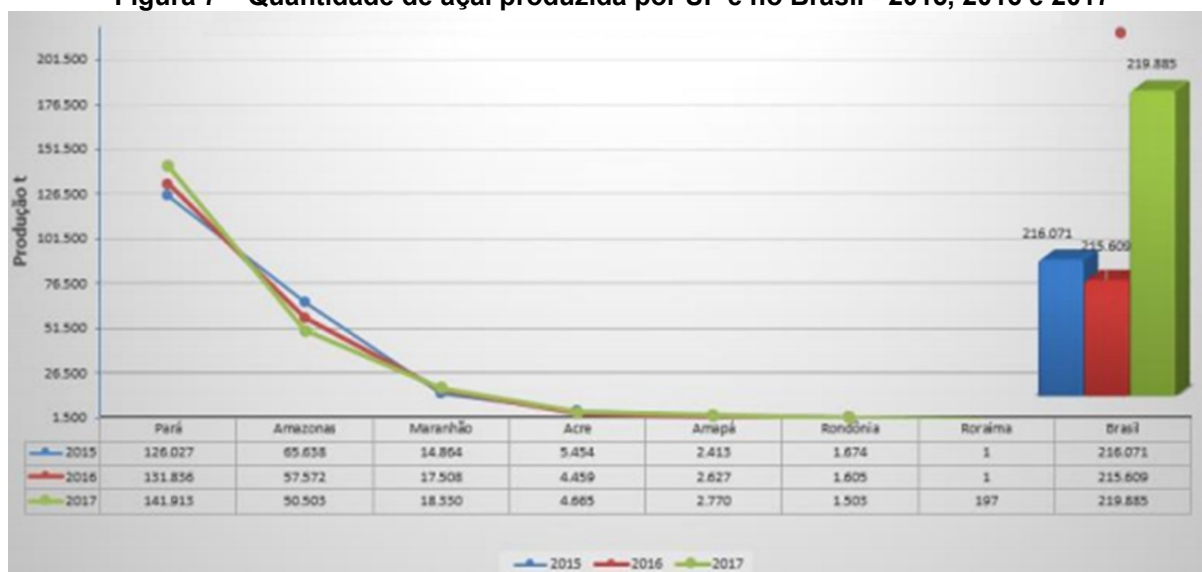
Do açaí produzido se extrai a polpa, vendida congelada ou utilizada para a confecção de vinhos e sorvetes ou sendo processada incorporando diversos alimentos. Nos últimos 5 anos, do total de alimentos processados contendo açaí, 22% são sucos, 12% bebidas energéticas e esportivas, 9% lanches, 7% sobremesas e sorvetes, 5% na categoria láctea e 3% em doces e balas (VALERIA; OTINEL; LEANDRO, 2016).

O gênero euterpe apresenta mais uma espécie que possui importância na agroindústria que é a *Edulis* responsável pela produção do palmito-juçara, devido ao processo de colheita deste se diferenciar da colheita do açaí, coco entre outros frutos, não será abordado detalhadamente no trabalho, pois o equipamento proposto não possui a finalidade de sua colheita. Entretanto as espécies *Oleracea* e *Precatoria* também produzem palmito e até antes da década de 90 só serviam ao agronegócio com essa finalidade, contudo a partir da década de 90 houve o advento da cultura *fitness* e de academia, o que impulsionou o açaí a ganhar status e fama, sendo incluído na categoria de superalimentos, devido a suas propriedades antioxidantes,

seu alto teor energético e também devido à presença da chamada “gordura boa” em sua composição.

Apesar de representar, em volume, uma quantidade insipiente em comparação as outras *commodities* agrícolas, verifica-se que é um mercado em trajetória crescente e que ainda não alcançou a sua curva de maturidade, como mostra a Figura 7, o que sinaliza um cenário com oferta insuficiente para suprir a atual demanda, uma baixa concorrência e uma carência tecnológica (FLORENCE, 2019).

Figura 7 – Quantidade de açaí produzida por UF e no Brasil - 2015, 2016 e 2017



Fonte: CONAB (2019)

Tal cenário incentiva o investimento da iniciativa privada no cultivo do açaí, desconsiderando o custo com a terra. Necessita-se de R\$ 2.155,00/ha para a implantação e manutenção durante os três primeiros anos, a partir do quarto ano a produção supera os custos de manutenção e isso se sucede até o fim da idade produtividade do açaizeiro, sendo os valores de investimento anual expostos na Tabela 1 (PAGLIARUSSI, 2010).

Tabela 1 – Produção anual do açaí

Produto	Produção anual	Investimento total	Custo total (Em mil US\$)	Receita total	Margem de lucro %	Rentabilidade	Período de retorno
Açaí	4 mil cestos de 15 kg, a US\$ 14 cada, a partir do 4º ano de plantio	11,3	24,1	56,0	43,21	213,83	6 meses

Fonte: Adaptado do site Amazônia Legal (2010)

Se realizou uma análise de mercado referente à produção do açaí, direcionada a empresários estabelecidos e interessados no setor, onde diz que:

Muito apreciado pelo excelente sabor de sua polpa, o açaí é uma das frutas amazônicas atualmente mais conhecidas fora da região, e com perspectivas muito interessantes quanto à conquista de novos mercados (SEBRAE, 2013, p. 3).

Constata-se que o comércio do açaí é um mercado em crescimento com alta atratividade de investimento. A Figura 8 ilustra uma análise *swot* referente ao negócio do açaí.

Figura 8 – Análise swot de negócios relacionados a produção de açaí

AMBIENTE EXTERNO	
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Capacidade de desenvolvimento de variedades diferenciadas de frutícolas a nível competitivo.	Adequação das empresas exportadoras aos requerimentos e exigências inerentes a atividade comercial.
Possibilidade de consolidação no mercado internacional com frutas processadas, tropicais desidratadas à vácuo, sucos e polpas de frutas não cítricas – exportação.	Exigências cada vez maiores do mercado consumidor quanto às condições de higiene e confiabilidade do produto.
Mistura em alimentos (iogurte, sobremesa, alimento infantil etc.).	Aceitação negativa do produto pelo consumidor estrangeiro.
Oportunidades de negócios para a produção familiar.	Falta de inovação e padronização nas embalagens (Pack, Lata, Plástico, etc.).
Artesanato e biojóias.	Outras frutas tropicais.
Divulgação das propriedades nutritivas.	Distribuição para mercados externos.
Novo hábito de consumo em outras regiões do Brasil.	Exploração predatória pode causar desequilíbrio ecológico.
Crescente demanda para polpa do açaí.	Alta pericibilidade do fruto.
Criar marca, divulgar o produto e fidelizar o cliente (rede de lojas com interesse em selo social).	
Estreitar relacionamento com os órgãos de apoio.	
O produto não tem concorrente no mercado.	
AMBIENTE INTERNO	
FORÇAS	FRAQUEZAS
Alta renda per capita para os produtores.	Sistema de transporte ineficaz.
Produtos naturais oriundos de SAF, extrativismo, agroextrativismo e pequena produção.	Exploração predatória pode causar insuficiência de recursos no futuro.
Produto 100% brasileiro.	Falta treinamento aos produtores.
Período médio de retorno de investimento: 6 meses.	Alta pericibilidade do fruto.
Incentivos governamentais.	Distribuição do produto precária.
Hábitos gerais de prestigiar sabores tropicais.	Produção pequena em relação à demanda interna.
Preferência por novos sabores e misturas de sucos naturais.	Nicho de mercado de produtos exóticos ainda desconhecido.
Propriedades nutritivas e energéticas.	
Diversificação e diferenciação do produto regional.	
O produto não tem concorrente no mercado.	

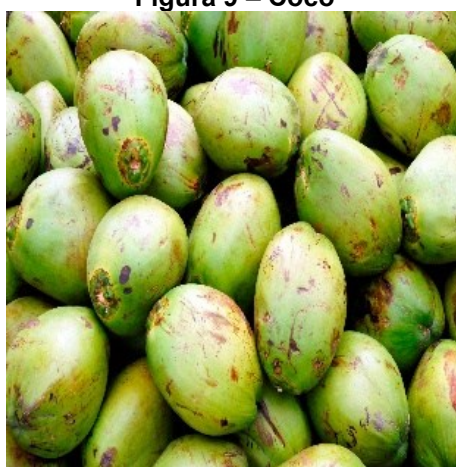
Fonte: SEBRAE (2013)

Observa-se que as principais dificuldades desse nicho de mercado são as características biológicas do próprio fruto, alta perecibilidade e baixa resistência mecânica a choques, e a falta de inovação para otimização da produção, padronização e melhoramento do transporte e da colheita, sendo que esse trabalho visa solucionar a problemática do melhoramento e padronização da colheita.

2.1.2 Coco

Pertencente ao gênero *Cocos*, o coqueiro (Figura 9) é uma única espécie, *Cocos nucifera*, sendo está dividida em três variedades, gigante, híbrida e anã, onde a última é dividida em três cultivares: verde, amarela e vermelha. Esta diversidade de indivíduos é devida às distintas formas de reprodução das árvores, assim atribuindo diferentes características entre eles, como apresentado na Tabela 2 (SOUZA; MELO; MANCIN, 2003).

Figura 9 – Coco



Fonte: Veja Rio (2017)

Tabela 2 – Principais diferenças entre as variedades de coqueiro

Variedade	Características			
	Altura (m)	Início de produção (Ano após o plantio)	Sistema reprodutivo	Destino do produto
Gigante	Até 35	A partir do 3º ano	Alogamia	Coco seco: Indústria Coco verde: Água de coco
Anã Verde	Até 12	A partir do 3º ano	Até 20% alogamia	Água de coco
Anã Amarela	Até 12	A partir do 3º ano	Autogamia	Água de coco
Anã Vermelha	Até 12	A partir do 3º ano	Até 10% alogamia	-----

Fonte: Instituto de ciências agrárias – UFU (2013)

Os coqueiros encontram-se na zona intertropical do globo, sendo localizados em mais de 200 países. Contudo somente cerca de 90 países os exploram economicamente, ocupando uma área estimada de 12 milhões de ha, onde na Ásia se encontra aproximadamente 70% desta área, fato que contribui para que os países asiáticos se destaquem no ranking dos maiores produtores do fruto, como mostra a Tabela 3. (MARTINS; JÚNIOR, 2014).

Tabela 3 – Produção, área colhida e produtividade dos principais países produtores de coco, no ano de 2012

País	Área colhida (ha)	Produção (1000 t)	Produtividade (1000 t/ha)
Indonésia	3000000	18000000	6,00
Filipinas	3573806	15862386	4,44
Índia	2132240	10560000	4,95
Brasil	257742	2888532	11,21
Sri Lanka	394840	2000000	5,07
Vietnã	145000	1250000	8,62
Tailândia	217000	1100000	5,07
México	166000	1050000	6,33
Papua Nova Guine	223000	900000	4,04
Malásia	112093	609530	5,41
Outros	1892920	5831389	3,08
Mundo	12114141,37	60048837,15	4,96

Fonte: FAO (2014)

No Brasil existem uma área de 247.336 de hectares destinada a coqueicultura, com uma produção de 1.721.451 toneladas de frutos e um rendimento médio de 7.114 kg/ha (IBGE, 2017). Do total de áreas cultivadas com coqueiros no país, aproximadamente 70% são da cultivar gigante, 20% da anão e o restante da cultivar híbrida. Na região nordeste encontra-se 84,5 % das áreas cultivadas do território brasileiro, sendo a Bahia o maior estado produtor, com 30,7 % do total de áreas cultivadas, como apresentam as tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Área plantada e valor da produção de coco nas cinco regiões do Brasil, em 2012

Região do Brasil	Área plantada (ha)	Produção: Valor em mil frutos	Produção: Valor em reais
Nordeste	208977	1345962	579899
Norte	27314	252406	104676
Sudeste	20471	315714	182714
Centro-Oeste	2752	37190	27666
Sul	223	3082	2722

Fonte: IBGE (2014)

Tabela 5 – Área plantada, produção e produtividade de coco nos principais estados produtores do Brasil, em 2012.

País	Área colhida (ha)	Produção (1000 frutos)	Produtividade (1000 frutos/ha)
Bahia	75827	553759	7,30
Ceará	45202	272060	6,01
Sergipe	39486	242852	6,15
Pará	23584	231400	9,81
Espírito Santo	10941	173716	15,87
Pernambuco	8264	1066625	12,90
Rio de Janeiro	4546	70013	15,40
Rio Grande do Norte	20384	62293	3,05
Paraíba	9817	57456	5,85
Alagoas	6218	29287	4,71

Fonte: IBGE (2014)

O coco é um fruto classificado como drupa, oriundo do coqueiro, são colhidos como coco verde ou coco seco, diferenciados somente pelo tempo de maturação, 6 a 8 meses após abertura da espata ou em torno de 12 a 14 meses após a abertura da espata respectivamente. Onde a variedade gigante é destinada a produção do coco seco e a variedade anã destinada à do coco verde.

Deste fruto é possível originar diversos produtos além do coco seco e coco verde, como óleos utilizados em produtos copilares, bio-compositos usados na fabricação de medicamentos, fertilizantes e combustíveis, fibras que constituem estradas, residências, vasos de flores entre outros, somado a isso pode ser utilizado para produzir ração animal (BRAINER, 2018).

Esses derivados do coco movimentam o mercado econômico conforme mostra a Tabela 6. Apesar dos maiores mercados mundiais do coco, serem nos países asiático, com a Indonésia, Tailândia e Vietnã correspondendo a cerca de 75% das exportações do fruto em 2018 (BUSINESS WIRE, 2019). O Brasil ocupa a 4ª posição entre os maiores mercados, tendo em 2017 exportações do fruto no volume de 1500 de toneladas e no valor de 1,5 milhões de dólares, onde aproximadamente 60% das exportações brasileiras se destinam ao Egito e a Espanha.

Tabela 6 – Exportações brasileiras de derivados de coco

Produtos	Peso (t)			Valor (Mil US\$)		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Cocos, frescos ou secos, dessecados (coco ralado)	83	25	35	240	159	198
Cocos na casca interna (endocarpo)	22	---	227	11	---	101
Cocos Frescos	1024	1460	787	363	932	436
Óleo de coco (óleo de copra), em bruto	1	0	1	13	0	6

Fonte: Adaptado de AGROSAT (2018)

Tabela 6 – Exportações brasileiras de derivados de coco (continuação)

Produtos	Peso (t)			Valor (Mil US\$)		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Outros óleos de coco (óleo de copra)	75	43	26	238	366	254
Tortas e outros resíduos sólidos do coco ou da copra	0	0	---	0	0	---
Fios de cairo (fios de fibra de coco)	---	0	0	---	1	1
Revestimento para pavimento, de cairo (fibra de coco)	1	1	3	9	9	16
Total	1206	1529	1078	837	1467	1012

Fonte: Adaptado de AGROSAT (2018)

O mercado do coco encontra-se em crescimento. No globo em 2018 ele teve uma expansão de 3,5% onde foi movimentado cerca de 35,6 bilhões de dólares (BUSINESS WIRE, 2019). No Brasil o maior crescimento vem principalmente das regiões sul e sudeste que se beneficiam da proximidade do mercado consumidor, constatado na disparidade do preço do fruto entre as regiões no país apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Médias dos preços de coco verde nos entrepostos das capitais brasileiras

Capitais	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
São Paulo	0,87	1,04	1,13	1,07	1,05	1,38	1,39	1,39	2,32	1,72	1,50
Rio Branco	NI	NI	1,00	0,97	1,00	0,95	0,52	0,50	1,00	1,17	1,85
Maceió	0,58	0,60	0,68	0,74	0,86	1,44	1,52	1,19	1,27	1,08	1,08
Salvador	0,47	0,54	0,62	0,65	0,69	1,12	1,06	1,01	1,16	1,10	1,05
Fortaleza	0,54	0,67	0,72	0,91	0,85	1,05	1,08	1,23	1,26	1,23	1,09
Brasília	0,92	0,94	1,22	1,17	1,23	1,54	1,54	1,32	1,47	1,69	1,57
Vitória	0,57	0,75	0,79	0,84	0,89	1,12	0,99	0,86	1,26	1,34	1,26
Goiânia	0,85	0,94	1,33	1,26	1,20	1,48	1,72	1,92	1,81	1,97	1,34
São Luiz	0,67	0,82	1,00	1,00	NI	NI	NI	NI	NI	1,98	1,32
Belo Horizonte	0,75	0,88	1,00	0,97	1,00	1,25	1,30	1,46	1,63	1,54	1,34
Campo Grande	0,81	0,95	1,41	1,61	1,60	2,00	2,40	2,36	2,29	2,48	2,50
Cuiabá	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	1,72	2,03	2,16	2,38
Belém	0,48	0,50	0,61	0,59	0,66	0,79	0,83	0,94	1,10	1,03	1,15
João Pessoa	0,39	0,45	0,40	0,49	0,63	0,84	0,84	1,16	0,98	1,17	1,00
Recife	0,58	0,64	0,80	0,85	0,86	1,27	1,23	1,23	1,26	1,24	1,07
Teresina	0,54	0,64	0,78	0,91	0,78	1,16	NI	1,20	1,20	1,70	NI
Curitiba	1,22	1,53	1,62	1,67	1,57	1,93	2,06	1,85	2,60	2,53	2,07
Rio de Janeiro	0,73	0,81	0,93	2,22	1,28	1,55	1,64	1,56	1,97	1,55	1,48
Natal	0,49	0,56	0,71	0,83	0,66	0,73	0,80	0,78	0,96	1,48	1,32
Porto Alegre	1,60	1,65	2,00	2,28	2,48	2,80	3,05	2,98	3,40	3,91	3,66
Florianópolis	1,10	1,44	1,62	1,86	1,72	2,00	2,22	2,29	2,80	2,78	2,45
Aracaju	0,49	0,65	0,73	0,82	0,80	NI	NI	NI	NI	NI	NI
Palmas	NI	NI	1,00	2,56	2,61	NI	NI	NI	NI	NI	NI
Médias	0,73	0,85	1,00	1,19	1,16	1,39	1,46	1,45	1,69	1,75	1,62

Fonte: Conab (2018)

Além da baixa concorrência decorrente do fato histórico de que o coqueiro primeiramente foi introduzido na Bahia em meados de 1950 e posteriormente se disseminou pelo litoral nordestino (ARAGÃO et al, 2010), tem contribuindo para que atualmente a região nordeste concentre a maior parte da produção do fruto, como já abordado anteriormente. Outros fatores que incentivam o crescimento do setor da coqueicultura no Brasil, mostrada na Figura 10, são a maior procura por água de coco no Brasil e no mundo (BRAINER, 2018), somado ao baixo custo de produção, que gira entorno de R\$ 0,27 a R\$ 0,69 por fruto, dependendo do manejo empregado (Martins; Barros; Rodrigues, 2015).

Figura 10 – Avanço do cultivo de coqueiros nos estados brasileiros em 1990 e 2014



Fonte: EMBRAPA (2014)

Todavia as dificuldades para uma maior expansão do mercado brasileiro estão na produtividade e na carência tecnológica nesse setor. Constata-se que a região sul apesar de ter uma menor área plantada apresenta uma maior produtividade do que a região nordeste por fatores como nível tecnológico empregado, variedades de cultivares de coco exploradas e sua utilização (MARTINS; JÚNIOR, 2014). Sendo o foco desse trabalho o estudo do emprego da tecnologia e desenvolvimento desta para esse setor.

2.1.3 Demais frutos economicamente relevantes

Oriundo de palmeiras dos gêneros *Orbignya* e *Attalea*, o babaçu é um fruto oval alongado de coloração castanha, como mostra a Figura 11, cujo principal produto

trata-se do óleo de suas amêndoas, onde este destina-se ao setor de cosméticos ou de alimentos (Cavallari; Toledo, 2016). Encontradas na região de transição entre as florestas úmidas da bacia amazônica e as terras semiáridas da região do nordeste brasileiro, como ilustra a Figura 12, essas árvores possuem entre 10 e 20 metros de altura com folhas arqueadas (ALBEIRO et al, 2007).

Figura 11 – Babaçu (fruto)



Fonte: Emerson Silva/ Governo do Tocantins (2018)

Figura 12 – Mapa do Brasil demarcando as regiões de ocorrência de babaçuais



Fonte: MIC/STI (1982)

A carnaúba junto com o babaçu são consideradas plantas características da mata dos cocais. Também são palmeiras com a altura entre 10 e 15 metros, sendo que em casos raros pode atingir até 40 metros, mas diferentemente do babaçu ela pertence ao gênero *Copernicia* e seu fruto é uma baga ovóide-globosa de coloração escura, como mostra a Figura 13. Contudo este não é o principal produto dessa cultura perdendo essa posição para a cera produzida pelas suas folhas, entretanto o fruto é importante para a alimentação humana e animal, somado ao fato que de sua semente é possível obter óleos essenciais (MAPA, 2014).

Figura 13 – Carnaúba

Fonte: Coisas da roça (2019)

Considerada a palmeira mais abundante do país, o buriti encontra-se em toda a região amazônica, além da região nordeste e centro-sul do Brasil, somado a isso possui incidência em outros países do norte da América do Sul (CYMERYS; FERNANDES; AZEVEDO, 2008). Pertencente ao gênero *Mauritia* essas palmeiras possuem de 20 a 35 metros de altura e apresentam indivíduos masculinos e femininos, onde apenas o último é capaz de produzir frutos.

O fruto do buriti (Figura 14) é uma das principais fontes de pró-vitamina A encontradas na biodiversidade brasileira, além de possuir outras vitaminas e ser uma importante fonte de proteínas, junto com as fibras são os principais produtos dos buritizais, somado a isso do fruto é possível obter óleos comestíveis, medicinais e que podem ser aplicados em filtros solares (SARAIVA, 2009).

Figura 14 – Buriti

Fonte: Essas e outras (2020)

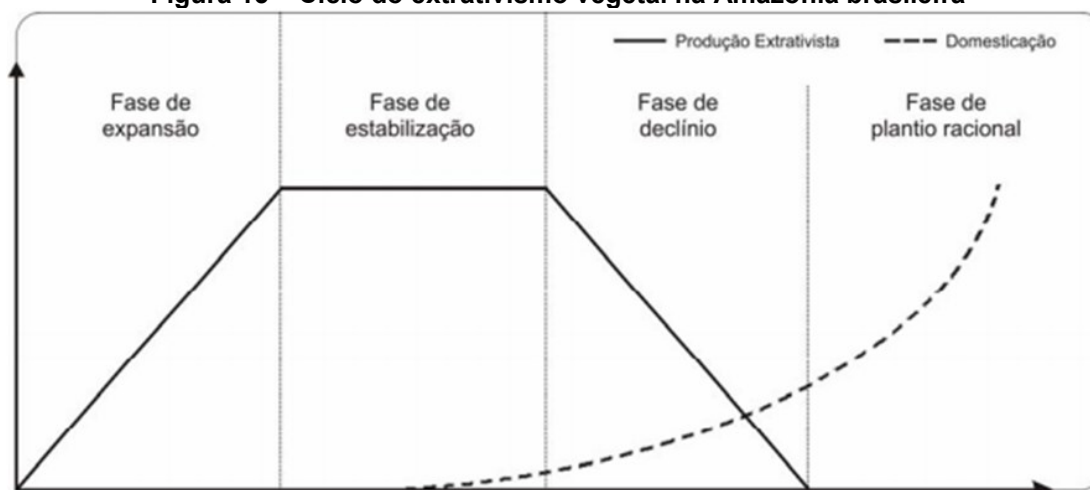
Apesar de possuir um mercado menos expressivo, os frutos da Carnaúba, do Babaçu e Buriti movimentaram em 2007 uma quantia superior a 193 milhões de reais (SARAIVA, 2009), conforme mostra a Tabela 8. Por mais que cada cultura possua as suas peculiaridades, ambas se localizam predominantemente nas regiões norte e nordeste do Brasil e sua exploração se dá principalmente por meio do extrativismo, embora este método esteja sendo substituído atualmente por um modelo de plantio mais inteligente, denominado domesticação, como visto na Figura 15.

Tabela 8 – Quantidade e valor dos produtos da extração vegetal não-madeira, Brasil, 2007

Produto	Quantidade (Toneladas)	Valor (1000,00 Reais)
Babaçu	144874	113268
Carnaúba	22463	78673
Buriti	500	1150

Fonte: Adaptado do IBGE (2007)

Figura 15 – Ciclo do extrativismo vegetal na Amazônia brasileira



Fonte: Adaptado de Homma (1993)

Por se tratarem de espécies da família Arecaceae, as características dessas árvores são de palmeiras com uma altura acima dos 10 metros, fato que torna difícil e arriscado a coleta de seus frutos. Entretanto o objetivo desse trabalho é propor um dispositivo capaz de realizar esta colheita de maneira mais segura e eficiente, além disso o fato da mudança do modelo de plantio e as novas descobertas sobre esses frutos tornam esse mercado crescente e propício a implementação de uma tecnologia de baixo custo.

2.1.4 Principais características agrônômicas dos frutos mais relevantes

Como exposto nas seções 2.1.1 a 2.1.3, diferentemente do coco, tanto o açaí, carnaúba, babaçu e o buriti possuem períodos específicos de colheita que variam conforme a região em que se encontram, além disso têm-se o fato que esses quatro frutos possuem um mercado em expansão. Por exemplo, com o comércio do açaí, está sendo cada vez mais investido no cultivo do que no extrativismo, o que culmina no surgimento de grandes cooperativas, principais clientes do produto desenvolvido nesse trabalho, como Amazon Frut, Sucasa Sucos da Amazônia, Rajá Frutas, Kanoa entre outros (Cunha, 2006).

A utilização do manejo adequado dos açazeiros contribuí para a produtividade destes passarem de 4500 kg/ha para 9000 kg/ha, entretanto esse valor ainda não é o suficiente para suprir a demanda do mercado interno e internacional, contribuindo para o aumento gradual do preço dos frutos e por conseguinte um cenário mais atrativo para investimentos (TEIXEIRA, 2018).

Um açazeiro produz de 4 a 8 cachos por ano, onde cada cacho pesa 4 quilos. Devido a carência tecnológica nesse setor, a colheita é realizada de maneira manual e muita perigosa para quem a faz devido ao risco de queda, na qual o apanhador coleta entre 8 a 12 latas por dia, sendo que cada lata possui cerca de 14 kg, custando à cooperativa em média R\$ 15,00 por lata (TEIXEIRA, 2018).

O buritizeiro pode apresentar de 1 a 10 cachos, sendo em média 4 cachos por árvore com uma média de 479 frutos por cacho (SAMPAIO et al. 2010), sendo que a média do peso do fruto fresco é de 51,24 gramas (BARBOSA; LIMA; JUNIOR, 2010). A colheita do buriti atualmente é feita de maneira manual, se escalando o tronco das árvores, como mostra a entrevista realizada pelo globo rural em 13/02/2014, onde o coletor consegue colher em média 30 sacas de açaí por dia e obter com a venda destas de 80 a 100 reais por dia.

A árvores do babaçu, por ser uma planta invasora, normalmente se apresenta como planta dominante consorciado com pastagem e/ou outros cultivos, podendo apresentar mais de 3000 indivíduos por hectare apresentando todas as idades. Essa alta densidade e diversidade de idades fazem com que a produtividade seja baixa, sendo que em um hectare apresenta em média de 80 a 110 palmeiras adultas produtivas. Cada palmeira produz, em média, 800 frutos por ano com peso

variando entre 40 e 490 gramas, divididos geralmente em 4 cachos com cerca de 26 quilos cada (WISNIEWSKI; MELO, 1981). A produção média de frutos de babaçu é de 2400 kg/há. Desse valor obtém-se como subproduto 140 kg (6%) de amêndoas. Das amêndoas tem-se 91 litros de óleo, sendo este o principal produto do babaçu, constituindo 65% do peso da amêndoa.

A venda de amêndoas de babaçu representa para os pecuaristas receitas brutas de US\$ 18.40/ha que em receitas líquidas representa US\$ 4.60/ha por ano, por mais que estas receitas pareçam baixas, quando comparadas com a renda proveniente da pecuária que é de US\$ 15.45, representam uma renda adicional de quase um quarto dos rendimentos líquidos por hectare provenientes de ambas as atividades (ALBEIRO et al, 2007).

A exploração da carnaúba gera cerca de 200 mil a 300 mil vagas de empregos, conforme reportagem do Diário do Nordeste, de 22 de Agosto de 2007, sendo que seus sub produtos como cera (bruta gorda) e o pó cerífero (tipo B) tem seus valores mínimos fixados em R\$ 13,66 e R\$ 8,75 por quilo, respectivamente, por meio da portaria nº 14, de 3 de janeiro de 2018. Uma carnaubeira possui dezenas de frutos, onde em média a cada 91 frutos têm-se um quilo. Já o coqueiro, como abordado anteriormente é uma árvore que dá frutos em todas as épocas do ano, apesar da produtividade variar conforme o tipo de variedade tratada, como mostra a Tabela 9, sendo que o custo unitário é de R\$ 0,27 a R\$ 0,69, dependendo do manejo empregado (Martins; Barros; Rodrigues, 2015).

Tabela 9 – Principais características agrônômicas dos grupos varietais de coqueiro

Características	Coqueiro Anão	Coqueiro Híbrido	Coqueiro Gigante
Início da floração (ano)	2 a 3	3 a 4	5 a 7
Vida útil	30 a 40	50 a 60	60 a 80
Tamanho do fruto	Pequeno	Intermediário	Grande
Crescimento	Lento	Intermediário	Rápido
Porte (m)	8 a 10	20	35
Espaçamento (m)	7,5 x 7,5 x 7,5	8,5 x 8,5 x 8,5	9 x 9 x 9
Número de plantas por hectare	205	160	142
Produção de frutos (frutos/plantas/ano)	150 a 200	130 a 150	60 a 80
Produtividade de frutos (frutos/ha)	30 a 40 mil	20 a 24 mil	8 a 12 mil
Peso do fruto (g)	900	1200	1400
Peso da noz (g)	550	700	800
Peso médio albúmen sólido (g)	250	400	350
Produtividade copra (kg/ha)	3 a 4 mil	4 a 5 mil	2 a 2,5 mil
Teor médio de óleo (%)	25,41	66,01	67,02
Teor médio de ácido láurico (kg/ha)	50,16	50,65	52,04
Produtividade de ácido láurico (kg/ha)	380 a 510	1300 a 1700	650 a 900
Produção de água (ml)	200 a 300	400 a 550	500 ou mais
Destino produção	In natura	In natura	In natura
	Agroindústria	Agroindústria	Agroindústria

Fonte: Adaptado de Martins, Jesus Júnior (2014) e Fontes (2002)

2.1.4.1 Propriedades mecânicas das madeiras de palmeiras

A resistência mecânica natural da madeira pode ser influenciada por fatores como espessura das paredes das fibras presentes na madeira e sua quantidade, sendo que fibras longas proporcionam mais flexibilidade enquanto muitas fibras fornecem rigidez e compactidade.

Somado a isso tem-se a densidade e a umidade que influenciam na resistência mecânica, uma vez que uma madeira com muita umidade favorece o desenvolvimento de fungos que antecipam a deterioração, assim diminuindo sua resistência, além de se expandir ou contrair conforme seu teor de umidade. Outro fator está na proporção de vasos e canais secretores, sendo que uma alta proporção gera pontos fracos. (BACELLAR, 2010).

A madeira do coqueiro pode ser classificada como uma madeira macia devido a suas propriedades mecânicas, sendo elas expostas na tabela 10.

Tabela 10 – Propriedades mecânicas da madeira de coqueiros

Tensão máxima em flexão (MPa)	Tensão máxima em compressão (MPa)	Tensão máxima em cisalhamento (MPa)	Módulo de elasticidade em flexão (GPa)	Deformação máxima em flexão (%)	Densidade (kg/m ³)	Desgaste médio por abrasão (%)
83 ± 11	45,5 ± 11	10,7 ± 11	10 ± 1	2 ± 0,5	956,6 ± 36	19,8 ± 2,9

Fonte: Adaptado de Coconut Palm Stem Processing - Technical Handbook (1996) e Caracterização Microestrutural E Mecânica De Resíduos Da Agroindústria – Tese (2013)

Ao contrário dos coqueiros, não há na literatura estudos detalhados referentes as propriedades mecânicas das madeiras do açazeiro, buritizeiro, carnaubeira e ao babaçu. Contudo tem-se que a resistência média do estipe do açazeiro à compressão paralela às fibras é de 26,21 MPa (VIEIRA; FERREIRA; BALBONI, 2017).

2.2 Colheita realizada em palmeiras

Existem diversas formas de colheita empregadas atualmente a fim de coletar os frutos de árvores da família *Arecaceae*, sendo estas subdivididas pelo grau de mecanização do processo. A escolha do método utilizado no processo de colheita depende de diversos fatores como finalidade do fruto, gênero e variedade da planta, clima e tradições locais, onde as formas de apanhar os frutos disponíveis colheita manual; colheita semi-mecanizada; colheita mecanizada.

Entre os métodos de coleta, a colheita manual é a que possui o menor nível de integração tecnológica, sendo realizada em alguns locais através da coleta animal, mas normalmente por meio da escalada sobre o tronco da árvore. A colheita semi-mecanizada envolve o emprego da tecnologia por meio de veículos que possuem a capacidade de auxiliar os coletores. Normalmente os eleva até onde se localizam os frutos, já a colheita mecanizada são sistemas de colheita automáticos, equipamentos que realizam o processo sendo controlados a distância por um operador (FERREIRA; TATTO, 2018).

2.2.1 Colheita manual

Alguns países asiáticos como Tailândia, Sri Lanka e Indonésia utilizam macacos para realizar a colheita de coco, como ilustra a Figura 16. Esses animais são treinados desde filhotes para realizar esse serviço, no qual sobem na árvore até onde se encontram os frutos, com suas patas eles torcem o fruto para separá-lo da árvore e o direcionam a seu adestrador, levando ou jogando.

Figura 16 – Colheita de coco realizada por macaco



Fonte: Mykindcloset (2020)

Contudo esse método tem pontos negativos, como a baixa eficiência, uma vez que se colhe um a um os frutos, demorando dias para colher a mesma quantidade que o homem demora uma hora. Além disso as questões jurídicas e éticas que rogam sobre a exploração animal, por exemplo a PETA (organização Pessoas Pelo Tratamento Ético dos Animais) atua incentivando que as empresas e comércios boicotem produtores que optem por esse método (ARIOCH, 2020).

A colheita de frutos caídos só é realizada com os frutos de casca grossa como Coco maduro, Buriti e Babaçu. Apesar de ser o método mais econômico e prático, possui diversos aspectos negativos, como a perda de fruto devido a danos oriundos da queda e ocultação dos frutos pela vegetação, somado a isso tem-se o fato de ao optar por esse método, não se inspeciona a copa da árvore, logo não é possível localizar, um possível ataque de praga ou doenças (FERREIRA; TATTO, 2018).

A colheita por escalada é a mais empregada a nível mundial, no intuito de se colher frutos de palmeiras. Contudo trata-se do método que traz mais riscos à saúde humana, devido ao risco de queda durante a operação. Somado a isso têm-se a baixa eficiência do processo, quando comparado aos sistemas de colheita semi-mecanizados, devido ao tempo gasto para realizar a escalada da árvore.

O emprego da tecnologia neste tipo de colheita está voltado a segurança do colhedor, sendo dispositivos como cintos, cordas, estruturas de apoio entre outras, afim de minimizar o risco de queda, compreendendo a maioria das patentes desenvolvidas para a colheita de frutos em árvores da família Arecaceae. Como mostra na Figura 17 o operador escala o tronco da árvore até a altura onde se encontra o cacho desejado. Com um auxílio de algum objeto cortante, como faca ou foice, eles os cortam e dependendo do peso e do tipo de fruto pode largá-lo em queda livre ou transportá-lo ao solo.

Figura 17 – Colheita de açaí por escalada do tronco da árvore



Fonte: Blog do Evandro (2013)

Outro método de colheita é a operação por vara, sendo necessário de dois a três funcionários onde um operário é responsável pelo corte, sendo este o que escolhe o cacho a ser cortado e posicionar a foice, outro responsável por controlar a velocidade de queda os frutos por intermédio de um dispositivo, como ilustra a Figura 18.

Figura 18 – Colheita de coco por meios de varas



Fonte: Kawahara. Y (2017)

Esse método apesar de manter os funcionários no chão, traz riscos de danificar os frutos colhidos caso a velocidade de queda não seja bem controlada e apesar de ser mais rápido do que o método de coleta necessita de mais funcionários para a operação. Além disso, esse método tem limitações na altura máxima de colheita, pois dependem do comprimento das varas usadas e têm-se que quanto maior elas forem, mais esforços mecânicos, como flexão e fadiga, elas sofreram além do fato de se tornarem de difícil manuseio (KAWAHARA, 2017).

2.2.2 Colheita semi-mecanizada

Na colheita semi-mecanizada há o emprego da tecnologia a fim de elevar o operador até onde se encontram os cachos a serem colhidos, assim otimizando o tempo, visto que normalmente essas plataformas são mais rápidas que o operador escalando o tronco da árvore, contudo ambos métodos ainda possuem o risco de queda ao submeter o operador a trabalhar em uma altura considerável em relação ao solo.

Pode-se classificar as máquinas terrestres existentes com o propósito de colheita de frutos em palmáceas, em sistemas de elevação com estrutura articulada, que realiza o processo de elevação através de braços com juntas rotativas (Figura 19). Contudo esse sistema possui problemas como a baixa velocidade de elevação, a baixa manobrabilidade do conjunto e a perda de estabilidade ao se carregar o sistema com frutos colhidos e/ou operadores.

Figura 19 – Sistema de elevação proposto por Fadel



Fonte: Adaptado de Fadel (2005)

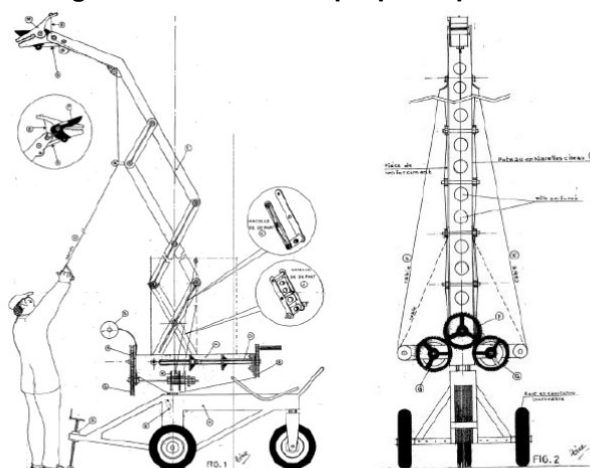
Nas máquinas classificadas em sistemas de elevação com estrutura telescópica o processo de elevação é realizado através de sistemas de peso e contra peso (Figura 20), entretanto esse equipamento possuem uma estrutura muito pesada, somado a isso a baixa manobrabilidade do conjunto e a baixa velocidade de elevação. Por fim têm-se o sistema de elevação com plataformas de tesouras. Estes são menores e mais leves do que os outros sistemas descritos, apesar de serem mais lento na elevação é o mais utilizado devido a simplicidade e o baixo custo, conforme apresentado na Figura 21 (KAWAHARA, 2017).

Figura 20 – Sistema de elevação com plataforma em “U”



Fonte: Kawahara. Y (2017)

Figura 21 – Colhedora proposta por Zine



Fonte: ZINE (2011)

Além das máquinas terrestres, existem as máquinas com sustentação na árvore, que se utilizam do próprio tronco para sustentação da máquina. Graças a esse fato é possível realizar uma diminuição do tamanho e peso do equipamento, por conseguinte diminuir os custos de produção e obter uma maior aceitação no mercado. Esse tipo de equipamento normalmente utiliza rolos ou garras com acionamento hidráulico para realizar a acoplagem e escalada da árvore, como ilustra a Figura 22. Entretanto o peso do equipamento deve ser dimensionado afim de evitar danos ao torno da árvore, como a flambagem.

Figura 22 – Máquina de elevação proposto por Keramat Jahromi *et al*

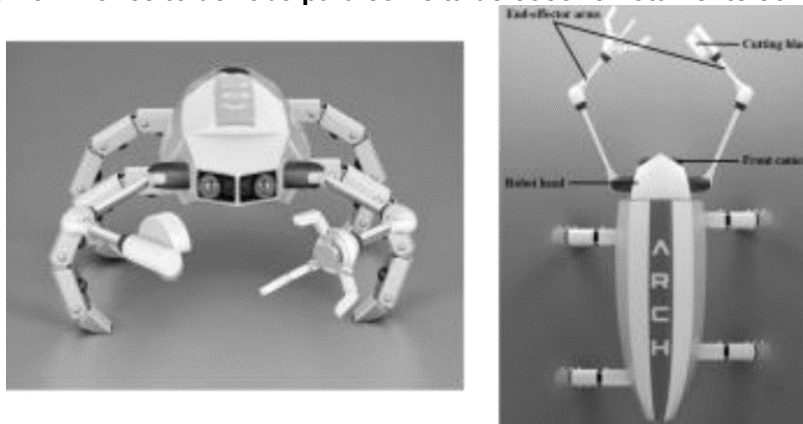


Fonte: KERAMAT. J, *et al.* (2008)

2.2.3 Colheita mecanizada

Na colheita mecanizada a tecnologia é empregada afim de automatizar a colheita e permitir o controle remoto da operação. Com isso não há mais o risco de queda para o operador. Normalmente consiste em sistema de sustentação na árvore por intermédio de garras ou rolos controlados remotamente. A Figura 23 traz um exemplo de equipamento para a colheita mecanizada. Apesar da diminuição dos riscos à saúde do operador esse método ainda é muito novo e caro devido à complexidade dos equipamentos, além de não ter uma boa velocidade de elevação (FERREIRA; TATTO, 2018).

Figura 23 – Conceito de robô para colheita de coco remotamente controlado



Fonte: ABRAHAM, et al. (2014)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico foram descritos os procedimentos necessários para a obtenção de dados essenciais para o desenvolvimento desse trabalho e posteriormente como eles foram analisados a fim de se obter os resultados esperados para o trabalho.

3.1 Ensaio mecânicos

Realizou-se um ensaio de compressão axial em alguns frutos oriundos de palmeiras. Foram escolhidos os cocos verde e seco, tendo em vistas que estes são os frutos, entre os demais, que mais movimentam o mercado. Tal ensaio teve como objetivo determinar a energia, velocidade e altura máxima da qual o fruto possa cair no solo sem se danificar.

Para o ensaio foi utilizado no mínimo três frutos de cada gênero como corpo de prova e uma máquina de tração universal, presente no laboratório da engenharia mecânica da universidade tecnológica federal do Paraná (UTFPR), campus Pato Branco – PR.

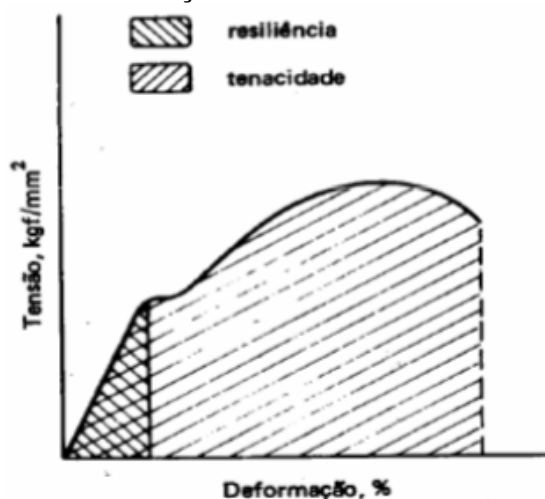
Optou-se por esse ensaio, pois devido às dimensões dos frutos não foi possível realizar o ensaio de impacto com o equipamento disponibilizado no laboratório da UTFPR, desta forma pôde fazer uma medida indireta de energia de deformação necessária para iniciar o rompimento do fruto, dados obtidos com a análise do gráfico força - deslocamento oriundo da máquina de tração universal.

Para tal análise foi usado o arquivo de resultados fornecido pelo equipamento, onde esse contém os dados dos pontos de força e deslocamento medidos. Os dados foram exportados para o software EXCEL e transformados em um gráfico de dispersão, assim se obtendo a equação polinomial que o melhor representa, por fim através de integração numérica das funções geradas são obtidos os valores do trabalho realizado pela máquina de tração para romper cada um dos corpos de prova.

Tenacidade se define como a energia necessário para causar a ruptura de um corpo e pode ter seu valor aproximado através da integral da equação que melhor representa a curva tensão x deformação, pois tem-se que a tenacidade (U_t) e

equivalente a área abaixo do gráfico tensão x deformação (Serighelli; Turra; José, 2016). Através da Equação 1 determina-se o trabalho realizado pela máquina, sendo que o trabalho W_{mi} é dado em Joule (J), com isso pode-se correlacioná-lo com a tenacidade do corpo de prova U_{ti} que também é dado em Joule (J), o que é demonstrado na Equação 2 e ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Gráfico tensão – deformação com áreas de tenacidade e resiliência destacados



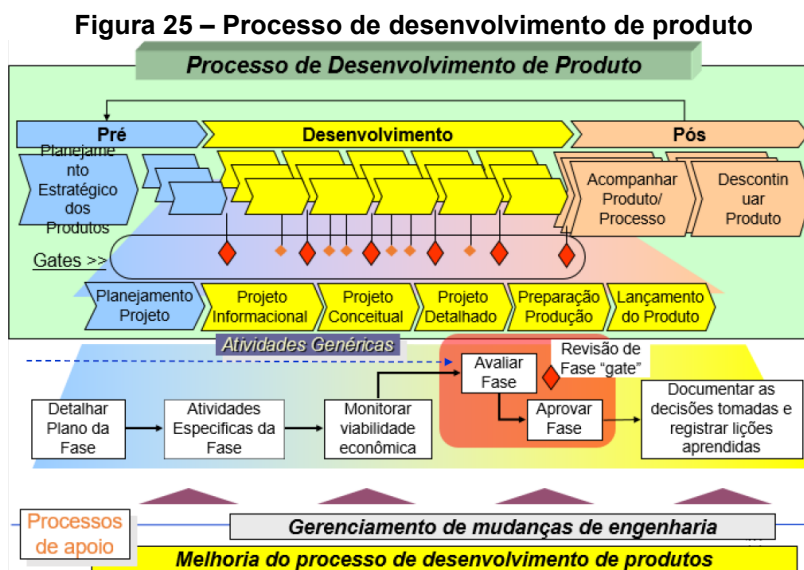
Fonte: universidade estadual de feira de santana curso de engenharia civil departamento de tecnologia materiais de construção; Materiais metálicos aula 5 - Profª. Cintia Maria Ariani Fontes (2015)

$$W_{mi} = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx \quad (1)$$

$$U_{ti} \cong W_{mi} \quad (2)$$

3.2 Visita técnica

Existem diversas metodologias para o desenvolvimento de um produto. Contudo aborda-se a metodologia proposto por Rozenfeld et al. (2006), que é utilizada neste trabalho para o desenvolvimento do coletor dos frutos de palmeiras. Este modelo é dividido em três macro etapas e subdividido em etapas menores com suas respectivas atividades como mostra a figura 25.



Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

Este trabalho foca-se na etapa de desenvolvimento do produto, especificamente nas etapas de projeto informacional e conceitual. Conforme Rozenfeld *et al.* (2006) temos que as atividades desenvolvidas no projeto informacional são:

- Realizar e revisar o escopo do produto: Nesta fase realiza-se uma pesquisa de produtos similares e concorrentes, também se pesquisa patentes e normas relacionadas a aplicação do equipamento;
- Definir que são os clientes e o ciclo de vida do produto: Nesta etapa se realiza uma pesquisa de mercado com a finalidade de se encontrar os clientes para o produto desenvolvido;
- Identificar os requisitos dos clientes: Nesta etapa realiza-se uma coleta de dados através de entrevistas, questionários, observações diretas e grupos focais no intuito de determinar as necessidades dos clientes;
- Definir os requisitos do produto: Converte-se as necessidades dos clientes em requisitos de produto, através do agrupamento e classificação das necessidades somada a uma posterior análise e conversão para termos mensuráveis;
- Definir especificações metas: Dado pela determinação e atribuição dos valores limites para os termos mensuráveis;

Para o projeto conceitual temos as seguintes tarefas:

- Definir os efeitos físicos: Deve-se descrever detalhadamente cada função e processo realizado pelo equipamento a fim de que este realize a sua operação com êxito;

- Definir os portadores dos efeitos físicos: Dados os processos realizados pelo equipamento deve-se obter o maior número de componentes químicos, mecânicos e/ou elétricos que possuem a capacidade de realizar as funções necessárias para a operação da máquina;
- Definir o princípio de solução: Com as funções definidas e os componentes que as realizam cotados, elabora-se a matriz morfológica, na qual a união das funções com seus respectivos componentes determina uma solução;
- Definição da ergonomia e estética do produto: Esta etapa foca-se no esboço e designer do princípio de solução adotado;

Com a finalidade de se obter as contribuições dos clientes para o projeto, buscou-se primeiramente obter as informações de contato de produtores de alguma das culturas estudadas nesse trabalho, através do contato com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), mais especificamente com a EMBRAPA Tabuleiros costeiros que é a filial responsável pelo setor de fruticultura, abrangendo assim os frutos provenientes de árvores da família *Arecaceae*.

Tendo estes dados, foi possível contatar um produtor, a fim de agendar uma visita a sua propriedade. A visita técnica foi realizada no sítio do Mel na cidade de Marilena-PR no mês de julho de 2019 e ilustrada na Figura 26.

Figura 26 – Visita técnica a uma propriedade produtora de cocos



Fonte: Autoria própria (2019)

O intuito da visita foi observar o processo de colheita a fim de encontrar detalhes não descritos na literatura. Ademais realizou-se uma pesquisa com o produtor para verificar sua aceitação quanto ao produto. Foram indagadas as seguintes questões:

- Quais as dificuldades que você identifica na hora da colheita?
- Qual a sua opinião referente a existência de um equipamento que realiza-se o processo de colheita?
- Quais as características que esse equipamento teria que ter para lhe agradar?
- O quanto você estaria disposto a pagar por esse equipamento?
- Como você vê a aceitação desse produto pelo seu setor?

Com base nas respostas do produtor foi utilizado a metodologia de Rozenfeld et al. (2016) do processo de desenvolvimento de produto a fim de definir os requisitos do produto, nesse processo as necessidades dos clientes foram identificadas, classificadas em aspectos técnicos e valorados tornando-se requisitos do cliente, por fim estes são convertidos em expressões mensuráveis, ou seja, os requisitos do produto que são explicitados posteriormente na seção 4.

3.3 Pesquisa de anterioridade

Com a pesquisa de anterioridade foi possível encontrar patentes de mecanismos similares ao equipamento proposto por esse trabalho, afim de delimitar o que se pode fazer, patentes que já caíram em domínio público devido ao tempo, o que não se pode fazer, evitar infringir as patentes vigentes atualmente, por fim identificar o que há de inovador no projeto, proposta ainda não encontrada na literatura.

Esta pesquisa foi realizada através de mecanismos de buscas como o Google patents e a plataforma Orbit, disponibilizada pela incubadora de empresas da universidade federal do Paraná (UTFPR), campus Pato Branco – PR. Foram utilizadas as seguintes palavras chaves para a buscas: Tree (Árvore); Palm (Palmeira); Coconut (Coco); Açaí (Açaí); Buriti (Buriti); Carnauba (Carnaúba); Babassu (Babaçu); Harvest (Colheita); Climb (Escalar); Mechanism (Mecanismos); System (Sistema); Traverse (Percorrer); Tube (Tubo); Cylinder (Cilindro); Manufacture (Manufatura), Concert (Concerto); Agronomy (Agronomia); Tractor (Trator); Implement (Implemento).

Através do sistema de busca avançada que essas plataformas possuem é possível correlacionar as palavras chaves afim de encontrar exclusivamente equipamentos e/ou implementos agrícolas para a colheita de frutos em palmeira e equipamentos de manufatura que tem o princípio de funcionamento similar ao proposto.

Além das patentes, buscou-se conteúdos audiovisuais que elucidaram de forma mais clara as ideias apresentadas nas patentes e também possibilitaram a análise comparativa entre alguns dos distintos equipamentos existentes para a colheita de frutos de arvores da família *Arecaceae*. Por intermédio da plataforma do Youtube foi possível localizar e visualizar o funcionamento de diversos métodos de colheita, com o intuito de analisar aspectos como tempo de operação, quantidade de operadores, espaço necessário para a operação e risco envolvido na operação. Através das palavras chaves “Colheita; máquina; coco; coqueicultura”, somados as palavras do inglês “Coconut; harvest; machine; climber”.

3.4 Desenvolvimento do conceito do produto

Esta etapa tem como pré-requisitos os dados oriundos dos ensaios mecânicos, os requisitos do produto determinados pelo questionário aplicado na visita técnica e as limitações existente por questões legais de patente encartadas na busca de anterioridade. Devido a isso, esta é a última etapa a ser desenvolvida nesse trabalho.

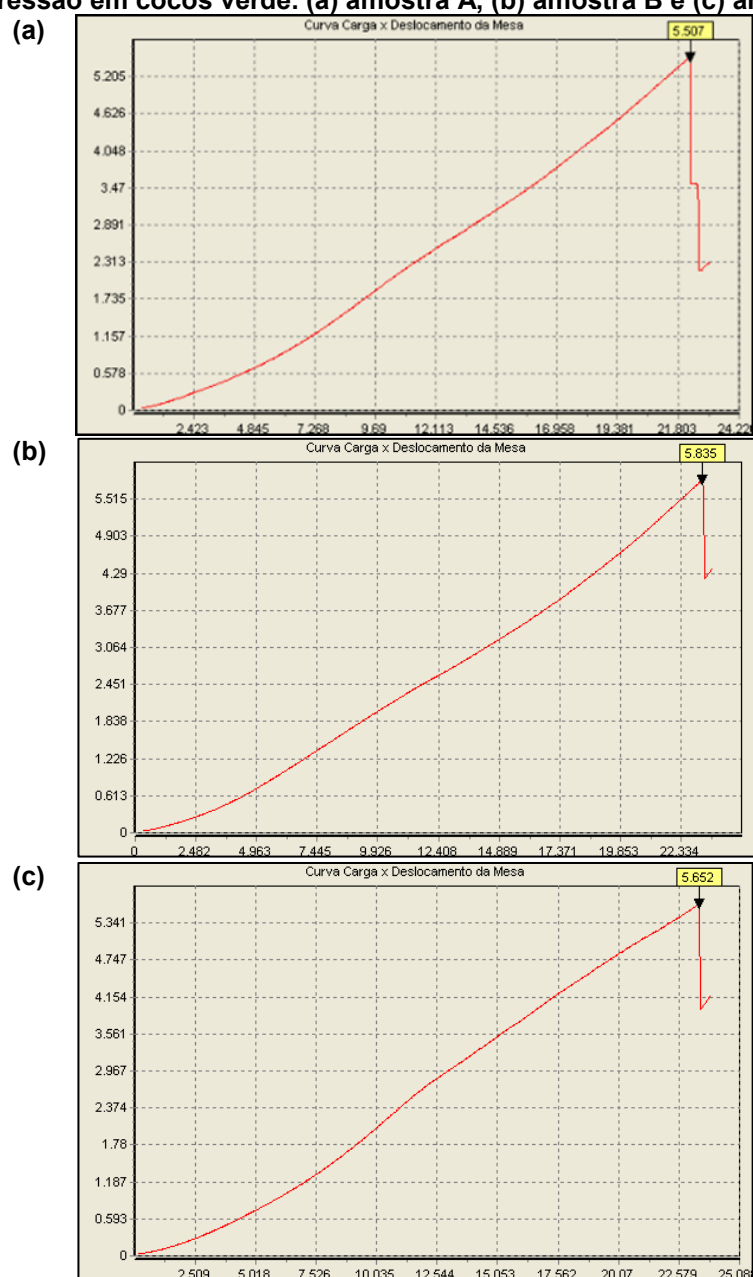
De posse dos dados das etapas anteriores, determinou-se quais sistemas de acionamento e movimentação serão utilizados no equipamento proposto, através da análise do modelo funcional do equipamento e seus desdobramentos assim podendo realizar um esboço em 3D através do *software* de CAD SolidWorks para a verificação de aspectos visuais envolvendo o produto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades mecânicas obtidas do ensaio de compressão

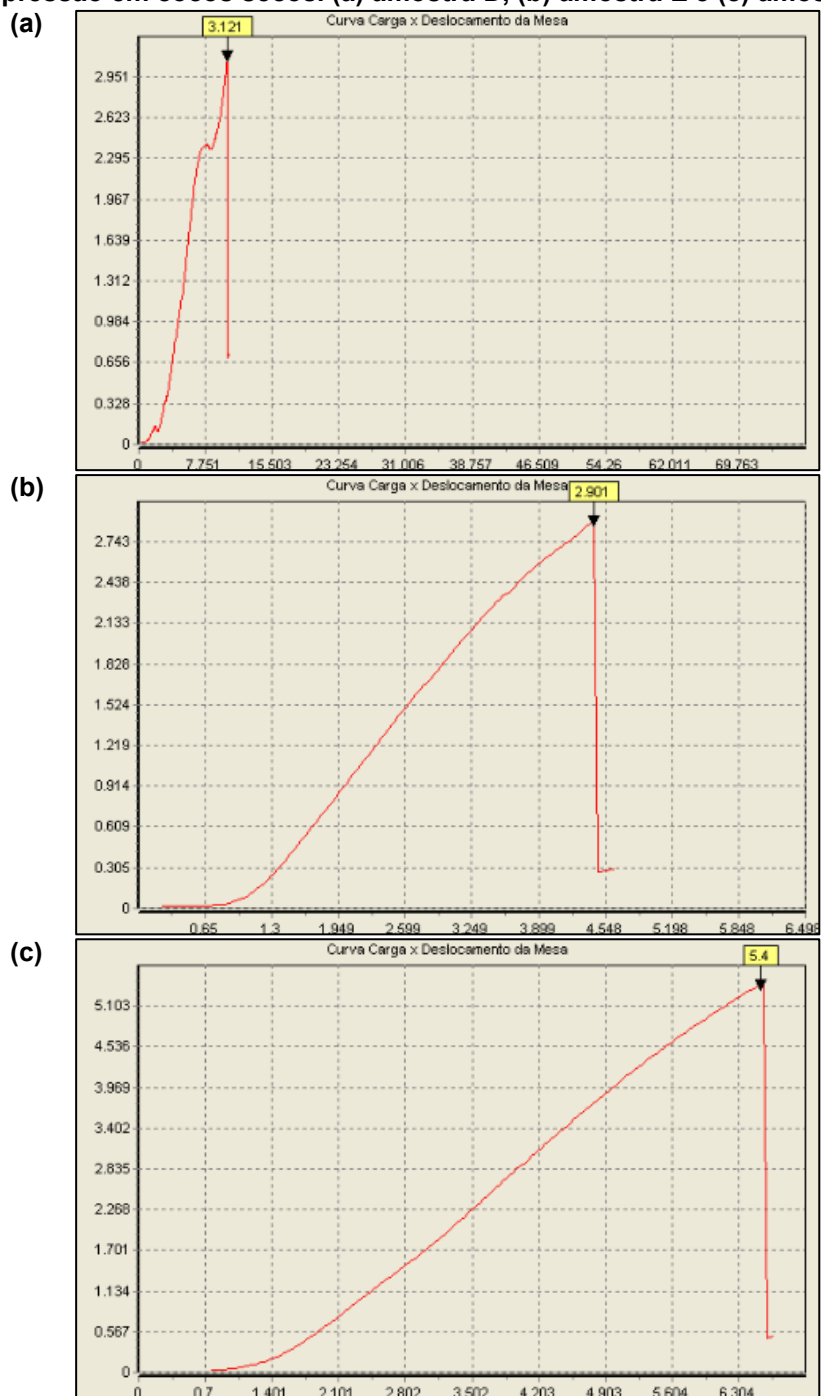
Com a realização dos ensaios de compressão se obteve os seguintes gráficos representados nas Figuras 27 e 28, onde as amostras A, B e C são referentes a cocos verdes e as amostras D, E e F referentes a cocos secos.

Figura 27 – Curvas Força de compressão (kN) x deslocamento (mm) obtidas pelos ensaios de compressão em cocos verde. (a) amostra A, (b) amostra B e (c) amostra C



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 28 – Curvas Força de compressão (kN) x deslocamento (mm) obtidas pelos ensaios de compressão em cocos secos. (a) amostra D, (b) amostra E e (c) amostra F



Fonte: Autoria própria (2019)

Exportando os dados para o software Excel aproxima-se as curvas carga x deslocamento a polinômios de grau 5 e com os dados das posições iniciais e finais do punção da máquina de tração se integra a função obtendo os dados de energia expostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Trabalho realizado pela máquina de tração para romper dos corpos de provas

Corpo de prova		A	B	C	D	E	F
Trabalho realizado para romper o fruto (J)		57,685	47,027	55,387	5,664	5,339	14,392

Fonte: Autoria própria (2021)

4.1.1 Energia de deformação e suas interpretações

Com base nos dados obtidos verifica-se que o corpo de prova F possui um valor de energia distinto das demais amostras de coco seco. Tal variação pode ser consequência do fato do coco não estar totalmente seco, sendo que o gráfico da amostra F demonstrou um comportamento similar ao do coco verde. Devido a isto este resultado não foi agregado aos cálculos de tenacidade média. Realizou-se a média dos valores obtidos, excluindo o valor da amostra F, para cada tipo de coco chegando ao resultado de que os módulos de tenacidade em média do coco verde e seco são de $U_{tmv} = 53,366$ J e $U_{tms} = 5,502$ J, respectivamente.

A partir dos valores médios de tenacidade obtidos calcula-se através do balanço de energia, Equações 3, 4 e 5 adaptadas das equações de energia potencial gravitacional e energia cinética (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), a altura máxima (H_{qmi}) da qual pode-se soltar um coco em queda livre e ele não irá se romper com o impacto com o solo e a sua máxima velocidade no momento do impacto (v_{qmi}), além da energia que deve ser dissipada (E_{qdi}) durante a queda do fruto para não danificá-lo. Salienta-se que essa análise considera um impacto inelástico onde a energia é transferida por completo ao coco.

$$H_{qmi} = \frac{U_{ti}}{m_{ci} * g} \quad (3)$$

$$v_{qmi} = \sqrt{\frac{2 * U_{ti}}{m_{ci}}} \quad (4)$$

$$E_{di} = m_{ci} * g * H_a \quad (5)$$

Conforme abordado na seção 2.1.4 temos que as massas médias para os cocos verde e seco são respectivamente $m_{cv} = 2,2$ kg e $m_{cs} = 1,4$ kg. Com a finalidade de propiciar uma melhor segurança do equipamento, adotou-se nos cálculos a

situação mais crítica, sendo esta a colheita de frutos num coqueiro gigante de 35 metros de altura. Os valores de energia, velocidade e altura de queda estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Critérios limitantes para o equipamento

	H_{qmi} (m)	v_{qmi} (m/s)	E_{qdi} (J)
Coco verde	2,473	6,96	755,37
Coco seco	0,401	2,80	480,69

Fonte: Autoria própria (2021)

Sabendo que no impacto inelástico tem-se que o corpo impactado é isento de deformação, temos que essa situação é um caso idealizado que não ocorre na prática, pois tem-se que um percentual da energia do impacto vai ser transmitida ao corpo impactado, por conseguinte a energia transferida ao fruto na hora do impacto será menor, assim a sua deformação será menor logo conclui-se que os valores obtidos de altura e velocidade são valores conversadores.

4.2 Requisitos do projeto obtidos na visita técnica

Com base nas respostas obtidas dos questionamentos citados na seção 3.2, foi possível identificar as necessidades dos clientes, sendo que as maiores dificuldades da colheita estão no risco de queda e no tempo necessário para realizar a colheita, somado a isso tem-se que as características que atraem os clientes são a facilidade de manusear, de transportar e de se realizar a manutenção, além de ser um equipamento compacto.

Outras informações obtidas foi que a colheita é a parte mais difícil da coqueicultura, sendo que a empresa que desenvolve-se um equipamento para este fim teria ampla aceitação pelo mercado, contudo o valor do equipamento deve se situar na faixa de valores dos implementos agrícolas existentes no mercado.

Conforme a metodologia de desenvolvimento de produto de Rozenfeld *et al.* (2006) se agrupa e classifica as necessidades dos clientes obtidas em quatro grupos:

- Segurança: Evitar a queda do operador e/ou dos frutos;
- Eficiência: Ter um processo de operação de colheita veloz, com tempo de operação igual ou inferior aos métodos já existentes;

- Acessibilidade: Ser um equipamento portátil e de fácil manuseio
- Compatibilidade: Ser transportado por operadores e/ou tratores de diversos modelos;

Além disso há alguns limites técnicos que a máquina proposta deve respeitar, sabendo que o espaçamento entre os coqueiros é de 7,5 m x 7,5 m. Assim as dimensões do equipamento devem ser menores que esse valor, sendo que quanto menor, melhor será a manobrabilidade do equipamento. O critério das dimensões está ligado a questão do peso, uma vez que se a máquina utilizar o tronco da árvore como apoio pode fleti-lo e danificar o coqueiro, ou caso o equipamento apoie no solo pode causar a sua compactação, em ambos os casos busca-se o menor peso possível.

Outro quesito está na velocidade do processo de colheita, uma vez que este fato irá definir o desempenho do equipamento propostos frente aos concorrentes, esse fator somado ao preço e a exigência de operadores irá determinar a boa ou má aceitação do maquinário no mercado.

Ao converter os requisitos expressados pelos clientes e limitações levantadas em expressões mensuráveis tem-se:

- Peso [kg];
- Dimensões [mm];
- Autonomia [horas];
- Velocidade (Subida) [m/s];
- Velocidade (Decida) [m/s];
- Velocidade (Posicionamento) [m/s];
- Velocidade (Corte) [m/s];
- Modo de operação (número de operadores) [pessoas];
- Materiais de baixo custo [R\$];
- Métodos de fabricação eficiente [R\$];
- Resistência do equipamento a ambientes severos;
- Sensibilidade do equipamento (Controle);
- Velocidade de processamento e transmissão de dados (Controle);
- Adaptabilidade do equipamento (Altura e diâmetros de trabalho);

4.2.1 Determinações das principais especificações-meta

Nesta seção são abordados os métodos de cálculo e considerações realizadas com a finalidade de definir valores limites para velocidades desenvolvidas pelo equipamento e seu peso máximo, além da área mínima de contato entre árvore e a máquina.

Visando diminuir o risco de queda dos operadores, o peso e dimensões do equipamento e a quantidade de operadores necessária para a operação do equipamento optou por um conceito de máquina pequena que utilize o tronco da árvore como apoio e seja controlada remotamente através de um controle.

4.2.1.1 Análise cinética

Devido a existência de métodos de colheita que realizam o processo em 2 minutos, valor definido posteriormente neste trabalho, é adotado como tempo total da colheita com $t_T = 120$ s, sendo esse tempo inicialmente dividido igualmente entre os quatro processos da operação de colheita, tempo de subida (t_s), tempo de descida (t_d), tempo de posicionamento (t_p) e tempo de corte (t_c).

Os movimentos de subida e descida estão relacionados ao ato de percorrer o troco da árvore. Com isso podemos calcular a velocidade mínima do equipamento através da fórmula da velocidade média expressa na Equação 6 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), tendo os tempos de subida e descida fixados em 30 segundos cada e adotando o caso mais severo que é a colheita num coqueiro gigante de 35 metros de altura, obtém-se que a mínima velocidade dos movimentos verticais é de $v_v = 1,167$ m/s.

$$v_v = \frac{H_a}{t_s} = \frac{H_a}{t_d} \quad (6)$$

Os movimentos de posicionamento e corte estão relacionados ao ato de percorrer um determinado diâmetro ou realizar uma rotação em torno do próprio eixo, com isso podemos calcular a velocidade mínima do equipamento através da fórmula da velocidade angular média expressa na Equação 7 e ao se adotar um diâmetro de

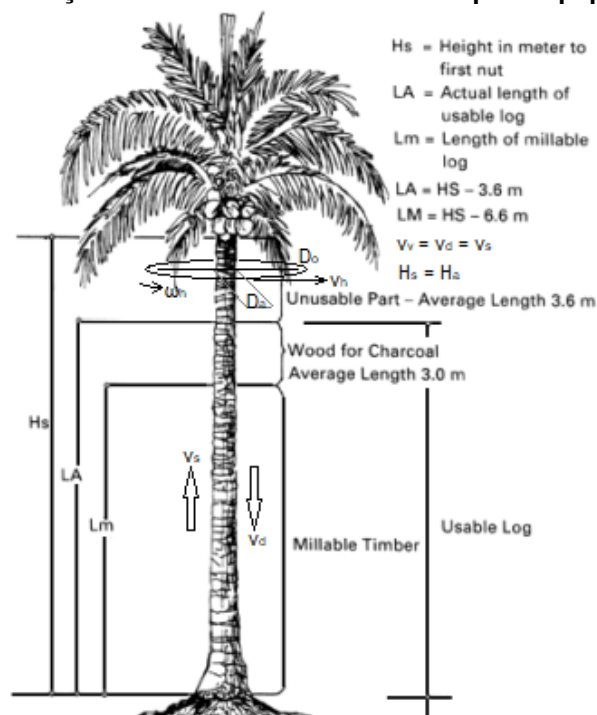
operação (D_o) para o equipamento foi possível encontrar a velocidade linear através de Equação 8 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016):

$$\omega_h = \frac{2*\pi}{t_p} = \frac{2*\pi}{t_c} \quad (7)$$

$$v_h = \frac{\omega_h * D_o}{2} \quad (8)$$

Sabendo que o diâmetro de um coqueiro (D_a) está entre 20 a 30 centímetro, adota-se um diâmetro de operação (D_o) de 0,5 metros e para representar o pior caso um deslocamento angular de 360° , assim se obteve uma velocidade angular mínima de 0,21 rad/s e uma velocidade tangencial de 0,19 km/h. A Figura 29 representa de forma esquematizada as variáveis obtidas e adotadas.

Figura 29 – Esquematização dos movimentos realizados pelo equipamento no coqueiro



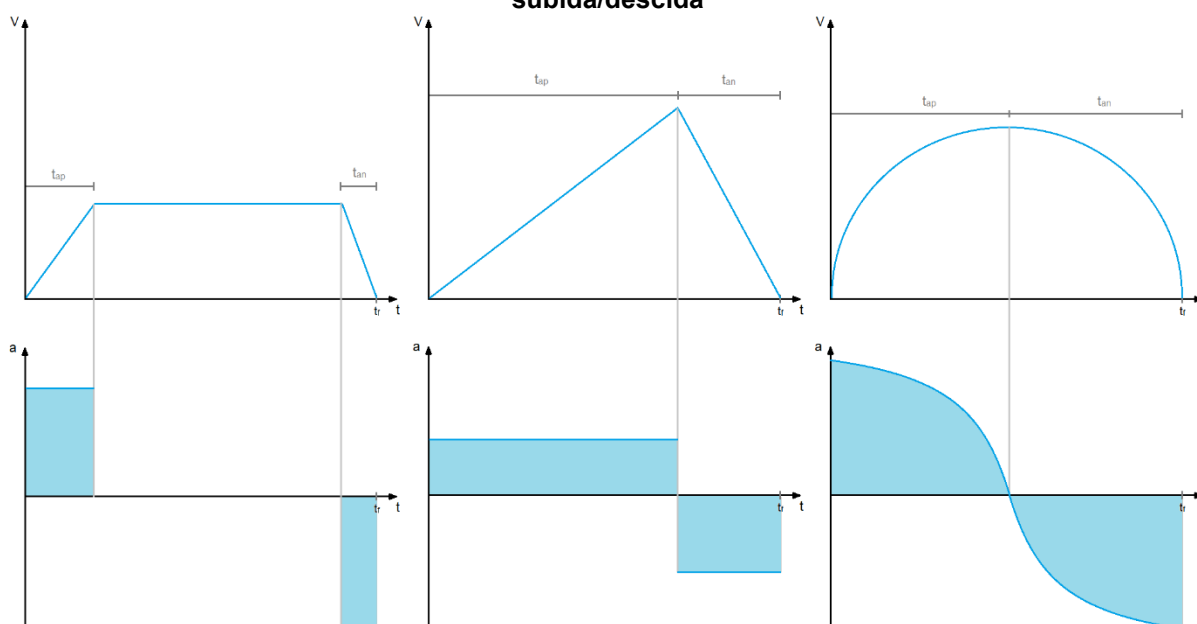
Fonte: Adaptado de Coconut Palm Stem Processing - Technical Handbook (1996)

A velocidade mínima (v_v) calculada anteriormente trata-se de uma velocidade média, ou seja ela representa somente o valor médio da função e não o comportamento da velocidade de subida do equipamento ao longo do tempo, aproxima-se este comportamento através da Equação 9 (Adaptado STEWART, 2017).

Sabendo que o equipamento parte do repouso e ao chegar a copa da árvore retorna ao repouso temos algumas formas do possível comportamento da velocidade e aceleração do equipamento ilustrados na Figura 30.

$$v_v = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_i}^{t_f} v(t) dt \quad (9)$$

Figura 30 – Distintos comportamentos da velocidade e aceleração ao longo do movimento de subida/descida



Fonte: A parte superior representa gráficos de velocidade x tempo e a parte inferior representa gráficos da aceleração por tempo, onde da esquerda para a direita tem-se a velocidade em comportamento trapezoidal, triangular e senoidal. Autoria própria (2021)

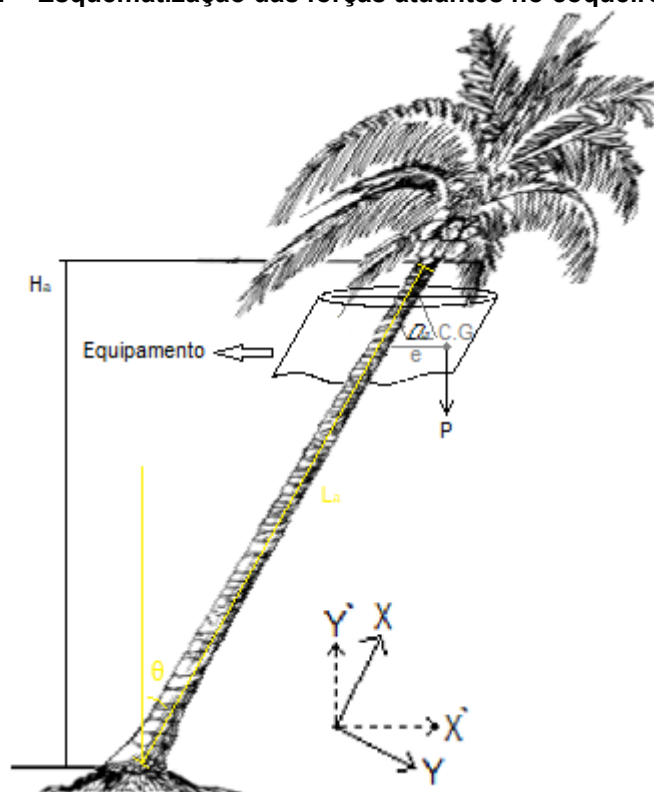
4.2.1.2 Análise estática

Para encontrar o valor aproximado do máximo valor da massa que o equipamento deve ter afim de não danificar a árvore durante o processo de colheita adotou-se algumas considerações, sendo elas descritas a seguir e ilustradas na Figura 27:

- A altura do centroide do equipamento coincide com a altura da árvore (H_a), medida do início do tronco até a altura onde se encontra o primeiro fruto.

- A base da árvore será considerada como um engaste, o que restringe movimento em ambos os eixos e a rotação sobre a base.
- O peso próprio da árvore não será considerado com a finalidade de facilitar os cálculos, contudo adota-se um coeficiente de segurança (F.S) de modo a diminuir a disparidade entre o valor calculado e o valor que ocorrerá na prática.
- Para uma inclinação do tronco $\theta = 0^\circ$ temos que ocorrerá flambagem na árvore, para inclinações diferentes, ocorrerá flexão do tronco.
- A madeira da árvore, por motivos de simplificação, foi considerada como um material homogêneo, linear e isotrópico.

Figura 31 – Esquematisação das forças atuantes no coqueiro inclinado



Fonte: Adaptado de Coconut Palm Stem Processing - Technical Handbook (1996)

Pela regra do Z para ângulos internos tem-se que o ângulo formado entre a linha de comprimento do tronco (L_a) e a direção de aplicação da força peso (P) é equivalente ao ângulo de inclinação do tronco (θ), com isso podemos representar o diagrama de corpo livre conforme a Figura 32 e desta maneira calcular a componente da força peso em x (P_x), em y (P_y) e o momento devido a distância entre o centroide

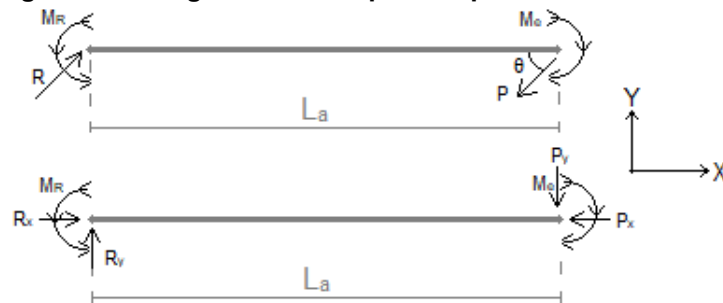
do equipamento e a linha neutra do tronco da árvore (M_e) através das Equações 10, 11 e 12, respectivamente.

$$P_x = P * \cos \theta \quad (10)$$

$$P_y = P * \sin \theta \quad (11)$$

$$M_e = P * e \quad (12)$$

Figura 32 – Diagramas de corpo livre para o caso estudado



Fonte: Autoria própria (2021)

Encontrou-se as resultantes na base da árvore através do somatório de forças nos eixos X e Y, somado de um somatório de momentos na base da árvore se obtendo as seguintes fórmulas 13, 14 e 15.

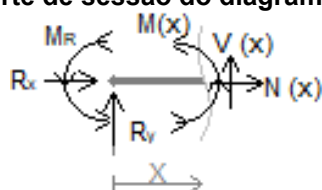
$$R_x = P_x \quad (13)$$

$$R_y = P_y \quad (14)$$

$$M_R = M_e + L_a * P_y \quad (15)$$

Para determinar as equações da força normal (N), força cortante (V) e momento fletor (M) se realiza o corte representado na Figura 33 e através dos cálculos de somatório de forças e momentos na posição do corte se obtém as equações 16, 17 e 18, deste modo obtendo os gráficos 1, 2 e 3.

Figura 33 – Corte de sessão do diagrama de corpo livre



Fonte: Autoria própria (2021)

$$N(x) = -R_x = -P \cdot \cos \theta \quad (16)$$

$$V(x) = -R_y = -P \cdot \sin \theta \quad (17)$$

$$M(x) = R_y \cdot x - M_R = P \cdot (\sin \theta (x - L_a) - e) \quad (18)$$

Gráfico 1 – Diagrama de esforço normal



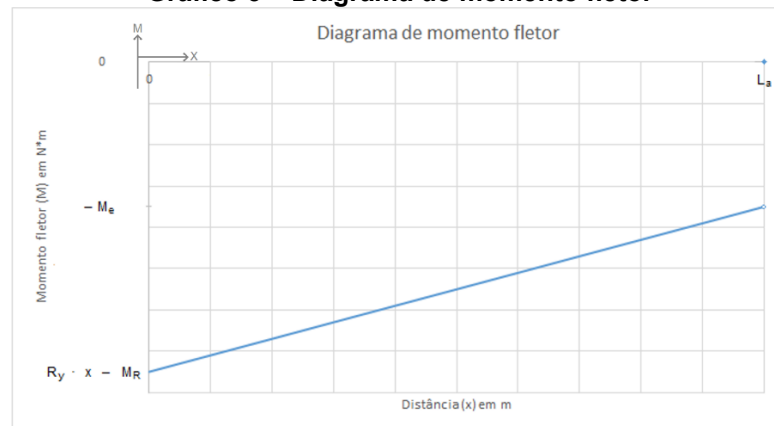
Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 2 – Diagrama de esforço cortante



Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 3 – Diagrama de momento fletor



Fonte: Autoria própria (2021)

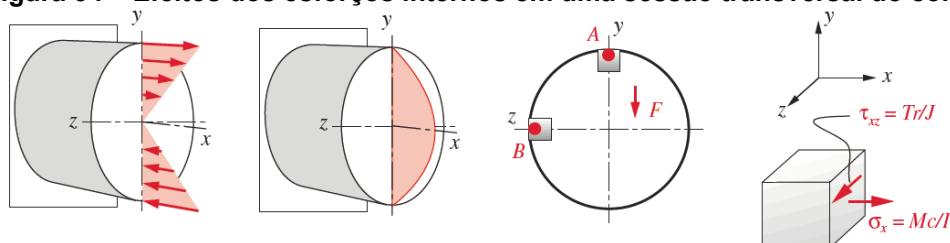
De posse dos diagramas de esforços internos, conclui-se que a região de maior sollicitação é a base da árvore, tendo como base nas fórmulas de tensão normal de compressão (Equação 19), tensão de flexão (Equação 20) e tensão de cisalhamento (Equação 21) podemos definir, ao olhar um corte transversal sobre o tronco, os pontos A e B, representado na Figura 34, como os pontos críticos (Norton, 2013).

$$\sigma_{cx} = \frac{F}{A} \quad (19)$$

$$\sigma_{fx} = \frac{-M \cdot c}{I} \quad (20)$$

$$\tau_{xy} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \quad (21)$$

Figura 34 – Efeitos dos esforços internos em uma sessão transversal do corpo



Fonte: Compilação do autor (2020)²

² Da esquerda para a direita tem-se: Distribuição da tensão normal de flexão em uma seção transversal; Distribuição da tensão de cisalhamento devido à força cortante em uma seção transversal; Dois pontos de interesse para cálculos de tensões; Elemento infinitesimal de tensão. Adaptado Norton (2013)

No ponto A existe somente as tensões normais de compressão e flexão, desta forma partindo da formula da tensão de von misses para o estado plano de tensões (Equação 22) temos:

$$\sigma_{va} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 * \tau_{xy}^2} = \sigma_x = \sigma_{cx} + \sigma_{fx} \quad (22)$$

Já no ponto B atuam as tensões normais de compressão e a tensão de cisalhamento, desta forma partindo da formula da tensão de von misses temos (Equação 23):

$$\sigma_{vb} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 * \tau_{xy}^2} = \sqrt{\sigma_{cx}^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \quad (23)$$

Para o caso estudado nesse trabalho tem-se que a força F é equivalente a força P_x, além de que a distância c iguala-se à distância do raio da circunferência do tronco (D_a/2), somado a isso tem-se as Equações 24, 25 e 26 representando a força peso, área transversal do tronco e o seu momento de inércia, respectivamente (Norton, 2013).

$$P = m_e * g \quad (24)$$

$$A_{ta} = \frac{\pi * D_a^2}{4} \quad (25)$$

$$I_{ta} = \frac{\pi * D_a^4}{64} \quad (26)$$

Realizando as substituições nas equações 22 e 23 chegamos nas Equações 27 e 28, respectivamente.

$$\sigma_{va} = \frac{F}{A} - \frac{M * c}{I} = \frac{4}{\pi * D_a^2} * \left[N - \frac{8 * M}{D_a} \right] \quad (27)$$

$$\sigma_{vb} = \sqrt{\left(\frac{F}{A} \right)^2 + 3 * \left(\frac{V * Q}{I * t} \right)^2} = \frac{4}{\pi * D_a^2} * \left[\sqrt{N^2 + \frac{64 * V^2}{3}} \right] \quad (28)$$

Substituindo as equações de força normal (N), força cortante (V) e momento fletor (M) nas equações 27 e 28, obteve-se as equações 29 e 30, respectivamente.

$$\sigma_{va} = \frac{4*g*m_e}{\pi*D_a} * \left[\left(-\frac{8}{D_a} \right) * (\text{sen } \theta * (x - L_a) - e) - \cos \theta \right] \quad (29)$$

$$\sigma_{va} = \frac{4*g*m_e}{\pi*D_a} * \left[\sqrt{\cos^2 \theta + \frac{64}{3} * \text{sen}^2 \theta} \right] \quad (30)$$

De posse dos equacionamentos da tensão de von misses atuante no caso estudado, pode-se adotar dois critérios de falhas, sendo a máxima tensão admissível (Equação 31) e a máxima deformação admitida (Equação 32). (Norton, 2013). Avaliando a tensão de von misses para $x = 0$ no ponto A de acordo com os dois critérios e posteriormente o mesmo processo com o ponto B se obtém as Equações 33, 34, 35 e 36, respectivamente.

$$\sigma_{ad} = \sigma_v = \frac{\sigma_{mf}}{F.S} \quad (31)$$

$$\varepsilon_{ad} = \frac{\sigma_{ad}}{E_a} = \frac{F.S*\sigma_v}{E_a} = \varepsilon_{mf} \quad (32)$$

$$m_e = \frac{\pi*\sigma_{mf}*D_a^2}{4*g*F.S*\left[\left(-\frac{8}{D_a}\right)*(e+H_a*\tan \theta)-\cos \theta\right]} \quad (33)$$

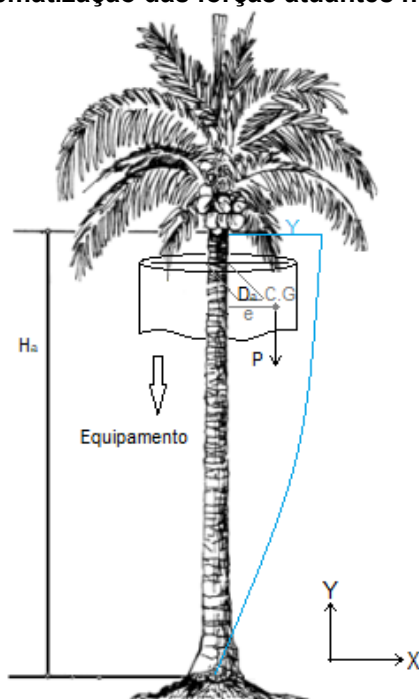
$$m_e = \frac{\pi*\varepsilon_{mf}*E_a*D_a^2}{4*g*F.S*\left[\left(-\frac{8}{D_a}\right)*(e+H_a*\tan \theta)-\cos \theta\right]} \quad (34)$$

$$m_e = \frac{\pi*\sigma_{mf}*D_a^2}{4*g*F.S*\left[\sqrt{\cos^2 \theta + \frac{64}{3}*\text{sen}^2 \theta}\right]} \quad (35)$$

$$m_e = \frac{\pi*\varepsilon_{mf}*E_a*D_a^2}{4*g*F.S*\left[\sqrt{\cos^2 \theta + \frac{64}{3}*\text{sen}^2 \theta}\right]} \quad (36)$$

No caso onde a inclinação do coqueiro é nula (Figura 35), analisa-se o troco da árvore sobre o critério de flambagem, como o centro de massa do equipamento não é coincidente com a linha neutra do tronco da árvore se utilizou o método da secante para o cálculo máxima tensão de compressão (Equação 37).

Figura 35 – Esquemática das forças atuantes no coqueiro reto (1)



Fonte: Adaptado de Coconut Palm Stem Processing - Technical Handbook (1996)

$$\sigma_{ad} = \frac{P}{A} * \left[1 + \frac{e * c}{k^2} * \frac{1}{\cos\left(\frac{L}{k} * \sqrt{\frac{P}{4 * E * A}}\right)} \right] \quad (37)$$

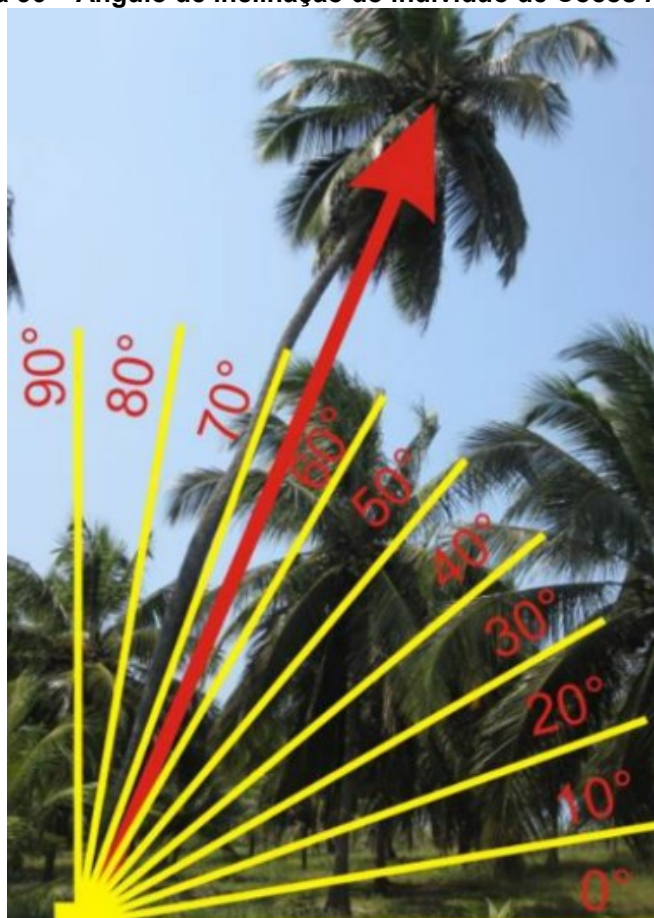
Para o caso deste trabalho o comprimento efetivo é o dobro do valor do comprimento do tronco do coqueiro ($L = 2 * L_a$) e o raio de giração (k) da área formada ao se realizar um corte transversal no tronco da árvore é dado pela Equação 38 (Norton, 2013), deste modo é determinada a massa máxima do equipamento através da Equação 39, contudo verifica-se que ao contrário das demais equação obtidas para me esta trata-se de uma equação implícita, o que induz um grau maior de dificuldade para sua resolução.

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{D_a}{4} \quad (38)$$

$$m_e = \frac{\pi \cdot \sigma_{mc} \cdot D_a^4}{4 \cdot g \cdot F \cdot S \cdot \left[1 + \frac{8 \cdot e}{D_a \cdot \cos \left(\frac{8 \cdot H_a}{D_a^2 \cdot \cos \theta} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot m_e}{\pi \cdot E \cdot a}} \right)} \right]} \quad (39)$$

Sabendo que a velocidade dos ventos e sua direção de incidência sobre o coqueiro durante o seu crescimento influenciam no diâmetro do tronco e sua inclinação (MELO et al, 2013) adotou-se para os cálculos de flexão uma inclinação de 50°, como ilustrado a Figura 36, além disso se utilizou os dados de resistência mecânica expostos na tabela 12 e os valores de diâmetro e altura para os casos mais críticos sendo respectivamente $H_a = 35$ m, $D_a = 25$ cm e $H_a = 25$ m, $D_a = 19,8$ cm para um coqueiro e um açazeiro, deste modo obtendo que a massa máxima que o equipamento deve possuir conforme a posição do seu centroide, valores que são expostos na Tabela 13.

Figura 36 – Ângulo de inclinação do indivíduo de *Cocos nucifera*



Fonte: Adaptado de Caracterização microestrutural e mecânica de resíduos da agroindústria – Tese (2013)

Tabela 13 – Trabalho realizado pela máquina de tração para romper dos corpos de provas

Métodos de análise para a obtenção da massa máxima do equipamento (m_e [Kg])	Distância entre o centroide do equipamento e a linha neutra do tronco do coqueiro (e [mm])					
	0	50	100	150	200	250
Tensão de Von Mises (ponto A)	98,203	98,036	97,870	97,704	97,538	97,374
Deformação axial (ponto A)	184,131	183,818	183,506	183,194	182,885	182,576
Flambagem (coqueiro)	2273,732	756,224	454,017	324,420	252,387	206,532
Flambagem (açazeiro)	1338,767	429,380	255,754	182,117	141,405	115,570
Tensão de Von Mises (ponto A - açazeiro)	42,245	42,144	42,044	41,948	41,845	41,749

Fonte: Aatoria própria (2021)³

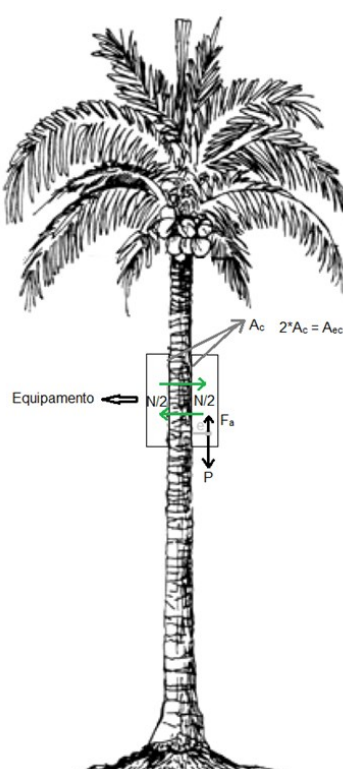
A análise do ponto B não foi apresentada na tabela devido a seu cálculo ser independente medida e, contudo os valores calculados para este ponto foram elevados, sendo assim não teriam condições de atuar como fator limitante, para tal temos a análise por tensão de von mises no ponto A que resultou numa massa máxima de 97,3 kg para o equipamento.

Devido à escassez de dados na literatura referente a propriedades mecânicas de madeiras de palmeiras foi possível calcular, além da massa do equipamento para a colheita em coqueiros, somente a massa do aparato de colheita para açai através do método de flambagem, assim obtendo como massa do equipamento de 115,57 kg, aproximou-se por von mises se adotando a tensão de flexão igual a tensão de compressão dada na literatura, assim resultando em uma massa máxima para um coletor de açai de 41,75 kg.

³ Para os cálculos adotou-se $F.S = 2$ e $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Com o valor de massa definido calcula-se os parâmetros de mínima área de contato entre máquina e árvore (A_{cn}) e a máxima força perpendicular à linha neutra da árvore (N_m) a fim de garantir a sustentação do equipamento sobre o tronco, com mostra a Figura 37. Para tal realizou-se um somatório de forças levando em conta a força de atrito atuante (Equação 40) no processo para uma situação de movimento, pois o coeficiente de atrito estático é menor do que o dinâmico, desta forma verifica-se que para a pior situação. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Figura 37 – Esquemática das forças atuantes no coqueiro reto (2)



Fonte: Adaptado de Coconut Palm Stem Processing - Technical Handbook (1996)

$$F_{at} = \mu * F_n = \mu_d * A_{cn} * \sigma_{ad} \quad (40)$$

Verifica-se que para a situação de sustentação do equipamento a tensão de compressão atuante é no sentido radial, já para o coeficiente de atrito temos que na literatura não há especificamente o estudo referente ao atrito entre a borracha e a madeira, contudo existem estudos de situações semelhantes como o atrito entre a madeira e o plástico (SANTOS et al, 2004) o que permitiu adotar de forma aproximada um valor de $\mu_d = 0,4$. Deste modo podemos expressar a área mínima de contato

através da Equação 41 (Adaptado NORTON, 2013) e ao aplicar os valores referentes as duas culturas, açaí e coqueicultura, obtemos os valores expressos na Tabela 14.

$$A_{cn} = \frac{m_e * g * F * S}{\mu_d * \sigma_{mc}} \quad (41)$$

Tabela 14 – Características de equipamentos para a colheita de coco e açaí

	m_e (kg)	A_{cn} (mm ²)	F_{nm} (N)
Coqueiro	97,30	134,44	2386,28
Açaizeiro	41,75	78,13	1023,92

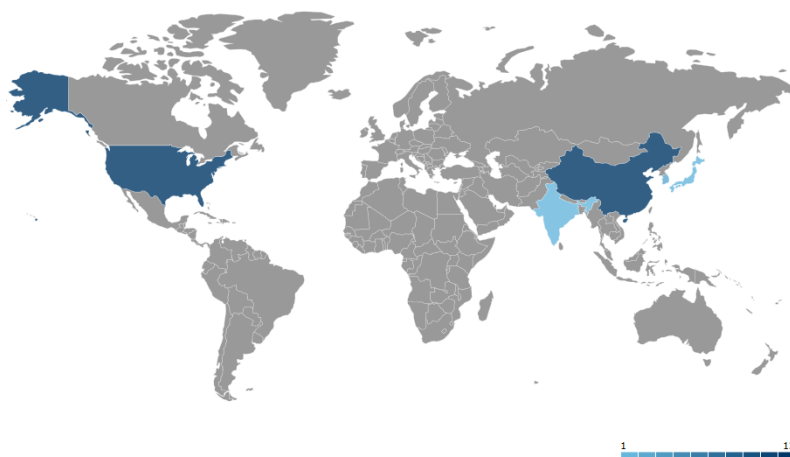
Fonte: Autoria própria (2021)

4.3 Resultados da busca de anterioridade

Com a pesquisa de anterioridade foi possível encontrar patentes de mecanismos similares ao equipamento proposto por esse trabalho, afim de delimitar o que se pode fazer, patentes que já caíram em domínio público devido ao tempo, o que não se pode fazer, evitar infringir as patentes vigentes atualmente, por fim identificar o que há de inovador no projeto, proposta ainda não encontrada na literatura.

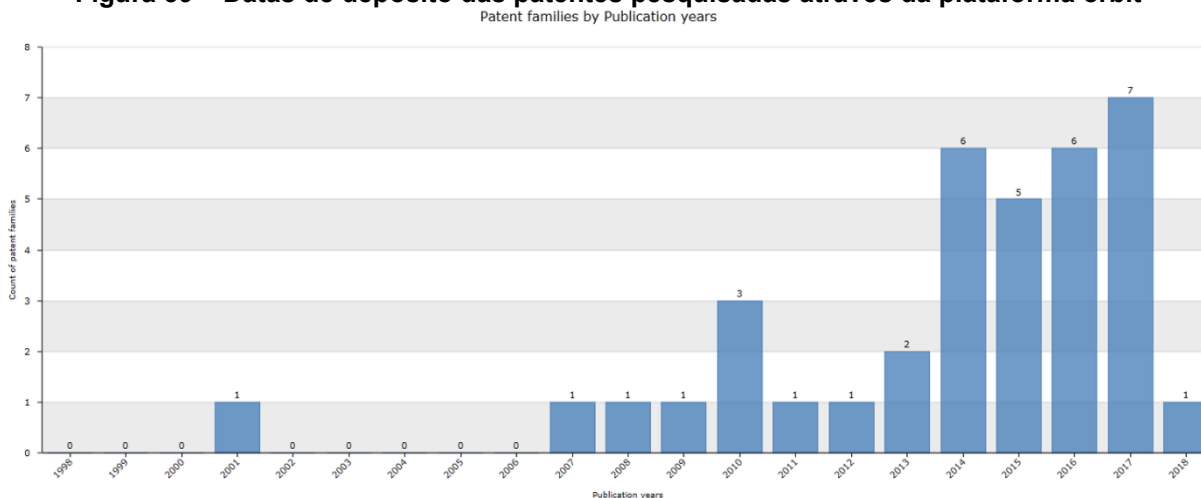
A busca de anterioridade resultou no encontro de 45 patentes relacionadas a equipamentos desenvolvidos para a colheita de frutos em palmáceas, sendo a maior parte oriunda da China, representando 22 delas, como mostra a Figura 38. Tem-se também que nos últimos anos houve um aumento do depósito patentes relacionadas a este assunto (Figura 39).

Figura 38 – Localização por países das patentes pesquisadas através da plataforma orbit
Patent families by Priority country (without EP and WO)



Fonte: Autoria própria (2018)

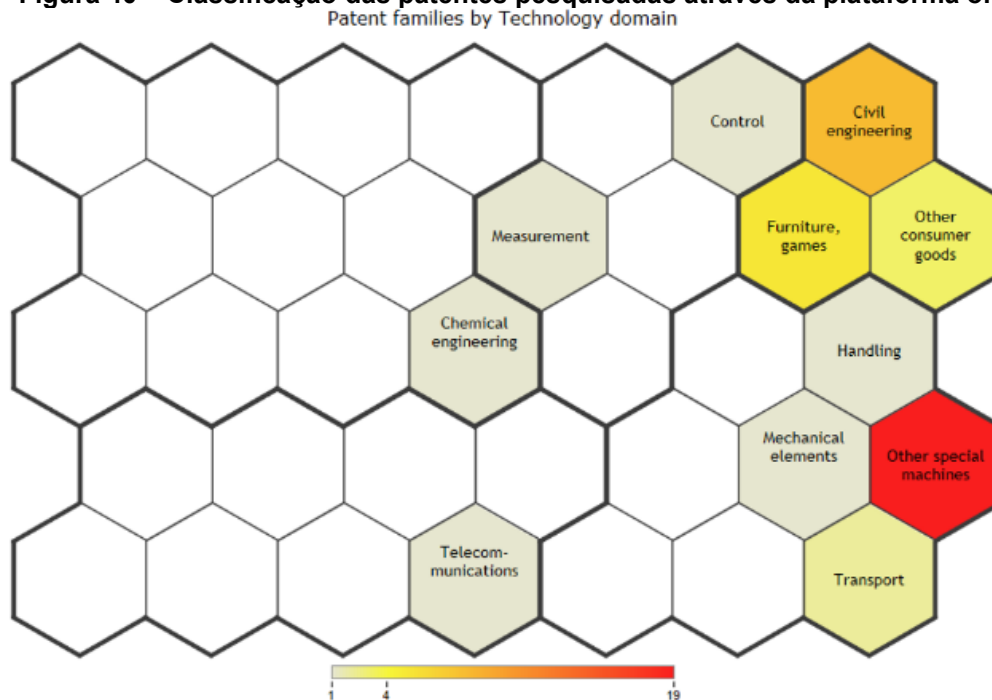
Figura 39 – Datas de depósito das patentes pesquisadas através da plataforma orbit



Fonte: Autoria própria (2018)

Tem-se que grande parte das patentes são de dispositivos de segurança para a escalada do operador e sistema de varas com formatos distintos, uma pequena parte refere-se a implementos agrícolas que necessitam de uma fonte de energia externa com um trator e equipamentos autônomos mecanizado ou robotizados que realizam a colheita, fato que faz com que a maior parte das patentes encontradas sejam classificadas como máquinas especiais, como mostra a Figura 40.

Figura 40 – Classificação das patentes pesquisadas através da plataforma orbit

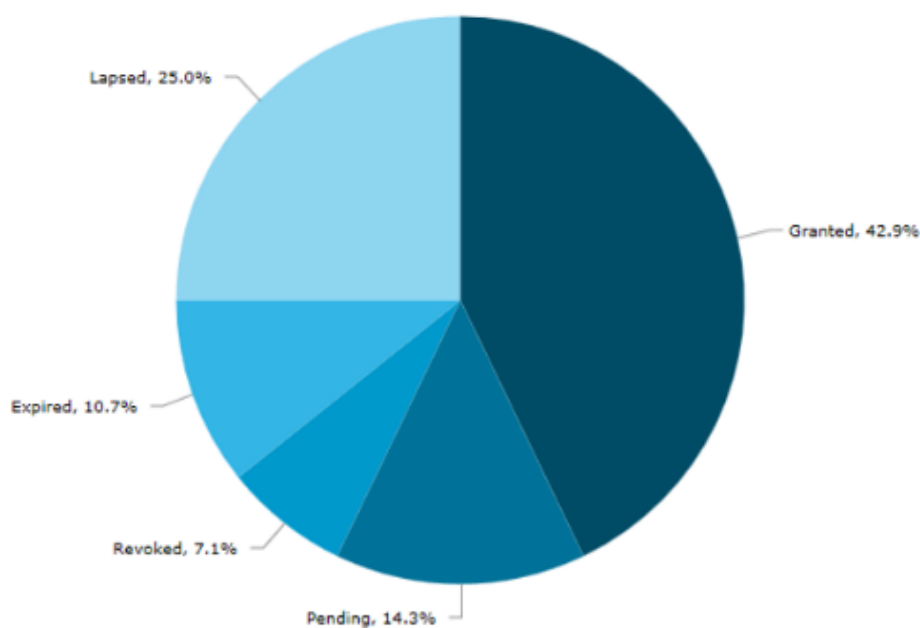


Fonte: Autoria própria (2018)

4.3.1 Patentes de destaque

Dentro do conjunto das patentes encontradas que merecem um maior destaque são as que já caíram em domínio público, pois tratam-se de soluções em que suas cópias ou adaptação não implica em medidas legais contra quem produz o equipamento. Através da plataforma Orbit é possível avaliar dentro do conjunto de patente o percentual de patente ativas e expiradas (Figura 41).

Figura 41 – Validade das patentes pesquisadas através da plataforma orbit
Patent families by Legal status

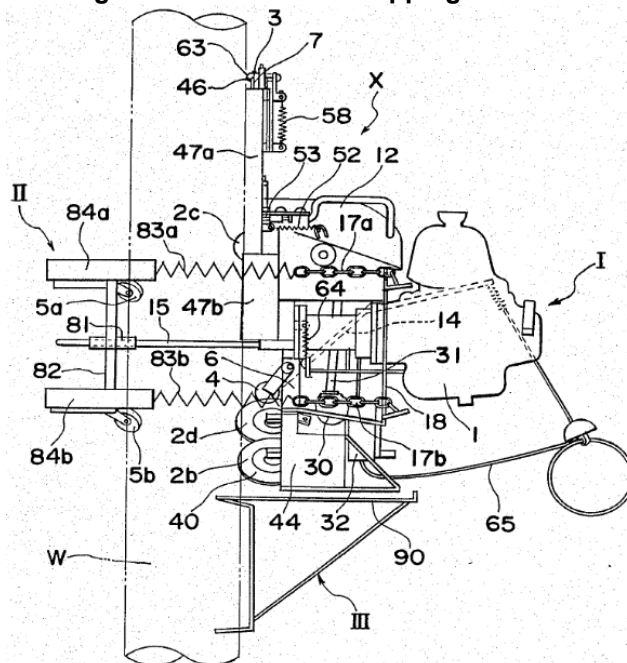


Fonte: Autoria própria (2018)

Como exemplo de patentes que estão em domínio público temos a patente US4527603-A denominada Automatic Lopping Machine (Máquina Automática de Looping) inventada por Renji Hori (Figura 42) e concedida em 1985 e a patente US5983966-A denominada Self-Propelled Tree Pruning Apparatus (Aparelho automático para a poda de árvore) inventada por John L. Clouston (Figura 43) e concedida em 1999, percebe-se que ambas as soluções propostas são capazes de

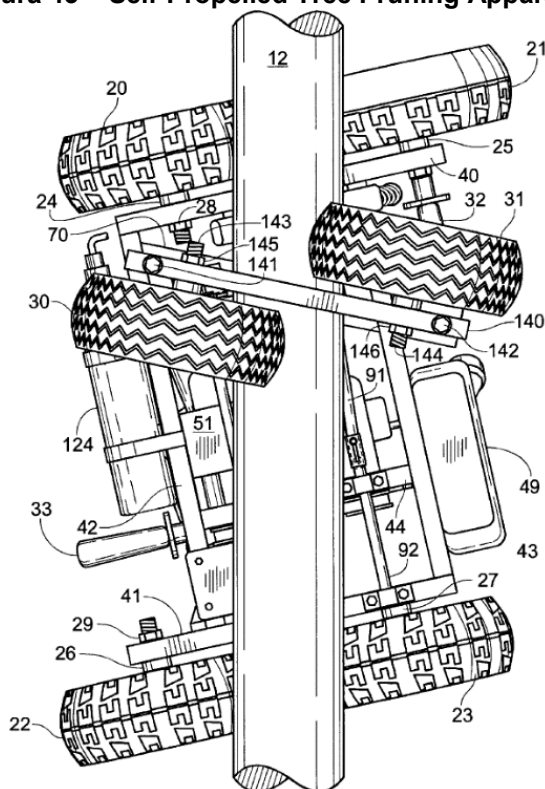
percorrer um tronco de árvore tanto ao longo do seu comprimento como do seu diâmetro.

Figura 42 – Automatic Lopping Machine



Fonte: US4527603-A (1985)

Figura 43 – Self-Propelled Tree Pruning Apparatus



Fonte: US5983966-A (1999)

4.3.2 Análise comparativa entre os métodos de colheitas existentes

Como abordado anteriormente buscou-se por conteúdos audiovisuais que permitiram visualizar o funcionamento de diversos métodos de colheita, com o intuito de analisar aspectos como tempo de operação, quantidade de operadores, espaço necessário para a operação e risco envolvido na operação. Dentro da coletânea encontrada, selecionou-se os seguintes vídeos:

- (RAJA LEARN TEC, 2018): O vídeo mostra um sistema de colheita semi mecanizado baseado num sistema hidráulico similar aos utilizados em caminhões munck, com base no vídeo percebe-se que antes de realizar a operação de colheita o sistema precisa se fixar ao solo, processo que leva cerca de 25 segundos, somado a isto para a elevação do operador até a copa da árvore e seu retorno leva-se no mínimo 2 minutos, não levando em conta o tempo para corte e colheita dos frutos e o tempo de embarque e desembarque da plataforma. Observa-se que este método utiliza somente um funcionário entretanto exige um amplo espaço para a manobrabilidade do equipamento.
- (SN CHEAH, 2019): O vídeo mostra um sistema de colheita manual com a utilização de um equipamento de segurança, contudo percebe-se que as vezes o tempo de se acoplar o aparato de segurança na árvore e tira-lo torna o processo mais demorado do que uma escalada manual sem o auxílio de equipamentos, com isso o tempo do processo é superior a 8 minutos, entretanto têm-se que este método utiliza somente um funcionário e exige uma pequena área de operação.
- (DISCOVER AGRICULTURE, 2020): O vídeo mostra um sistema de colheita semi mecanizado baseado num sistema a combustão semelhante ao de uma motocicleta, sendo compacto esse equipamento é de fácil transporte, para a realização do processo de colheita leva-se pelo vídeo cerca de 40 segundos para o acoplamento, de 20 a 30 segundos para a subida no tronco assim como para a descida, em média 30 segundos para o desacoplamento, além do tempo necessário para o corte e colheita dos frutos.

- (RE9 IMP, 2015): O vídeo mostra um sistema de colheita semi mecanizado composto por um sistema similar ao de uma empilhadeira implantado em um trator, que possibilita a três operadores realizarem o processo de colheita em menos de 2 minutos, contudo por se utilizar o trator necessita-se de um amplo espaço de operação para a manobrabilidade deste.
- (THEJUS T13, 2018): O vídeo mostra um sistema de colheita mecanizado composto por um sistema robotizado controlado a distância, precisando somente de um operador e um pequeno espaço de operação contudo há um tempo excessivo para o acoplamento e movimentação dos troncos.

Com base nos dados obtidos da análise dos vídeos e da interpretação da revisão bibliográfica elaborou-se a Tabela 15, onde se compara os distintos métodos de colheita com relação ao seu desempenho em alguns aspectos.

Tabela 15 – Comparação por aspectos operacionais entre os três métodos de colheita

Tipos de colheita	Manual	Semi-Mecanizada	Mecanizada
Tempo de operação	+++	+	++
Espaço para a operação	+	+++	+
Número de operadores	+	++	+
Risco para o operador	+++	++	+
Custo do equipamento	+	++	+++

Fonte: Autoria própria (2021)⁴

4.4 Definição do conceito do equipamento

Analisando as informações expostas ao longo desse trabalho pode-se definir as seguintes especificações metas:

- Autonomia (6 horas – 8 horas);
- Velocidade mínima vertical (4,212 km/h – Coqueiro; 2,988 km/h – Açaizeiro);
- Peso máximo (97,30 kg – Coqueiro; 41,75 kg – Açaizeiro);
- Área mínima de contato entre o equipamento e o tronco da árvore (134,44 mm² – Coqueiro; 78,13 mm² – Açaizeiro);

⁴ O sinal (+) é uma forma de quantificar os aspectos avaliados, onde: + baixa quantidade; ++ média quantidade; +++ alta quantidade.

- Distância máxima entre o centroide do equipamento e a linha neutra no tronco da árvore (250 mm);
- Distância mínima do alcance do sinal fornecido pelo controlador do equipamento (35 m – Coqueiro; 25 m – Açaizeiro);
- Potência mínima do equipamento (35 m – Coqueiro; 25 m – Açaizeiro);

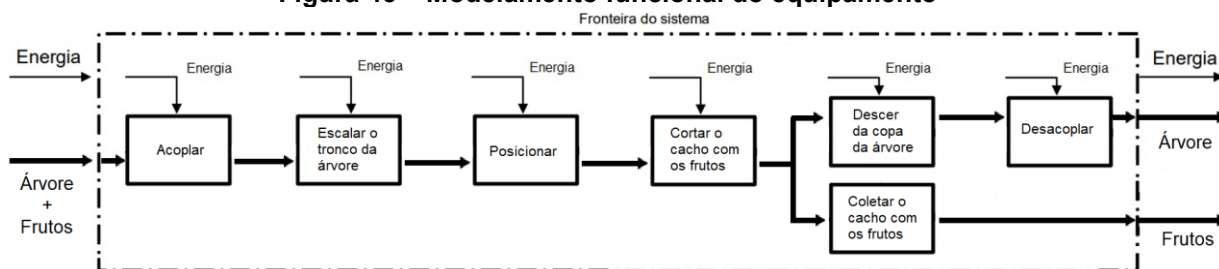
Por se tratar de um equipamento inovador, encontrou-se dificuldade para a definição de valores plausíveis para outras especificações necessários, contudo essas informações são o suficiente para o modelamento global do equipamento e seu desdobramento, ambos ilustrados nas Figuras 44 e 45, respectivamente.

Figura 44 – Modelamento global do equipamento



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 45 – Modelamento funcional do equipamento



Fonte: Autoria própria (2021)

Através do detalhamento do modelamento global do equipamento e seu desdobramento chega-se as definições dos efeitos físicos e seus portadores, representados na Figura 42 respectivamente com funções/ sub-funções e sistema/ subsistemas, desta forma elaborando a matriz morfológica da qual são obtidos os princípios de soluções (Rozenfeld et al, 2006).

Figura 46 – Matriz morfológica

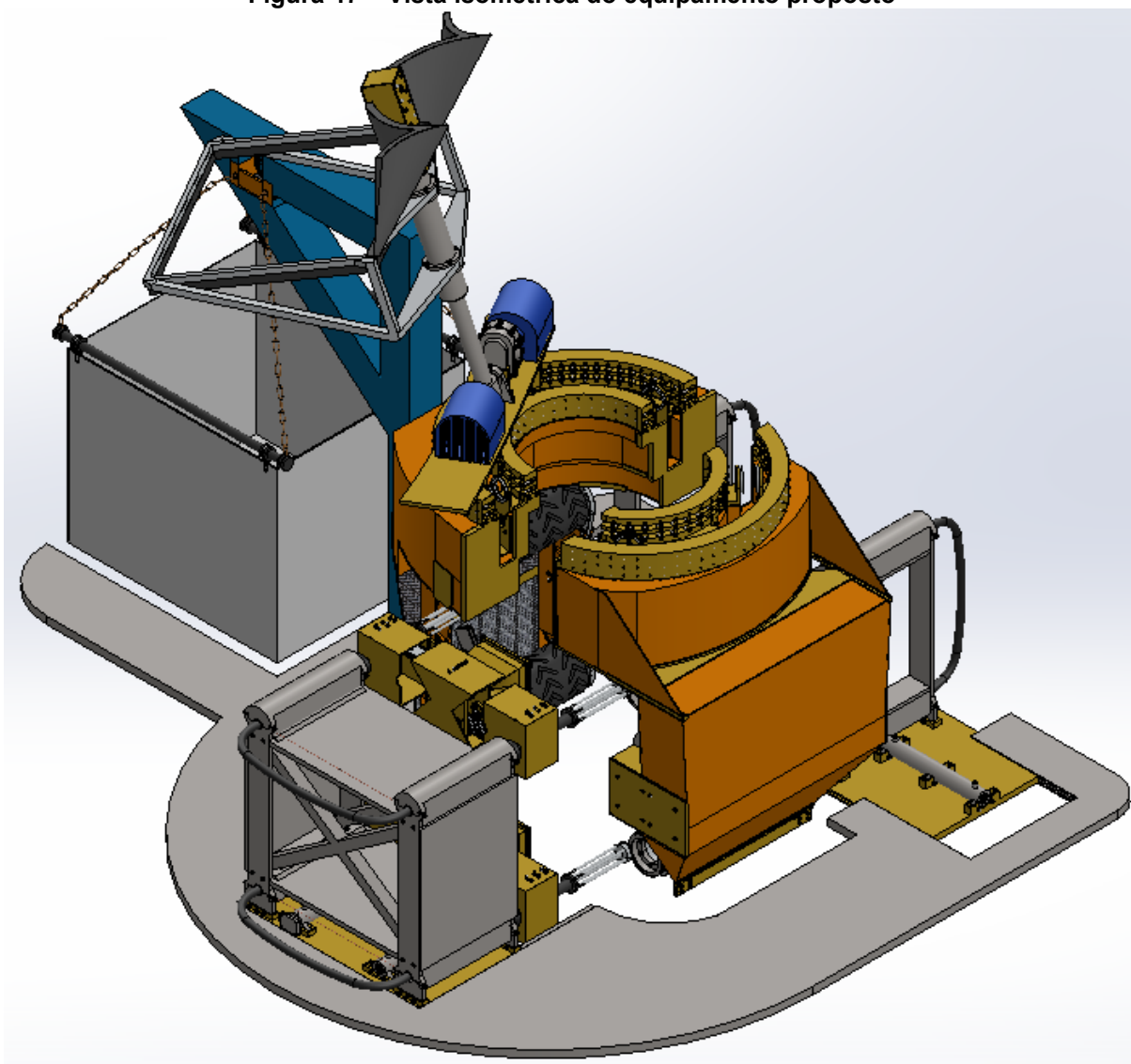
Funções	Sub-funções	Métodos		Sistemas e Sub-Sistemas									
		Manual	Automático	Operador	Sensor de aproximação	Sensoriamento	Sistemas com laser	Sistemas com ultrassom	Sistemas hidráulicos	Sistemas pneumáticos	Sistemas elétricos	Sistemas eletromagnético	
Acoplar/ Desacoplar	Prender o equipamento ao tronco da árvore	Manual	Semi-Automático	Automático	Cabo/ Correntes	Alavancas/ Engrenagens	Pinos/ Guias	Atuador e bomba hidráulicos	Atuador e bomba pneumáticos	Atuadores elétricos	Eletroímãs		
Subir/ Descer (tronco)	Obter informação de posição e velocidade	Métodos		Sistemas e Sub-Sistemas									
		Controle a distância	Controle automático	Controle remoto		Sinal de rádio	Pulso elétrico adaptativo	Pre-programado					
	Movimentar	Guiado dependente	Guiado independente	Sinal Wi-Fi	Sinal Bluetooth	Motorizado	Frequência (rede cabeada)	Software adaptativo	Propulsão externa	Quadrícóptero			
				Motor elétrico	Motor à combustão	Motor pneumático	Motor hidráulico	Sistema de empilhadeira	Drone adaptado				
Posicionar	Obter informação de posição dos cachos dos frutos	Métodos		Sistemas e Sub-Sistemas									
		Manual	Automático	Operador	Auxílio câmara	Sensor de aproximação	Sensoriamento	Sistemas com laser	Sistemas com ultrassom				
	Rotacionar	Automático		Motorizado	Motor à combustão	Motor pneumático	Motor hidráulico	Dione adaptado					
Cortar	Realizar corte	Métodos		Sistemas e Sub-Sistemas									
		Cortador fixo	Cortador móvel	Serra		Linear	Dupla	Movimento vertical	Movimento rotativo	Movimento vertical + rotativo			
Coletar	Obter informação de coleta dos cachos dos frutos	Métodos		Sistemas e Sub-Sistemas									
		Manual	Automático	Operador	Sensor de movimento	Sensoriamento	Sistemas com laser						
Coletar	Realizar coleta	Com guia	Sem guia	Controle de velocidade		Plataforma móvel	Halelas inermittentes	Absorvedor de impacto	Sistema com espuma	Queda livre	Local determinado		

Fonte: Autoria própria (2021)⁵

⁵ Os quadros em verde representam o princípio de solução adotada, os quadros em azul claro representam outro princípio de solução, sendo os quadros em azul-esverdeado representam as intersecções entre os princípios determinados.

Tem-se representado na matriz morfológica dois princípios de soluções, o que se destaca-se em verde trata-se de um exemplo de princípio de solução que conta com um elemento externo (trator) como forma de alimentação, tendo seus sistemas voltado a componentes eletromecânicos a fim de propiciar uma maior adaptabilidade aos diferentes tipos de troncos e frutos além da facilidade de automação. Esse princípio de soluções é esboçado na figura 47.

Figura 47 – Vista isométrica do equipamento proposto



Fonte: Autoria própria (2021)

Verifica-se que o princípio de solução em verde foca-se em oferecer uma maior comodidade necessitando do mínimo de esforço físico do operador, contudo percebe-se que pelos componentes que compõe o equipamento ele não atende o

requisito de baixo custo, para tal tem-se a opção em azul, sendo mais barata entretanto exigindo do operador um acoplamento e desacoplamento manual, além de colher os frutos em solo e os armazenar.

5 CONCLUSÃO

Verifica-se que para a determinação dos valores limites das especificações-metas de um equipamento para a colheita de frutos de árvores da família *Arecaceae* há na literatura uma ausência de dados, desta forma temos como requisito para uma delimitação mais fiel a realidade do equipamento a necessidade de obter a análise energética dos demais frutos abordados além do coco, somado a isto deve-se realizar um estudo detalhado das propriedades mecânicas das madeiras das cinco espécies abordadas.

Definiu-se que com dados como módulo de elasticidade, coeficiente de atrito (borracha-madeira), tensão máxima de ruptura em flexão e compressão, além das dimensões básicas das madeiras dos troncos estudados é possível determinar as velocidades média mínima para o movimento de subida e descida do tronco, área mínima em contato da árvore e o peso máximo do equipamento através das relações matemáticas expostas anteriormente neste trabalho.

Além disso tem-se que com os dados de energia armazenada obtidos de cada fruto estudado neste trabalho, dado que pode ser obtido com um ensaio de compressão, define-se tanto a máxima altura com que se possa soltar um fruto em queda livre e a máxima velocidade com que este pode impactar o solo sem danificar o fruto, no caso do coco verde encontrou-se 2,473 m e 6,96 m/s e para o seco 0,401 m e 2,80 m/s.

Conclui-se que não é possível construir de forma simples um único equipamento que atenda as colheitas em coqueiros, açazeiro, buritizeiro, carnaubeira e babaçu, contudo é possível desenvolver equipamentos específicos para cada uma das culturas mencionadas, sendo o conceito equivalente entre eles, mudando somente a parte das dimensões de seus componentes.

REFERÊNCIAS

ALBIRO et al. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 37, n. 3, p. 337-346, set. 2007. Disponível em: <<http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultaweb>>. Acesso em: 10. Mai. 2020.

AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro: Exportação e importação. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2020.

ARAGÃO, W. M. Cultivares de coqueiros. In: FONTES, H. R; FERREIRA, J. M.S; SIQUEIRA, L. A. (Ed.). *A cultura do coqueiro*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. *Sistemas de Produção*, 1). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/cultivares.htm>>. Acesso em: 6. Mai. 2020.

Arecaceae in *Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB53>>. Acesso em: 08 Abr. 2020

ARIOCH, David. Macacos são explorados na indústria de leite de coco na Tailândia. ANDA. 2020. Disponível em: <<https://www.anda.jor.br/2020/07/macacos-sao-explorados-na-industria-de-leite-de-coco-na-tailandia/>>. Acesso em: 01. Jun. 2020.

BACELLAR. R. S. *Caracterização Microestrutural E Mecânica De Resíduos Da Agroindústria*. 2013. 82 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, Rio de Janeiro, 9 de Abril de 2010. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=16445@1>>. Acesso em: 15. Abr. 2021.

BAKER, William J. e DRANSFIELD, John. Beyond Genera Palmarum: progress and prospects in palm systematics. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 182, 207–233, 10 de fevereiro de 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303935353_Beyond_Genera_Palmarum_progress_and_prospects_in_palm_systematics>. Acesso em: 06 Abr. 2020

BARBOSA. R. I; LIMA. A. D; JUNIOR. M. M. Biometria de frutos do buriti (*Mauritia Flexuosa* L. F. – Arecaceae): Produção de polpa e óleo em uma área de savana em Roraima. *Amazônia: Ci & Desenvolvimento*, Belém, v.5, n. 10, jan/jun. 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/870656/1/CDN10_BiometriadeFrutosdo.pdf>. Acesso em: 15. Jun. 2020.

BEZERRA, V. S; FREITAS, SILVA. O; DAMASCENO, L. F. Açaí: produção de frutos, mercado e consumo. Repositório alice, 2016. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1059773>>. Acesso em 10. Abr. 2020

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. Produção de coco: o nordeste é destaque nacional. Banco do Nordeste – Caderno Setorial ETENE, ano 3, no 61. 2018. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/documents/61_coco.pdf>. Acesso em: 25. Abr. 2020.

BRASIL. Companhia nacional de abastecimento (conab). Análise mensal: Açaí (fruto). Março de 2019. Disponível em: <<http://conab.gov.br/info-agro/item/download>>. Acesso em: 3 mai. 2020.

BRASIL. Portaria nº 14, 3. Jan. 2018. Diário Oficial da União – seção 1, Nº 9, 12 jan. 2018. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=12/01/2018&jornal=515&pagina=3&totalArquivos=60>>. Acesso em: 30. Jun. 2020.

BUSINESS WIRE. World - Coconuts - Market Analysis, Forecast, Size, Trends and Insights. 2019. Disponível em: <<https://www.businesswire.com/news/home/20190919005726/en/World-Coconuts-Market-Analysis-ForecastSizeTrends>>. Acesso em: 23. Abr. 2020.

CARLOS. R. M; LUCIANO. A. J. J. Produção e Comercialização de Coco no Brasil Frente ao Comércio Internacional: Panorama 2014. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE. 2014. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=1014433&bi_biblioteca=vazio&busca=1014433&qFacets=1014433&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em 20. Abr. 2020.

Carnaúba gira US\$ 60 milhões. Diário do Nordeste, 22. Ago. 2007. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/carnauba-gira-us-60-milhoes-1.227855>>. Acesso em: 17. Jun. 2020

CAVALLARI. M. M; TOLEDO. M. M. What is the name of the babassu? A note on the confusing use of scientific names for this important palm tree. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/146155/1/CavallariToledo2016-Whats-the-name-of-babassu.pdf>>. Acesso em: 15. Mai. 2020.

Colheita do coco buriti garante renda para muitas famílias do Maranhão. Globo Rural, 13. Fev. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/02/colheita-do-coco-buriti->

garante-renda-para-muitas-familias-do-maranhao.html#:~:text=O%20buriti%20%C3%A9%20um%20coco,vai%20de%20setembro%20a%20fevereiro>. Acesso em: 17. Jun. 2020.

CYMERY. M; FERNANDES. N. M. P; AZEVEDO. O. C. R. Buriti: *Mauritia flexuosa* L.f. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/11504768-Buriti-mauritia-flexuosa-l-f.html>>. Acesso em: 21. Mai. 2020.

Discover Agriculture, Arecanut Tree Climbing Machine | Betel nut / Areca nut Tree Climber Bike. Youtube. Disponível em: <<https://youtu.be/7hr0z3vFJIA>>. Acesso em: 10. Mar. 2021. 5:59

FERREIRA, R. P; TATTO, W. H. Colheita mecanizada de coco: Proposta de uma ferramenta inovadora para a coqueicultura mundial. In: Seminário de Extensão e Inovação - SEI, 2018, Apucarana - PR. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/135220569-Colheita-mecanizada-de-coco-proposta-de-uma-ferramenta-inovadora-para-a-coqueicultura-mundial.html>>. Acesso em 12. Abr. 2020.

HALLIDAY. D; RESNICK. R; WALKER. J. Fundamentos de Física - Volume 1 – Mecânica: 10. ed. Editora LTC, 2016.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisa>>. Acesso em: 20. Abr. 2020.

KAWAHARA, Yu. Colheita de coco: um estudo para a mecanização. 2017. 133 Páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171426/1/Kawahara-Dissertacao-.pdf>>. Acesso em: 04. Jun. 2020.

KILLMANN. W; FINK. D. Coconut Palm Stem Processing - Technical Handbook, 1996. Disponível em: <https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/ProTrade_Coconut-Palm-Processing.pdf>. Acesso em: 20. Abr. 2021.

LUNZ. A. M. P et al. Crescimento de açazeiro em monocultivo e em sistema agroflorestal no município de rio branco, acre. In: X Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Cuiabá – MG, 2016. Disponível em: <https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/EMBR_0595bec9388fcb9c82ec60702e23f925>. Acesso em: 18. Abr. 2021.

NORTON, Robert. L, Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada: 4. ed. Editora Bookman, 2013.

MARTINS. C. R; BARROS. I; RODRIGUES. G. S. Análise Agroeconômica de Sistemas de Produção de Coco no Norte e Nordeste do Brasil. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2016. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/Analise>>. Acesso em: 7. Mai. 2020.

MELO. I. J. M; SANTANA. O. A; INÁCIO. E. S. B; AMORIM. L. B; ENCINAS. J. I. influência da velocidade e direção do vento na espécie cocos nucifera var. typica (arecaceae) em áreas costeiras naturais e urbanas, revista SBAU, Piracicaba – SP, v.8, n.4, p 8-21, 2013. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66509>>. Acesso em: 18. Abr. 2021.

Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento – MAPA. Série boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico: Buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). Brasília, Distrito Federal, 2009. Disponível em: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/arquivos-publicacoes-organicos/boas_praticas_de_manejo_para_o_extrativismo_sustentavel_organico_do_buriti.pdf/view>. Acesso em: 15. Mai. 2020.

O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE. Informações de mercado sobre frutas tropicais – açaí. 2006. Disponível em: < <https://ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2013/09/Açaí-Sebrae.pdf>>. Acesso em 15. Abr. 2020.

PAGLIARUSSI, Marina Sanches. A cadeia produtiva agroindustrial do açaí: Estudo da cadeia e proposta de um modelo matemático. 2010. 66 páginas – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: < http://www.tcc.sc.usp.br/tce/Pagliarussi_Marina_Sanches>. Acesso em 15. Abr. 2020.

RAJA LEARN TEC, hydraulic equipment for coconut plucking RAJA LEARN TEC. Youtube. Disponível em: <https://youtu.be/ip0ILo_ErAs>. Acesso em: 10. Mar. 2021. 2:24

Re9 Imp, Colheita de coco. Youtube. Disponível em: <https://youtu.be/GWwKpw_2tow>. Acesso em: 10. Mar. 2021. 1:27

ROZENFELD. H. et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma Referência para a Melhoria do Processo. Editora Saraiva, 2012.

SANTOS. C. E; FONSECA. D. C. T; SANTOS. R. U; BARJA. P. R. Determinação do coeficiente de atrito para interface plástico-madeira em plano inclinado. In: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2004. Disponível em:

<http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC1-1.pdf>. Acesso em: 22. Abr. 2021.

SAMPAIO et al. Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do capim dourado e buriti. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília. 2010. Disponível em: <<http://ispn.org.br/site/wp-content/uploads/2018/10/Boas-PraticasCapimDouradoBuriti.pdf>>. Acesso em: 12. Jun. 2020.

SARAIVA, Nicholas Allain. Manejo Sustentável e Potencial Econômico da Extração do Buriti nos Lençóis Maranhenses, Brasil. 2009. 143 páginas – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/4168>>. Acesso em 02. Mai. 2020.

Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca - SEDAP – Panorama agrícola do Pará – Açaí - 2018. Disponível em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/content/açai>>. Acesso em: 29 abr. 2020.

SERIGHELLI. P. H. G; TURRA. C. J; JOSÉ. D. R. Método numérico para adeterminação do módulo de tenacidade de materiais a partir de ensaios de tração. SECITEC 2016. Disponível em: <<https://secitec.luzerna.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/30/2017/03/SIII-M-%C3%ABTODO-NUM-%C3%ABRICO-PARA-A-DETERMINA-%C3%A7-%C3%A2O-DO-M-%C3%B4DULO-DE-TENACIDADE.pdf>>. Acesso em: 04. Jan. 2021

SN Cheah, How to Climb a Coconut Tree. Youtube. Disponível em: <<https://youtu.be/xBRMm3nPDjw>>. Acesso em: 10. Mar. 2021. 1:23

SOUZA. O. P; MELO. B; MANCIN. C. A. Cultura do coqueiro. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de ciências agrárias. 2003. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/coqueiro.html>>. Acesso em 22. Abr. 2020.

STEWART, James. Cálculo – Volume 1: 8. ed. Editora CENGAGE, 2017.

TEIXEIRA, Isabella Lorenzini da Silva. Potencial produtivo e econômico do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no estado do Pará. 2018. 81 páginas – Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/EQVABBWE4U/1/disserta__o_isabella_lorenzini__folha_de_aprova__o.pdf>. Acesso em 02. Mai. 2020.

Thejus T13, Ansar m a-coconut tree climbing machine. Youtube. Disponível em: <https://youtu.be/_0gasLoo2m4>. Acesso em: 10. Mar. 2021. 1:29

VIEIRA, J; FERREIRA, M. A; BALBONI, B. M. Resistência à compressão paralela do estipe de euterpe oleracea mart. In: Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Madeira – III CBCTEM, Florianópolis – SC, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem/papers/resistencia-a-compressao-paralela-do-estipe-de-euterpe-oleracea-mart?lang=en>>. Acesso em: 15. Abr. 2021.

WISNEIWSKI, A; MELO, C. F. M. de. Babaçu e a crise energética. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1981. 25p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 2). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/380410/1/DOCUME>