

Colheita de Coco Verde: Estudo para o desenvolvimento de um equipamento de apoio



ISSN 1518-7179

Dezembro, 2019

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
45

**Colheita de Coco Verde:
Estudo para o desenvolvimento
de um equipamento de apoio**

*Daniel Portioli Sampaio
Beatriz Correia Forastiere da Silva
Ricardo Yassushi Inamasu*

*Embrapa Instrumentação
São Carlos, SP
2019*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 São Carlos, SP
Fone: (16) 2107 2800
Fax: (16) 2107 2902
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
José Manoel Marconcini

Secretária-executiva
Maria do Socorro Gonçalves de Souza Monzane

Membros
Carlos Renato Marmo
Cinthia Cabral da Costa
Cristiane Sanchez Farinas
Elaine Cristina Paris
Maria Alice Martins
Paulo Renato Orlandi Lasso

Normalização bibliográfica
Maria do Socorro Gonçalves de Souza Monzane

Editoração eletrônica e
tratamento das ilustrações
Valentim Monzane

Foto da capa
Daniel Portioli Sampaio

1ª edição
1ª impressão (2019): 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Embrapa Instrumentação

Sampaio, Daniel Portioli

Colheita de coco verde: estudo para o desenvolvimento de um equipamento de apoio / Daniel Portioli Sampaio, Beatriz Correia Forastiere da Silva, Ricardo Yassushi Inamasu. – São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019.

50 p. : il. ; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Instrumentação, ISSN 1678-0434; 45)

1. Colheita de coco verde. 2. Mecanização. 3. Projeto sistemático. I. Silva, Beatriz Correia Forastiere da. II. Inamasu, Ricardo Yassushi. III. Título. IV. Série.

CDD 21 ED 631.587

Vera Viana dos Santos Brandão (CRB – 8/7283)

© Embrapa 2019

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Metodologia	10
Resultados e Discussão	12
Definição do modelo conceitual da haste de auxílio à colheita de coco verde	12
Resultados do desenvolvimento mecânico da garra e haste de auxílio a colheita e a fabricação do protótipo	14
Resultados da incorporação da haste de auxílio a colheita a um sistema de translação em campo	16
Testes de funcionamento e ensaios de colheita na cultura do coco	17
Ajustes na geometria do protótipo e discussão sobre alternativas de mecanização da colheita na cultura do coco	20
Conclusão	23
Referência bibliográfica	23
Anexos	25
Anexo 1 – Desenhos de fabricação do protótipo da haste de auxílio à colheita de coco verde	25
Anexo 2 – Desenhos de fabricação do protótipo da viga de suporte da haste de colheita de coco verde	35

Colheita de Coco Verde: Estudo para o desenvolvimento de um equipamento de apoio

Daniel Portioli Sampaio¹
Beatriz Correia Forastiere da Silva²
Ricardo Yassushi Inamasu³

Resumo - A água de coco é um produto tropical, cujas demandas nacional e internacional têm crescido nos últimos anos. Porém, a expansão da sua produção tem sido limitada devido principalmente às dificuldades operacionais da colheita manual, que impõe restrições técnicas para o alcance dos cachos acima de oito metros, reduzindo assim, a vida produtiva do coqueiro. Supõe-se que seria possível aumentar a produtividade se fosse aproveitado um período maior da vida útil do coqueiro, ou seja, após o décimo primeiro ano do plantio, quando a planta alcança uma altura acima de oito metros. Com esse intuito, o presente estudo buscou através das características do cultivo estabelecidas para as regiões produtoras, desenvolver uma haste de auxílio à colheita do coco verde, desde a proposição de um modelo conceitual até a sua fabricação e ensaios de campo, para promover a redução de custo de produção e esforços do trabalhador rural. Nesse sentido, foram utilizadas metodologias, de projeto sistemático partindo de uma lista de requisitos definida na literatura, que orientou a geração de um conceito de haste, e as demais fases de projeto mecânico do equipamento, nos vários ciclos de modelagem digital e detalhamento em elementos de máquinas, que culminou na proposta de um novo equipamento semi-mecanizado para a colheita, composto por uma haste de colheita manual e uma coluna de suporte incorporadas a uma carreta de apoio. O equipamento foi decomposto em desenhos técnicos de fabricação, através de software CAD, para a construção do protótipo, construído e testado em campo. Com o protótipo de haste de auxílio à colheita foi possível identificar funções que ainda necessitam de estudo mais aprofundado como, as funções de elevação e posicionamento, caracterizadas como as principais restrições a mecanização da colheita de coco. Entretanto, recomendações de modificações ao implemento foram dadas e formas alternativas mais ajustadas ao processo foram identificadas.

Palavras-chave: Colheita de Coco Verde, Mecanização, Projeto sistemático.

¹Engenheiro Mecânico, mestre em engenharia mecânica, analista da Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP.

²Engenheira Mecânica, aluna da UFSCAR, São Carlos-SP.

³Engenheiro Mecânico, doutor em engenharia mecânica, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP.

Coconut Harvest: Study of harvest support equipment development

Abstract - Coconut water is a tropical product that's national and international demands have grown in recent years. However, the expansion of its production has been limited mainly due to the operational restriction of manual harvesting, which imposes technical limitations on the reach of coconut bunches above eight meters high, thereby reducing the productive life of the coconut palm tree. It is assumed that it would be possible to increase productivity if a longer period of the coconut tree's life was established, in this case, after the eleventh year of planting, when the plant reaches a height above eight meters. To this objective, the present study starts with the characteristics of cultivation established for the grower's regions, to develop a rod to help harvest coconut, from the proposition of a conceptual model to its manufacture and field trials, to promote the reduction of production costs and hard work. In this way, a systematic design methodologies were used based on a list of requirements defined in the literature, which guided the generation of a rod concept, and the other mechanical design phases, in the various digital modeling cycles of the project, that culminated in the proposal of a new semi-mechanized harvesting equipment, consisting of a manual harvesting rod and a column incorporated into a support trailer. The equipment was decomposed into manufacturing drawings, using CAD software, built and field tested. With the harvest aid rod prototype it was possible to identify functions that still need further study, such as the lifting and positioning functions, characterized with the main restrictions on the mechanization of coconut harvesting. However, recommendations for implement modifications were given and alternative forms to the process were identified.

Key-words: Seed Harvester Machine, Forage Peanut, Systematic Design.

Introdução

O consumo de água de coco cresce a todo ano no Brasil e no mundo (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2011), por ser uma bebida rica em características como: vitaminas, minerais, aminoácidos, antioxidantes e outros nutrientes essenciais para o corpo humano (RONDÓ, 2012). O reidratante natural tem ganho destaque e crescimento em até 20% ao ano, no país (IDOETA, 2014). Nos Estados Unidos, desde 2007 a venda de água de coco em caixinha, pelas três empresas líderes do setor, teve um crescimento exponencial, chegando em 2014 a 2759%, o que representa um mercado de 400 milhões de dólares, e ainda possui espaço para expansão (QUARTZ, 2014).

Entretanto, apesar do grande potencial de demanda pelo mercado, o coco requer um processo de produção eficiente, e o processo de colheita ainda se caracteriza como uma restrição, pelo grande emprego de colhedores e principalmente a inexistência de uma tecnologia que permita a colheita em cultivos além de oito anos do ciclo de vida do coqueiro, sendo que a vida útil de um coqueiro seria em até trinta e cinco anos.(da SILVA, 2018). A restrição está ligada ao uso de varas de colheita pelo processo manual, que não permitem o alcance do cacho e o controle de posicionamento acima dessa altura pelo peso do equipamento utilizado (KAWAHARA, 2017).

Apesar da existência de vários modelos de patentes e protótipos de equipamentos para colheita de coco e palmácea, como exemplo a utilização de escadas (PEGNA, 2008), varas ou hastes de colheita (CHEN,2012), máquinas terrestres (ALBIERO, 2011; SHAMSI , 1998), nenhuma tem a adoção comprovada pelos agricultores conforme os levantamentos realizados por Kawahara (2017). Dessa forma o padrão de colheita adotado para a produção industrial seria composto por três colhedores por linha de cultivo e estes utilizam duas varas de colheita, uma para a realização do corte dos cachos e a segunda para auxiliar a descida do cacho de forma controlada (KAWAHARA, 2017). Entretanto, esses equipamentos possuem um limite de comprimento de seis metros de altura, o que forçam os donos de cultivos a cortarem os coqueiros antes do final de sua vida útil produtiva (KAWAHARA, 2017). Além dessa situação, é necessária a renovação do coqueiral antes desse período, para a manutenção da produção do coco (KAWAHARA, 2017).

Este boletim visa reportar os resultados do estudo sobre o projeto mecânico de uma haste de auxílio a colheita do coco verde, que vão desde a proposição de um modelo conceitual até a realização de ensaios com protótipos em campo, com o intuito de reduzir os custos de produção e esforços por parte dos colhedores e permitir a colheita em alturas acima de oito metros, e com isso, impactar positivamente na produção de água de coco nacional.

Metodologia

Como o projeto do estudo foi o desenvolvimento de um equipamento para o auxílio da colheita de coco verde, este se baseou em metodologia de projeto em engenharia (PAHL, 2005; RODRIGUES, 2015; OTTO, 2001) adaptada para um produto aplicado na agricultura. Estes são divididos nas fases de projeto preliminar, de coleta de informações e estabelecimento de uma lista de requisitos, a fase de conceituação de criação e seleção de uma alternativa de um conceito para o equipamento e por fim as fases de projeto preliminar e detalhado em que vários níveis de detalhamento e projeto mecânico do equipamento são realizados.

A fase de caracterização da cultura e o levantamento da lista de requisitos, tanto das condições geometrias dos cachos como restrições do processo, foram realizados no trabalho de Kawahara (2017) e serão aproveitados para direcionamento das etapas posteriores do projeto. A fase conceitual aproveitou a discretização em uma estrutura funcional apresentada na Figura 1 e as alternativas de soluções mecânicas presentes na matriz morfológica Figura 5 e incluída em Kawahara (2017). A figura também mostra o sentido do fluxo de informações e material para operações de colheita de coco verde.

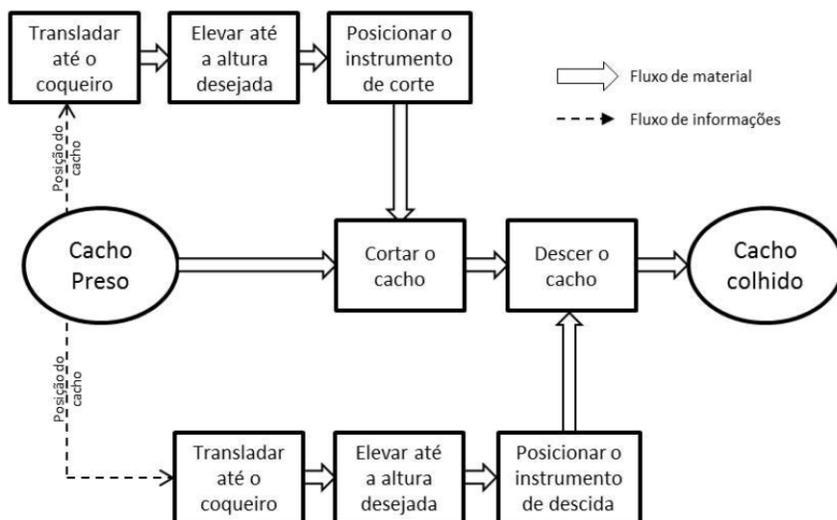


Figura 1. Diagrama de funções para a colheita de coco verde (KAWAHARA, 2017).

A alternativa conceitual selecionada foi gerada com auxílio da matriz morfológica presente na figura 5 e selecionada pela equipe de projeto composta pelos engenheiros mecânicos Ricardo Inamasu e Daniel Portioli, a

estagiária e estudante de engenharia, Beatriz Forastiere, os técnicos Valentim Monzane, Luiz Godoy e Jorge Novi, em dinâmicas de “brainstorming”.

A partir do conceito definido, as etapas de desenvolvimento do projeto mecânico componentes do projeto preliminar e detalhado seguiram o fluxo de atividades presentes na Figura 2.

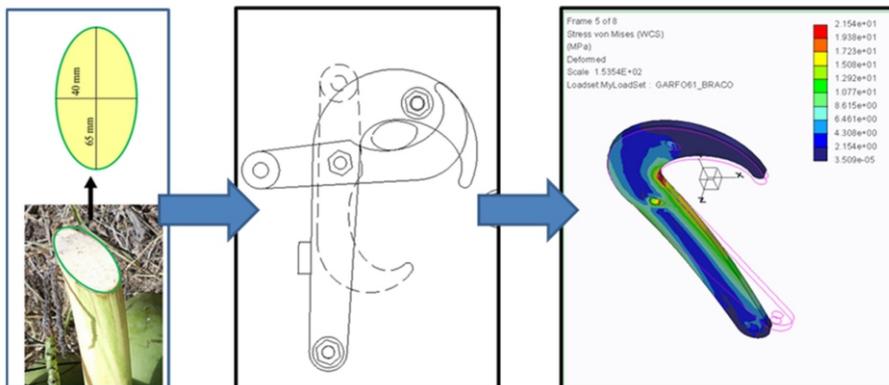


Figura 2. Etapas do desenvolvimento do projeto preliminar e detalhado.

A lista de requisitos alimentou as condições de modelagem em ambiente CAD (computer-aided design) e após a definição da geometria do modelo, foram realizadas verificações estruturais das peças críticas.



Figura 3. a) Protótipo de ensaios na área produtora em Novo Horizonte -SP b) Visão geral da área de produção de coco verde.

Para a realização dos experimentos de testes em campo foi procurada uma região próxima à São Carlos-SP. Para isso, pesquisou-se na região, produtores que disponibilizariam a sua área de campo para a realização dos experimentos, e os ensaios foram realizados numa área produtora chamada de sítio São João, localizada na cidade de Novo Horizonte – SP. A Figura 3 mostra uma visão geral da área produtora onde foi testado o equipamento.

Em relação aos ensaios de campo foram testadas três formas de montagem da haste de auxílio a colheita, sendo duas foram alternadas a posições da garra. A primeira na posição original do conjunto (Figura 4(a)), a segunda foi invertida a posição da garra no garfo para que o fechamento do pedúnculo ocorra na porção superior (Figura 4(b)). Por fim, a última forma de montagem da haste foi teste da foice fora como uma segunda haste de colheita independente Figura 4(c).



Figura 4. Ensaios do protótipo: a) Haste de colheita combinada com a foice b) Haste de colheita sem a foice e com a garra em posição invertida c) Haste de colheita sem a foice e a garra na posição original.

Os resultados dos ensaios foram avaliados através de filmagens da operação para análise dos princípios de funcionamento e para a identificação de pontos de melhoria na operação do equipamento.

Resultados e discussão

Definição do modelo conceitual da haste de auxílio à colheita de coco verde

Conforme a indicação da metodologia se iniciou a geração do conceito em reuniões de “brainstorming” balizadas pelo uso do diagrama funcional presente em Kawahara (2017) e a matriz morfológica da Figura 5. Com isso, a ideia geral

para início do conceito seria promover incrementos de mecanização, mas não com uma alteração disruptiva do padrão de colheita atualmente empregado, justamente para que haja uma documentação do aprendizado dos ensaios e facilite a implementação por parte do produtor de forma rápida. Assim, selecionou-se a manutenção de hastes de colheitas, mas que todos os esforços sejam transferidos para os mecanismos de suporte. Com essa consideração selecionou-se um caminho, B5-C3-D1-E1, para a geração do conceito da haste de auxílio a colheita. Neste a ideia central era a utilização de uma haste de colheita direcionada por um colhedor, mas suportada por uma coluna. Essa haste deveria incluir um elemento de fixação do pedúnculo do cacho que permitisse ao colhedor pescar o cacho antes da realização do corte e descida. O corte se manteria o atualmente empregado com o uso de uma foice, e a descida do cacho seria por içamento apoiado na coluna de suporte que estaria ancorada numa carreta de rodas, que também serviria para o armazenamento e translação do equipamento.

Alternativa / Função	1	2	3	4	5
(A) Elevação	Rodas tracionadas 	Braços articulados 	Plataforma tesoura 	Elevação telescópica 	
(B) Posicionamento	Cartesiano (LLL) 	Polar (RRL) 	Cilíndrico (RLL) 	Angular (RRR) 	Pessoa 
(C) Cortar o cacho	Tesoura poda 	Serra linear / rotatória 	Foice / foice 	Tração 	
(D) Descer o cacho	Içamento 	Amortecedor 1 	Amortecedor 2 	Cesto 	Garfo 
(E) Translação	Rodas 	Esteira 	Pés 		

Figura 5. Matriz Morfológica de alternativas de mecanismos para a colheita de coco verde (KAWAHARA, 2017).

Definido o conceito para o equipamento, o projeto preliminar, focada no desenvolvimento de três mecanismos do processo de colheita do coco verde. O primeiro ponto seria o projeto de um instrumento de fixação e descida dos cachos, através de uma haste e garra de fixação do pedúnculo do cacho. O segundo ponto, seria o sistema de elevação e descida do cacho, através do uso

de uma coluna, para permitir o acesso ao cacho às alturas maiores que oito metros. Por último, a partir dos sistemas anteriores definidos, buscou-se a incorporação destes num sistema de translação para o equipamento em campo, permitindo dessa forma, a realização de um novo ciclo de colheita no próximo coqueiro.

Resultados do desenvolvimento mecânico da garra e haste de auxílio a colheita e a fabricação do protótipo

Iniciou-se o estudo com o desenvolvimento do instrumento de fixação no pedúnculo do cacho, através de uma garra de colheita. Partiu-se da lista de requisitos, já estabelecidas em Kawahara (2017), onde se baseou as medidas dimensionais do pedúnculo conforme a Figura 2. Foram geradas 10 alternativas para esse estudo preliminar a partir das dimensões dos pedúnculos, algumas possíveis alternativas para a garra de colheita, onde as mais promissoras podem ser vistas na figura 6.



Figura 6. Evolução dos modelos da garra de fixação.

As duas primeiras figuras superiores correspondem a um sistema tipo mosquetão, onde o cacho entraria na região central do mecanismo, e pela geometria, combinados ou não pelo uso de molas e elementos afiados, não permitiriam mais a sua saída. As duas figuras inferiores, a garra seria baseada em um sistema de tesouras, onde o próprio peso do cacho favoreceria o aperto da garra, com analogia a alguns sistemas de guindastes. Ainda sim, esses sistemas de garras poderiam contar com um sistema de catracas, como redundância, para garantir a fixação do cacho. Após a avaliação da equipe de projeto, selecionou-se a garra tipo tesoura, por essa apresentar maiores facilidades construtivas, e utilizar o próprio peso do cacho como força de

fixação do pedúnculo. Na sequência, foram concebidos novos ciclos de detalhamento. Com a definição da geometria final, foram atribuídos materiais nas peças, onde em sua grande maioria em alumínio, para a redução de peso o que também permitiu a realização de análises estrutural iniciais de resistência mecânica.

A Figura 7(a), mostra a versão definitiva do conceito da garra com a inclusão do garfo de sustentação e foice, em uma única haste de colheita, com o objetivo de redução do número de colhedores necessários à operação, de três pessoas para uma única. Após a definição do conceito modelado em ambiente CAD a equipe de projeto iniciou o detalhamento em elementos de máquinas da haste de colheita, para permitir a fabricação na oficina mecânica da Empresa Instrumentação e conseguir gerar uma lista de materiais para compra. A Figura 7(b) mostra um detalhe do conjunto geral da haste de colheita. Por fim, a Figura 7(c), mostra o resultado após a construção do protótipo. Os demais desenhos de fabricação da haste de auxílio à colheita foram inseridos no Anexo 1.

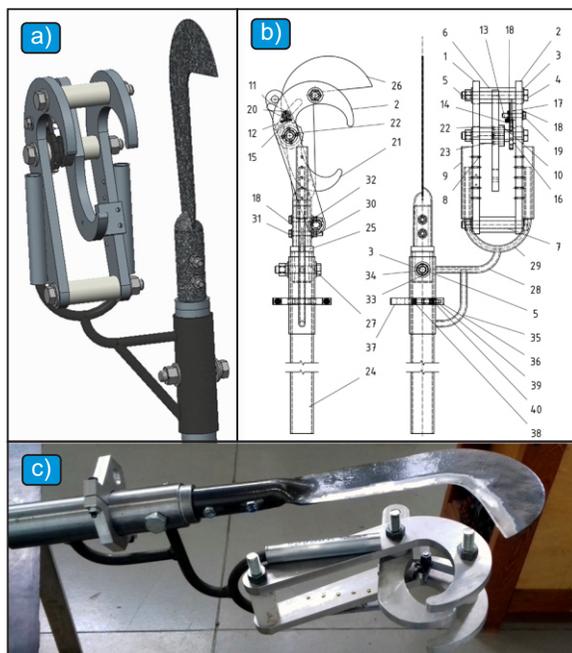


Figura 7. Haste de auxílio a colheita a) Modelo em CAD b) Desenhos de fabricação c) Protótipo construído.

A construção da geometria da haste será importante para a validação da redução da necessidade do uso de três colhedores e assim um incremento e mecanização do processo, a geometria permite a fixação da garra no cacho em duas posições de suporte no garfo da haste de colheita a ser definido nos ensaios de campo a serem realizados.

Resultados da incorporação da haste de auxílio à colheita a um sistema de translação em campo.

Para que a ideia conceitual da haste de auxílio à colheita funcione de forma correta seria necessário a sua incorporação a uma coluna de sustentação e também para a realização do içamento do gancho após o corte do pedúnculo do cacho. Além de permitir a translação da haste e dos cachos colhidos sem a necessidade do colhedor carregar a massa até o próximo coqueiro. Para isso a equipe de projeto considerou montar uma viga e coluna de suporte em cima de uma carreta rebocada por um trator, conforme mostrado na Figura 8(a).

Entretanto, como esse conceito está em fase de validação procurou-se adaptar o sistema a um braço articulável com caminhão guindaste, conforme mostra a Figura 8(b), para a realização dos ensaios de validação em campo. As dimensões utilizadas como base para o dimensionamento, do caminhão guindaste, foram as do veículo pertencente a Embrapa instrumentação como apresentada na Figura 8(b). Com essa revisão, a translação do protótipo em campo, foi alterada para ser realizado por um caminhão com guindaste, e a caçamba também servirá de reservatório de armazenamento para os cachos de colheita.

A Figura 8(c) mostra um detalhe do conjunto geral do projeto da viga que foi fabricada na oficina mecânica da Embrapa Instrumentação. Dessa forma, foram definidos os elementos de máquinas necessários a compra e fabricação do equipamento. Os demais desenhos de fabricação da viga de suporte a haste foram inseridos no Anexo 2.

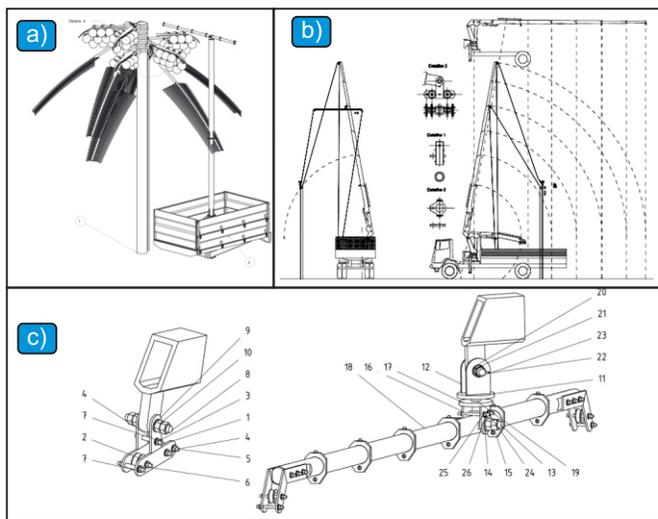


Figura 8. Coluna e viga de suporte da haste de auxílio a colheita a) Modelo da carreta b) Adaptação para a utilização do guindaste da unidade da Embrapa Instrumentação c) Desenhos do protótipo final construído.

A viga possui 3 metros de comprimento para permitir uma aproximação da haste de colheita enquanto a carreta esta passando na ruas do plantio e foi feita em poliacetileno para favorecer a redução do peso e permitir certa flexibilidade e amortecimento no momento do corte do pedúnculo do cacho, além da presença de olhais em alumínio e roldanas para a passagem das cordas de içamento do cacho e suporte da haste de colheita.

Testes de funcionamento e ensaios de colheita na cultura do coco.

Após a montagem final da garra e haste de colheita, foram realizados os primeiros testes de funcionamento do equipamento dentro do barracão do Lanapre (Laboratório Nacional em Agricultura de Precisão da Embrapa Instrumentação), para permitir eventuais ajustes do equipamento e a partir dessa validação, iniciar a etapa posterior de ensaios de colheita e de avaliação das operações de posicionamento, de fixação do pedúnculo e descida do cacho.

A Figura 9, mostra algumas imagens dos ensaios realizados. Nestas as Figura 9 (a) e (b), mostram os testes de funcionamento no Lanapre com e sem a viga de auxílio ao posicionamento e a utilização do guindaste para a execução da operação de colheita. Na sequência, as Figuras 9 (c) e (d), mostram dois ensaios onde foi possível o posicionamento, fixação e descida dos cachos realizados pela haste de colheita.

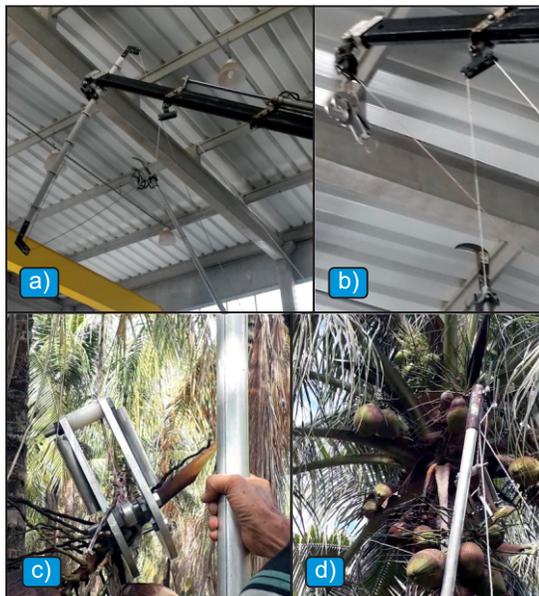


Figura 9. Teste de funcionamento e ensaios de campo realizados: a) e b) Barracão do Lanapre, b) e c) Ensaios em Novo Horizonte –SP.

Para os testes de funcionamento da viga no barracão, esta que deveria permitir e favorecer o alcance da haste de colheita em relação ao cacho permitindo dois graus de liberdade em relação a posição do coqueiro, um rotacional em relação ao eixo de elevação, e o segundo angular em relação à horizontal. Entretanto, o ajuste angular horizontal da viga restringiu a movimentação do colhedor, pois a todo momento, este teve que compensar o movimento na corda dificultando a operação de posicionamento da haste de colheita. Com a retirada da viga, Figura 9(b), o melhor posicionamento de ancoragem no guindaste foi com a haste fixada no furo localizado na extremidade, pois sua posição mais elevada favoreceu sua sustentação. Outro ponto, o comprimento da corda deve ser adequado para que não limite a movimentação de posicionamento da vara no momento de fixação do gancho no pedúnculo do cacho, mas não pode ser muito comprida para não sustentar o peso da haste e transferir todo o peso para o colhedor. De modo de geral, a vara ainda se apresentou com grande massa para a operação, e reduções e alívios devem ser previstos. Por fim, uma alteração no percurso de uma corda no mecanismo da garra, favoreceu o seu correto funcionamento para o fechamento através da tração da corda, permitindo que fossem realizados testes de operação em campo.

Para os ensaios de campo, onde foram avaliadas as funções de posicionamento, fixação do gancho, corte do pedúnculo e descida do cacho os resultados foram os seguintes: em relação ao posicionamento, a centralização do gancho favoreceria o posicionamento, pois a haste trabalhando desbalanceada dificultou o controle de posicionamento pelos colhedores. A espessura total da garra deve ser reduzida para permitir maior alcance do pedúnculo, pois verificou-se nos ensaios uma pequena região disponível para o agarre e sempre com a presença de folhas que dificultam o acesso correto do posicionamento. Outra dificuldade encontrada em campo foi a inexistência de um ajuste angular de posicionamento da garra na extremidade da haste, ou seja, não permiti o movimento da garra ao ser acoplada ao garfo, o que dificulta o seu correto alinhamento angular em relação ao eixo do pedúnculo do cacho. Esse desalinhamento pode dificultar o agarre da garra ao ponto de aliviar a fixação e permitir a queda do cacho. No que se diz em respeito a fixação da garra, dentre as duas posições possíveis da garra, a posição invertida se comportou de forma mais adequada, apresentando menor sensibilidade a fixação do cacho no momento da operação de corte do pedúnculo, pois na posição original o impacto gerado após a inversão de orientação da garra, realizado pela gravidade após o cisalhamento do pedúnculo, pode favorecer a abertura da garra e queda do cacho. Outro ponto observado na fixação do garra foi o escorregamento do pedúnculo do cacho, apesar dessa superfície apresentarem certa rugosidade de fabricação pela não usinagem.

No que diz respeito ao corte, a foice incorporada com a haste da garra restringiu o acesso ao cacho, no momento do agarre do pedúnculo, o que resultou na necessidade de inclusão de uma haste separada para a realização do corte. Com isso, nos testes com a foice separada da garra, permitiu maior mobilidade

para o corte e maior acesso ao pedúnculo. Outro ponto foi que a presença de folhas dificultou a operação da foice por amortecer e limitar a aceleração da mesma. Por fim, no que concerne a descida dos cachos, foi possível descer o cacho utilizando um olhal pertencente da vara. Com isso, a garra apresentou o seu princípio de funcionamento comprovado como mostram as Figura 9(c) e (d).

A Tabela 1 correlaciona às funções de colheita definidas em Kawahara (2017), com os principais resultados encontrados nos ensaios de campo.

Tabela 1. Resultados dos ensaios experimentais correlacionados as funções de colheita.

Etapas da colheita	Resumo da contribuição do ensaio
Elevação	<ul style="list-style-type: none"> - A haste de colheita deverá ser trocada por um tubo de materiais compósito, de menor densidade e resistência similar ao empregado em alumínio, onde se for utilizado à fibra de vidro, proporcionaria uma redução de 6,7kg para 5,5kg a ser elevada na operação de colheita.
Posicionamento	<ul style="list-style-type: none"> - Dentre as posições testadas as operações com a garra invertida, ou seja, com a parte móvel voltada para a parte superior do pedúnculo dos cachos apresentaram melhor firmeza e menor oscilação para a fixação da garra na hora do corte. - A garra necessita ser mais estreita para facilitar o posicionamento no local a ser fixada a garra, pois este sofre influência da curvatura do pedúnculo. - A centralização da garra vai favorecer o posicionamento da garra próximo ao ponto de acesso ao local de fixação. - Existe a necessidade da inclusão de um grau de liberdade angular para o correto posicionamento da garra no pedúnculo, que modifica sua posição conforme a localização e condições de desenvolvimento do cacho com o decorrer do tempo.
Corte do cacho	<ul style="list-style-type: none"> - A operação com uso de uma segunda haste com a foice proporcionou uma melhor operação da haste de colheita. A principal razão da falta de efetividade da haste combinada seria a descentralização do peso na haste que dificultou o controle preciso do corte. - O uso da foice para a realização do corte foi em muitas vezes prejudicado pela presença da folha. A forma de corte pela energia de impacto exige um percurso para aceleração e a presença de folhas prejudicou esse deslocamento e ou amorteceu o impacto final.
Descida do cacho	<ul style="list-style-type: none"> - Nos ensaios realizados, a utilização da garra desempenhou a função requerida em todos os casos em que foram solicitadas. - Uma melhoria de desempenho da função seria produzir uma maior textura as faces da garra facilitando a fixação do cacho e evitando o escorregamento.
Translação	<p>Não foram avaliados nesse momento os ensaios sobre os sistemas de translação da carreta em campo combinados com uso da vara conforme descritos na metodologia. Entretanto com as conclusões dos ensaios foi possível direcionar modificações do operacional em campo.</p>

Ajustes na geometria do protótipo e discussão sobre alternativas de mecanização da colheita na cultura do coco.

A partir dos resultados dos ensaios do equipamento foi possível prever modificações tanto para haste de auxílio a colheita como formas alternativas de soluções no caso de haste ainda não apresentar o rendimento desejado. A importância desse resultado está no direcionamento dos próximos estudos na mecanização da colheita de coco verde.

Para os primeiros testes de funcionamento, com base nos resultados da seção anterior foram modificados os desenhos da coluna conforme a Figura 10 (a),(b) e (c), nesta um grau de liberdade, ajuste angular em relação a horizontal, foi retirada, com a fixação da viga na coluna através de cabos de aço. Com isso, a coluna apresentaria somente o giro em relação ao seu eixo longitudinal. Também foi incluído um pequeno sistema de guincho elétrico para auxiliar a descida do cacho e retirar os esforços de tração da corda do colhedor (Detalhe 1 da Figura 10(a)). Outra revisão na estrutura foi na coluna pela substituição de uma coluna rígida única, por uma coluna de tubos menores com o objetivo de redução de peso, mas que mantenha, pela composição dos tubos na parte central da coluna, a resistência aos critérios de flambagem já aplicados a coluna única. A Figura 10(c), mostra a posição excepcional de transporte da coluna fora do campo de colheita, com a redução da coluna da extremidade, por recolhimento da tubulação e dobra da porção central.

Em relação ao ensaio de colheita, após a análise das imagens e processo da seção anterior, iniciou-se a fase de revisão da geometria principalmente da haste de colheita. O primeiro ponto de modificação foi à geometria da garra, para isso foram trazidos alguns pedúnculos de cachos para o retrabalho de ajuste da geometria do gancho a curvatura desse material. A figura 10(d) mostra o resultado final com os ajustes da garra. Neste foi invertida a posição de movimento de fechamento, sendo que o apoio do cacho agora será realizado por baixo. Também foram reduzidas as dimensões da ponta da aba superior da garra para facilitar sua introdução em meio às folhas. Ademais, foram incluídas ranhuras nas superfícies internas do ganho, perpendiculares aos sentidos das fibras do pedúnculo com o objetivo de redução do escorregamento do pedúnculo como identificado na seção anterior. Outra modificação em relação à haste foi a separação da foíce em uma segunda haste e centralização da garra em relação ao eixo da haste. A Figura 10 (b) mostra como ficou o resultado final das revisões da geometria.

A observação que se faz em relação ao uso da garra na haste, mesmo com a redução da espessura total da mesma, estas deveriam possuir um ajuste angular para permitir o correto ajuste ao eixo do pedúnculo do cacho, o que pode dificultar a operação, sendo uma possível solução a elevação do operador para permitir esse controle de posicionamento. Além disso, a elevação do colhedor permitiria a utilização do corte por uma tesoura pneumática ou elétrica que necessitaria de menor espaço para a realização do corte, sem a necessidade de aceleração do movimento.

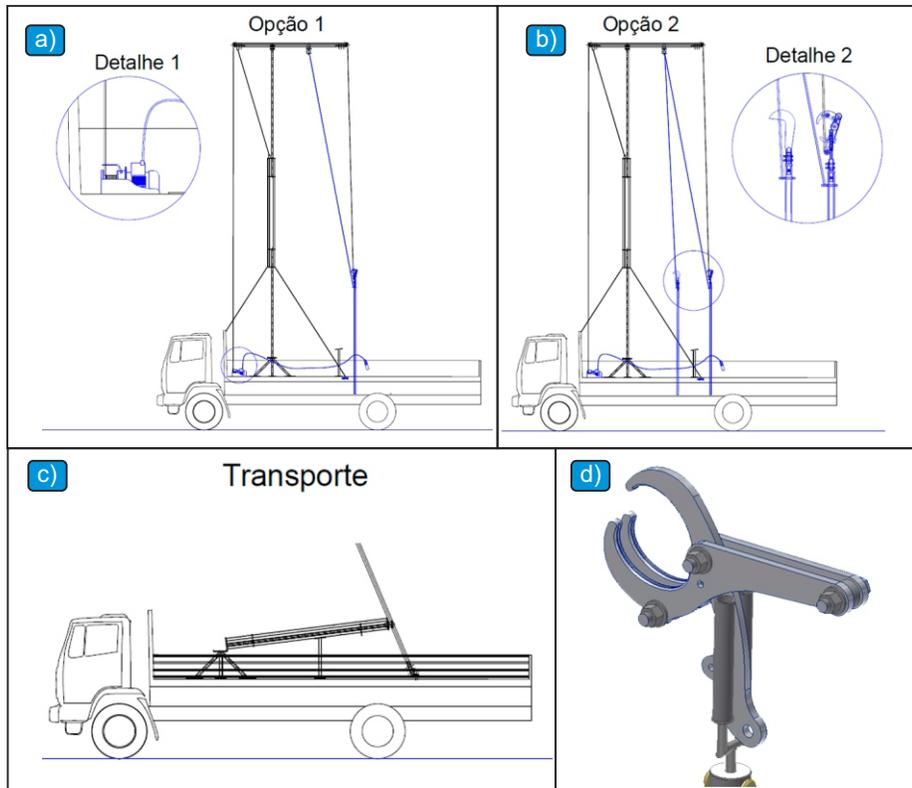


Figura 10. Modificações no protótipo após a análise dos resultados do ensaio: a) Modificação na coluna de suporte, b) Inclusão da separação das hastes, c) Previsão do recolhimento da coluna para o transporte e d) Modificações na garra de fixação do cacho.

A observação que se faz em relação ao uso da garra na haste, mesmo com a redução da espessura total da mesma, estas deveriam possuir um ajuste angular para permitir o correto ajuste ao eixo do pedúnculo do cacho, o que pode dificultar a operação, sendo uma possível solução a elevação do operador para permitir esse controle de posicionamento. Além disso, a elevação do colhedor permitiria a utilização do corte por uma tesoura pneumática ou elétrica que necessitaria de menor espaço para a realização do corte, sem a necessidade de aceleração do movimento.

Pensando nessa possibilidade de incluir a elevação do operador a execução da tarefa, foram geradas algumas alternativas de conceitos a serem avaliadas em estudos futuros. A Figura 11 mostra o conceito final com as revisões e mais três alternativas conceituais geradas com a utilização da matriz morfológica presente em Kawahara (2017).

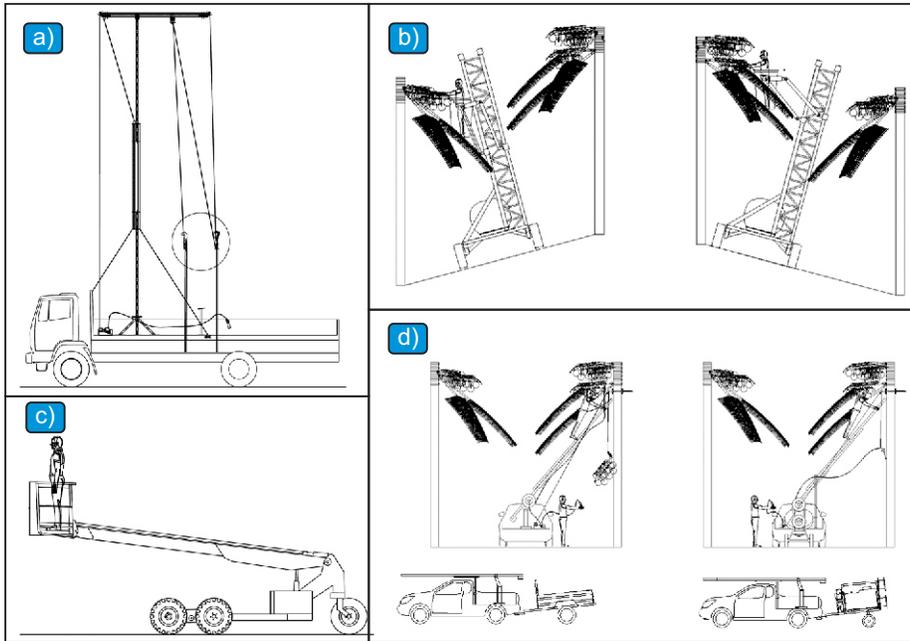


Figura 11. Alternativas para o sistema de elevação do colhedor: a) Modelo final sem a elevação do colhedor b) Modelos com elevação através de coluna treliçada, c) Modelo de elevação por braço articulado e acionado por cilindro hidráulico, d) Modelo de elevação por uma escada telescópica.

A Figura 11 (b) mostra um exemplo de utilização do sistema de elevação através de uma coluna de treliça de elementos metálicos e braços articuláveis de nivelamento da gondola do colhedor. Nesta o posicionamento da garra seria manual e o corte realizado por tesouras pneumáticas ou elétricas. A descida do cacho também seria por içamento como validado nos estudos das hastes de colheita e a única diferença seria que os olhais de passagem da corda na descida, passariam da viga para um suporte a ser fixado no caule do coqueiro no momento da colheita e a translação em campo seria auxiliada por um trator, que tracionaria o equipamento pela barra de tração. As outras opções das Figuras 11 (c) e (d), modificam o sistema de elevação para braços articulados hidráulicos e uma escada telescópica, mantendo iguais as demais funções. Outra diferença da Figura 11 (c) e (d), seria a translação do equipamento em que na Figura 11(b), este seria tracionado por uma máquina autopropelida a ser controlada pelo colhedor e a alternativa 11(d) seria adaptado em cima de uma caminhonete de pequeno porte.

A principal vantagem desses sistemas em comparação ao sistema de haste de colheita seria permitir que a operação de pulverização poderia ser utilizada no mesmo equipamento com pouca modificação para inclusão dos reservatórios

mangueiras, bombas e pistolas de pulverização. A principal desvantagem seria o custos de fabricação, pois inclui sistemas mais complexos e que exigiriam maior gasto inicial de compra do equipamento, e conseqüentemente sua aplicação necessita ser avaliada tecnicamente e economicamente.

Conclusão

Com a proposta da haste de auxílio à colheita foi possível verificar as funções que ainda necessitam de estudo mais aprofundado, como as funções de elevação e posicionamento, caracterizadas com as principais restrições a mecanização da colheita de coco. Entretanto, recomendações de modificações ao implemento foram dadas e formas alternativas mais ajustadas ao processo foram identificadas. Com isso a discretização e os testes do protótipo serviram para orientar a necessidade um novo ciclo de desenvolvimento incremental, concentrado nas duas funções restritivas do equipamento. Portanto, o estudo vem a contribuir com as atividades de projetos em engenharia e experimentação de protótipos, além da geração de alternativas de solução para prosseguir no sentido de mecanização do processo de colheita de coco tão necessário para o setor.

Referência bibliográfica

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; GAMERO, C. A. Desenvolvimento e projeto da colhedora de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar nas regiões de matas de transição da Amazônia. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 41, n. 1: p. 337346, 2011.

EUROMONITOR INTERNACIONAL, Coconut water – a word of opportunity. Disponível em <<http://blog.euromonitor.com/2011/06/coconut-water-a-world-of-opportunity.html>>. Acesso em 13 de Nov. 2019.

IDOETA, P. A. Indústria do coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico.<www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/02/140207_coco_reciclagem_abre_pai.shtml> Disponível em acesso em 12/11/2019.

KAWAHARA, Yu. Colheita de coco: um estudo para a mecanização. 133 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

OTTO, K., WOOD, K. *Product Design: Techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. 1104 p.

PAHL, G. et al. *Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PEGNA, F. G. Self-moved ladder for date palm cultivation.; In: INTERNATIONAL CONFERENCE: INNOVATION TECHNOLOGY TO EMPOWER SAFETY, HEALTH AND WELFARE IN AGRICULTURE AND AGRO-FOOD SYSTEMS, 3,2008 Ragusa. *Proceedings...* Ragusa: Ragusa SHWA.

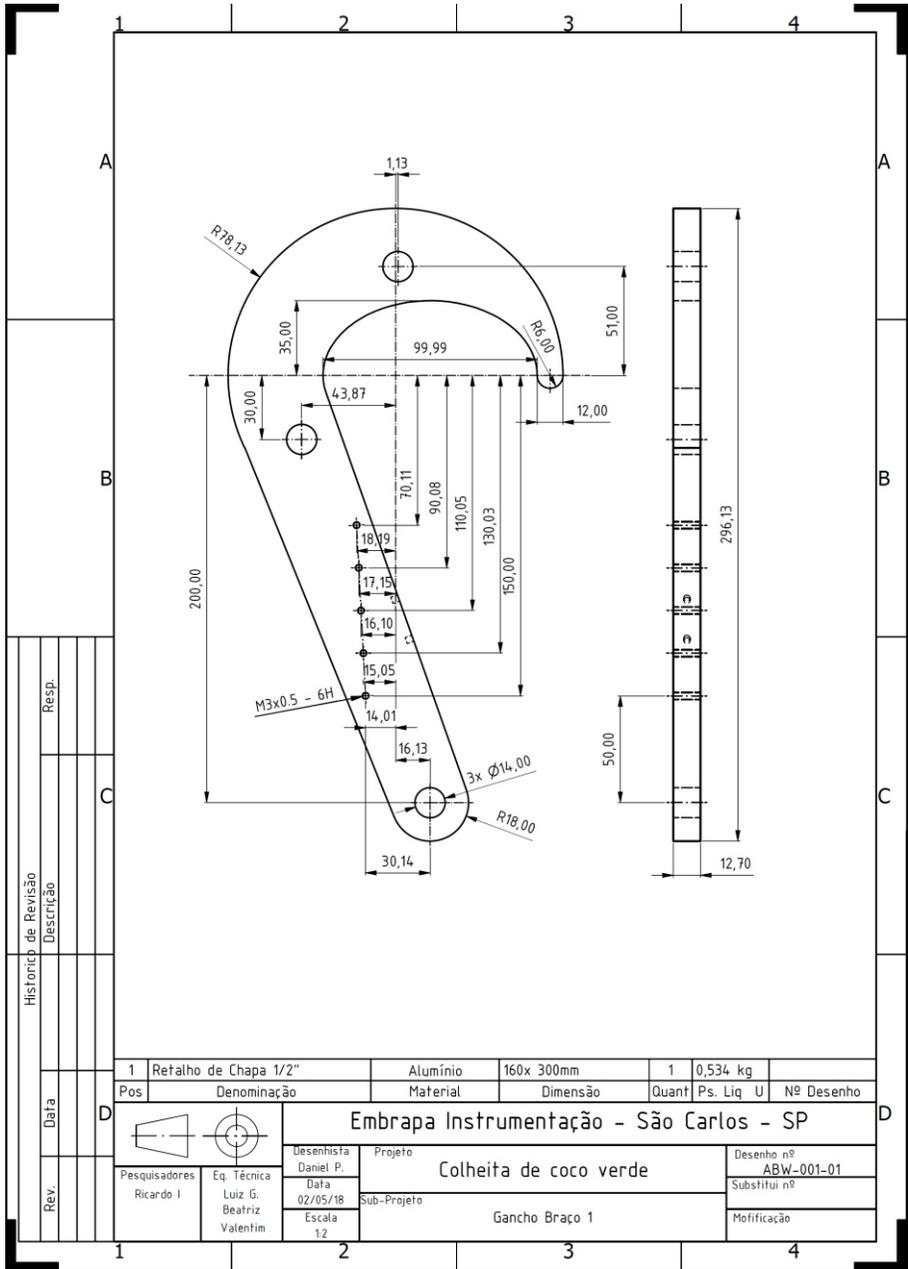
QUARTZ, The American coconutwater craze in one healthnutapproved chart. Disponível em <<http://qz.com/202259/theamericancoconutwatercrazeinonehealthnutapprovedchart/>>. Acesso em 17 de Abr. 2018.

RODRIGUES, A.R., SOUZA, A. F., BRAGHINI JUNIOR, A., BRANDÃO, L.C., SILVEIRA, Z.C. Desenho técnico mecânico: Projeto e fabricação no desenvolvimento de produtos industriais. São Paulo: Elsevier – Campus, 2015. 512p.

RONDÓ, W. Água de Coco traz diversos benefícios à saúde. Disponível em: < <http://www.minhavidacom.br/alimentacao/materias/12560/agua-de-coco-traz-diversos-beneficios-a-saude> > . Acesso em 4 de Jun. 2018.

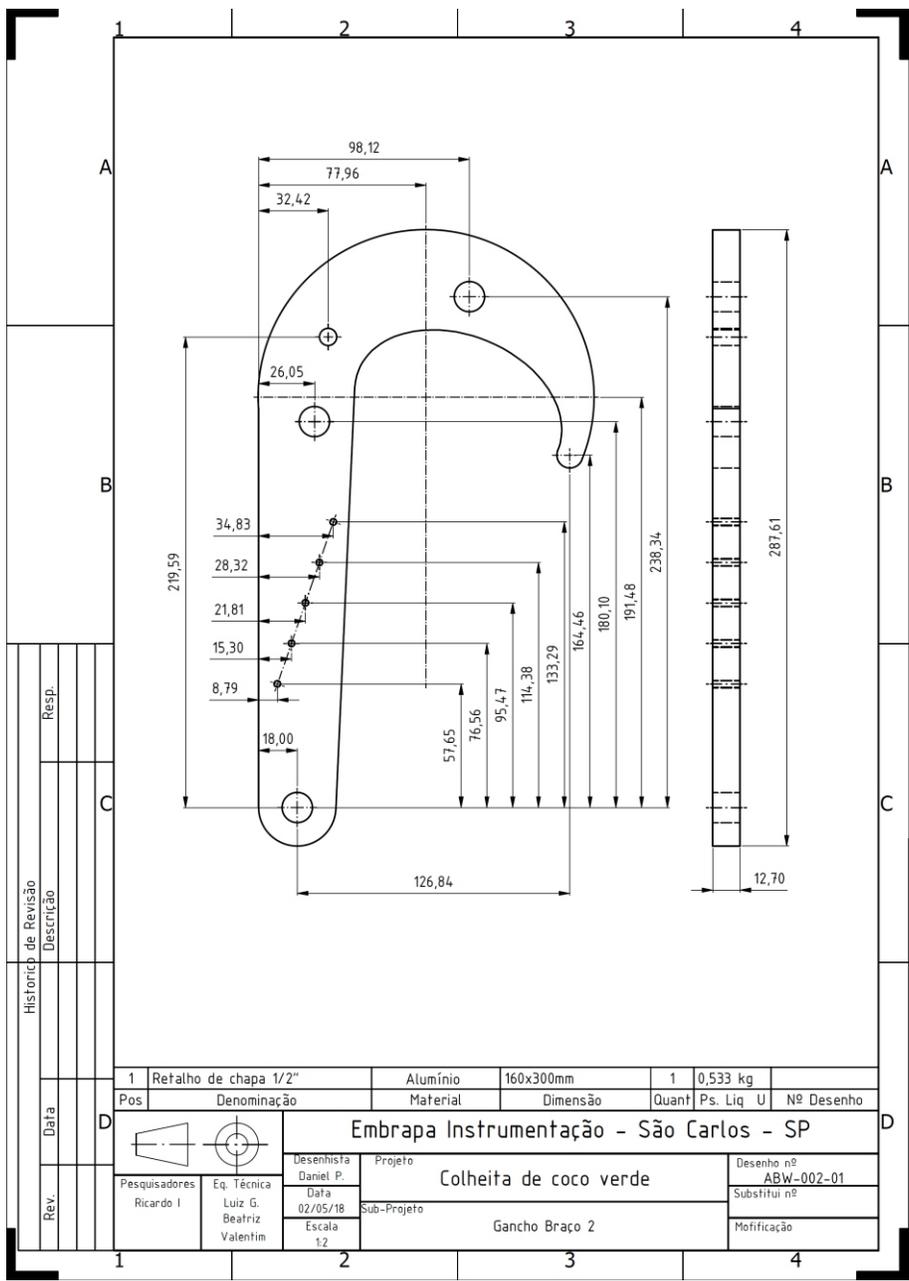
SHAMSI, M.: Design and development of a date harvesting machine. 1998, 235 p. Tese (Doutorado), Cranfield University, Cranfield, 1998. Orientador: John Kilgour.

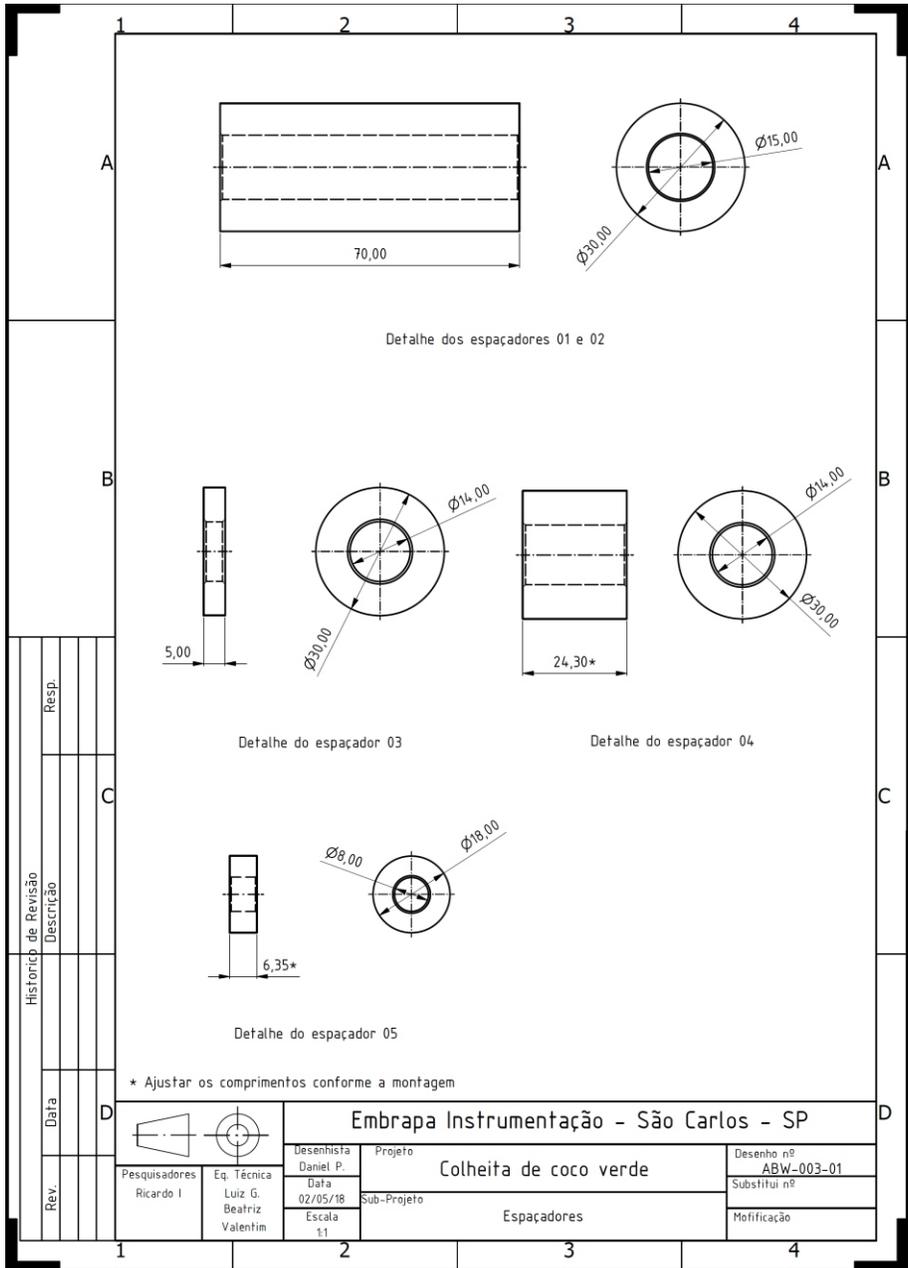
DA SILVA, B. C. F. et al. Desenvolvimento do projeto mecânico de uma haste para auxílio da colheita de coco verde). In: JORNADA CIENTÍFICA-EMBRAPA SÃO CARLOS, 10., 2018, São Carlos, SP. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação: Embrapa Pecuária Sudeste, 2018. p. 82.

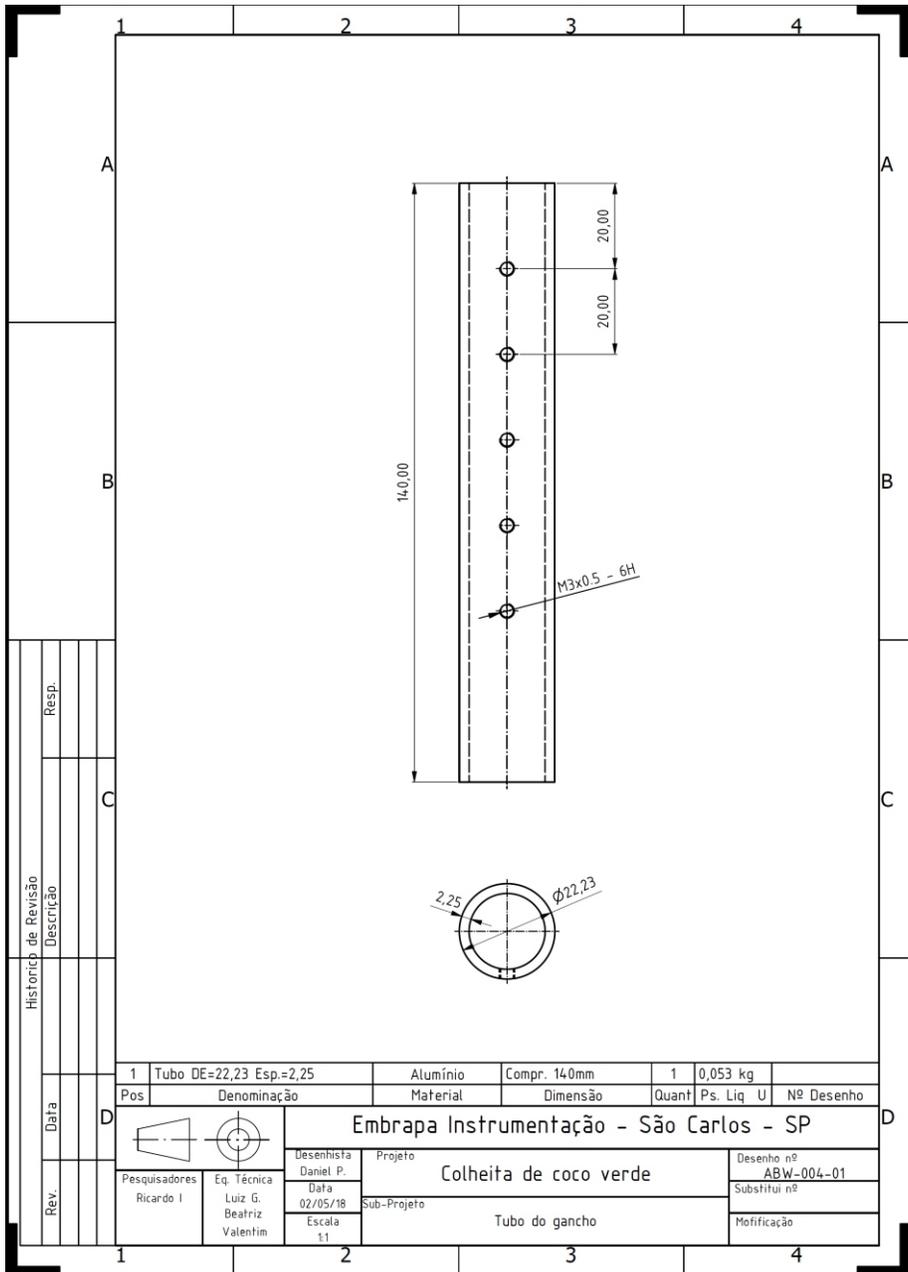


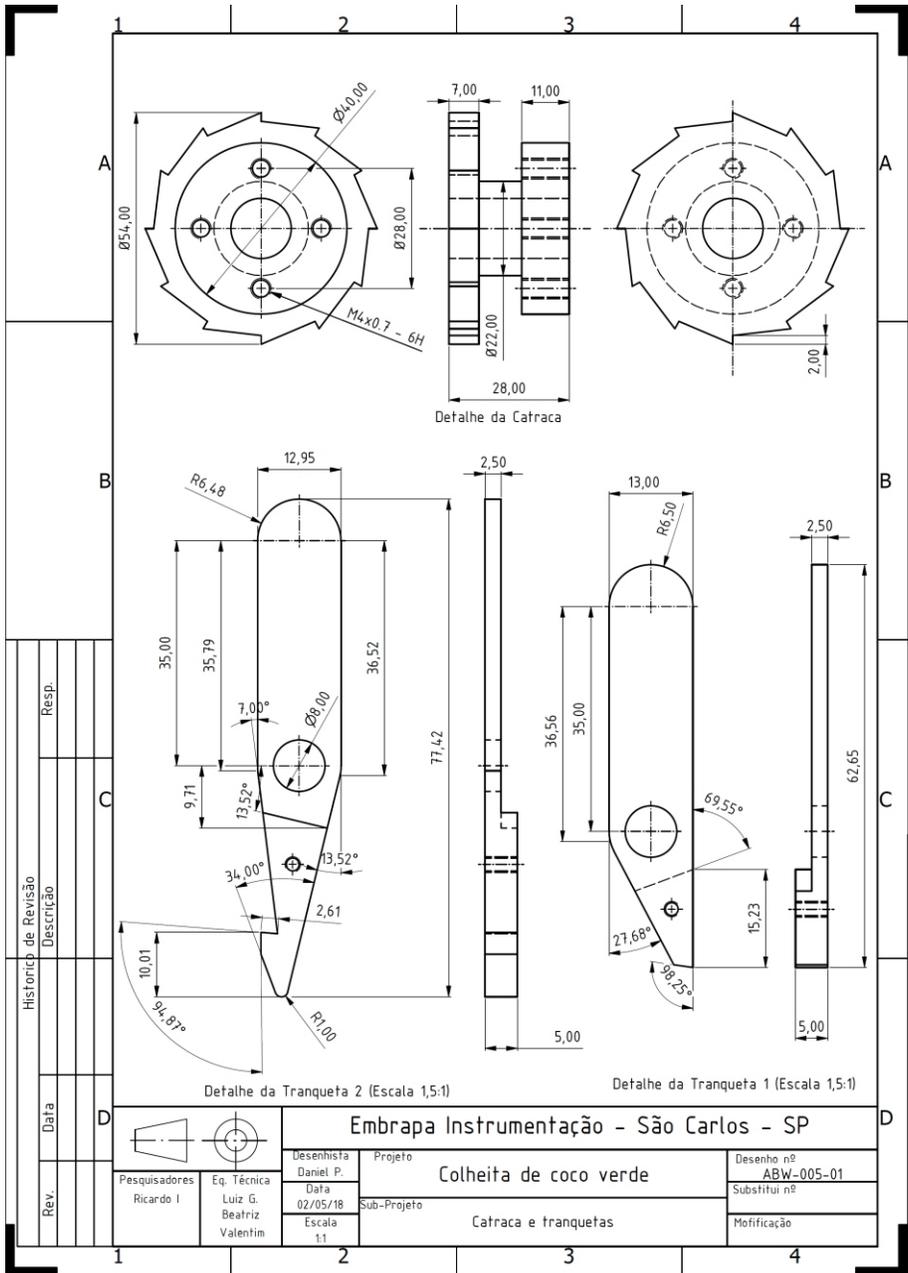
1	Retalho de Chapa 1/2"	Alumínio	160x 300mm	1	0,534 kg	
Pos	Denominação	Material	Dimensão	Quant	Ps. Liq U	Nº Desenho

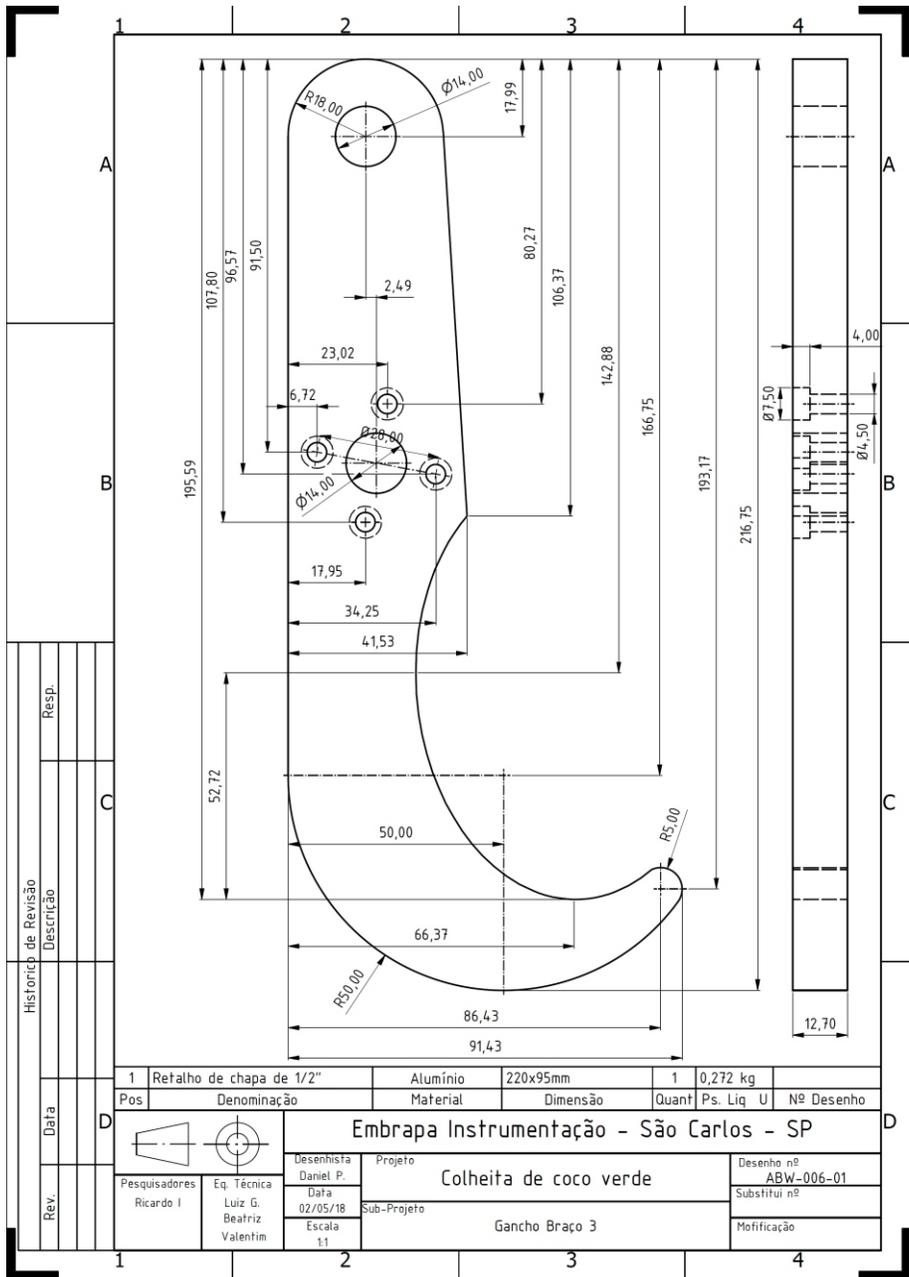
		Embrapa Instrumentação - São Carlos - SP		
Pesquisadores Ricardo I	Eq. Técnica Luiz G. Bealriz Valentim	Desenhista Daniel P.	Projeto	Desenho nº ABW-001-01
		Data 02/05/18	Sub-Projeto	Substitui nº
		Escala 1:2	Gancho Braço 1	Modificação

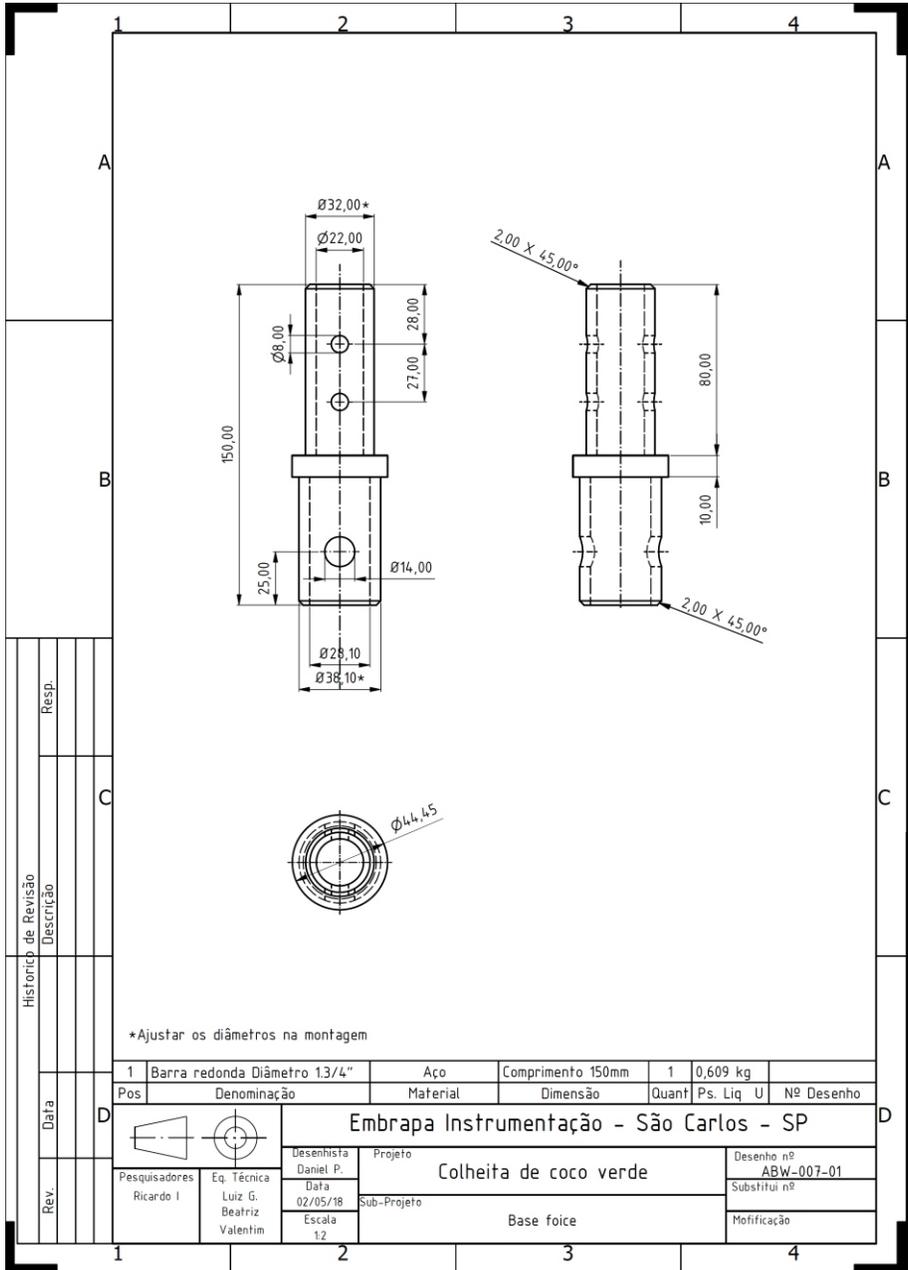


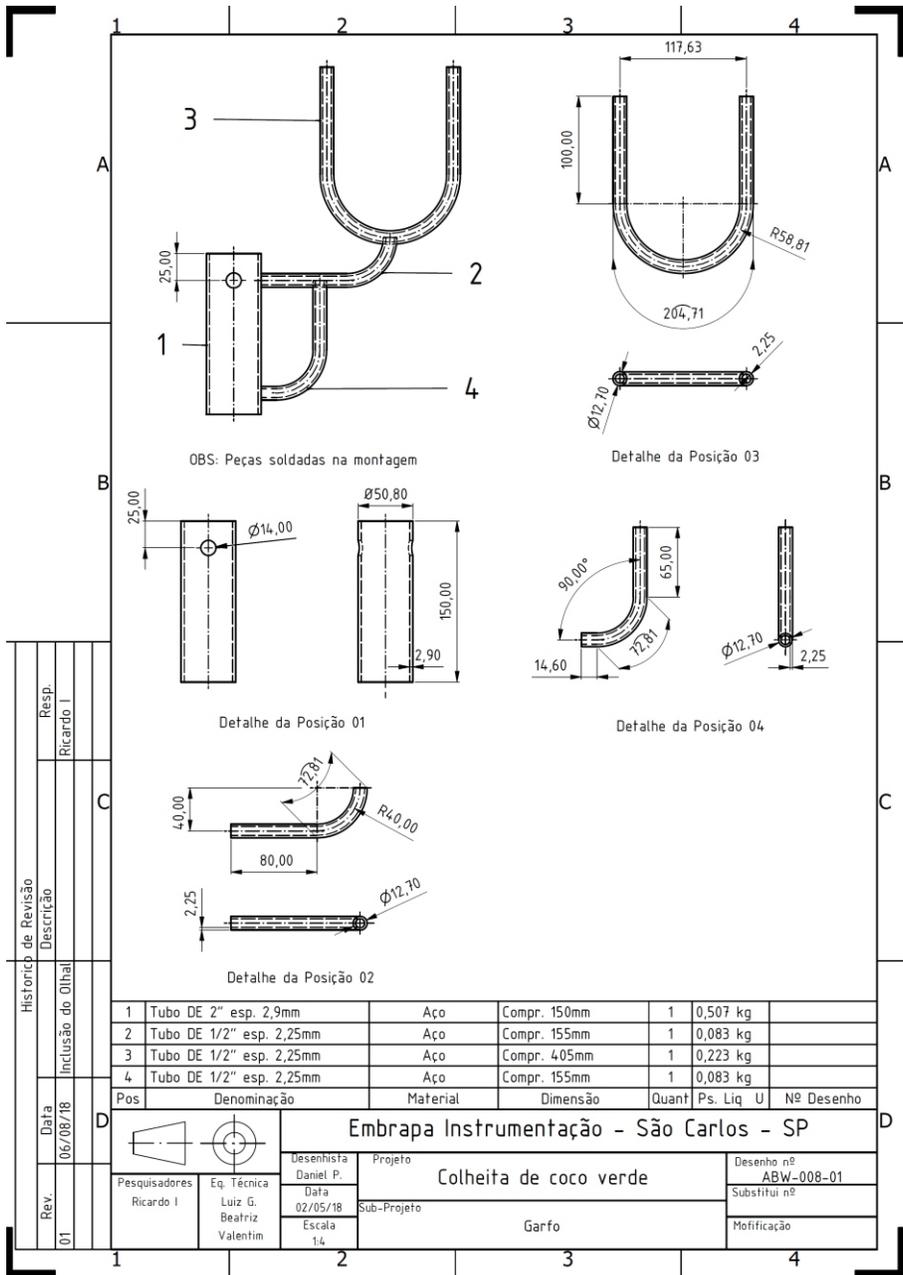


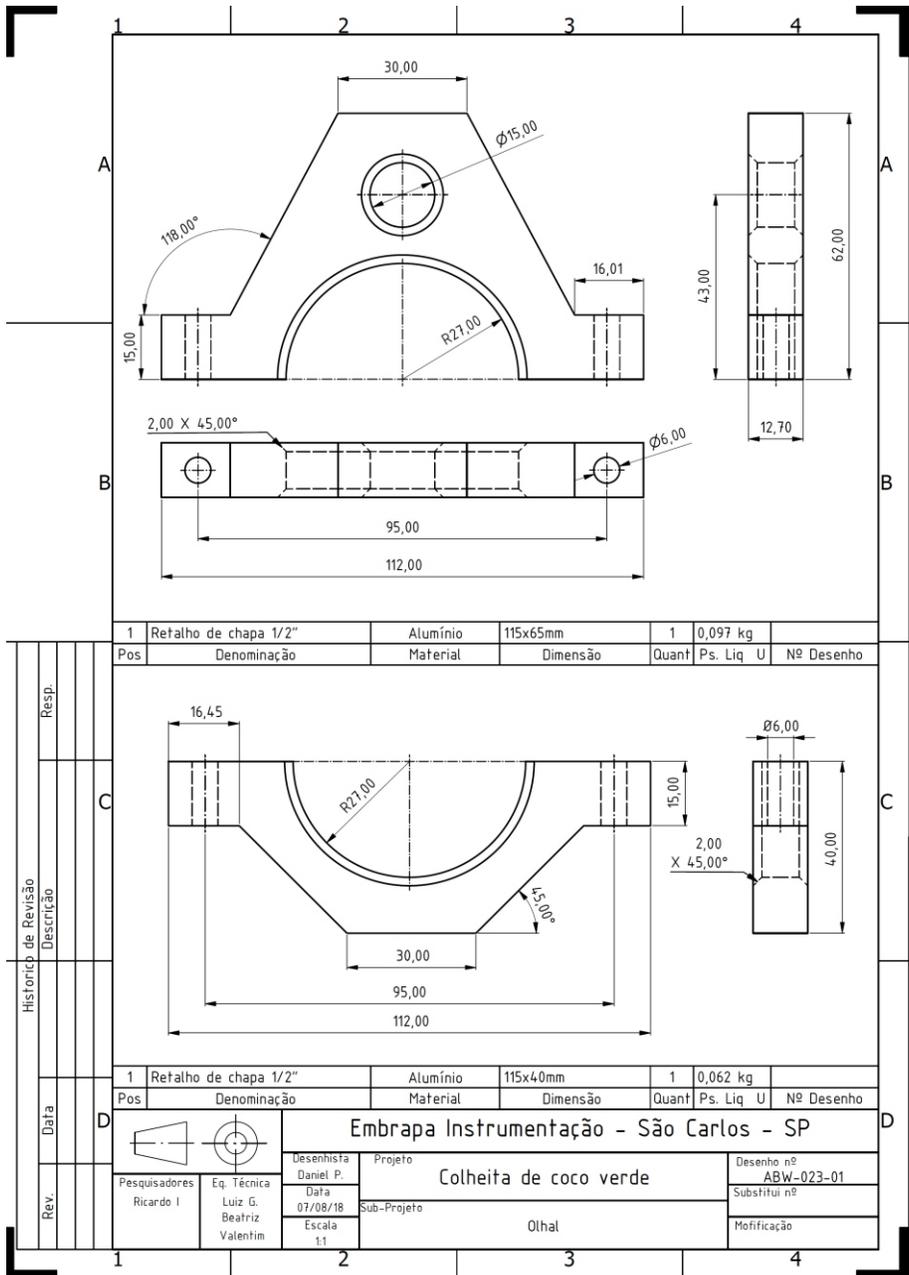


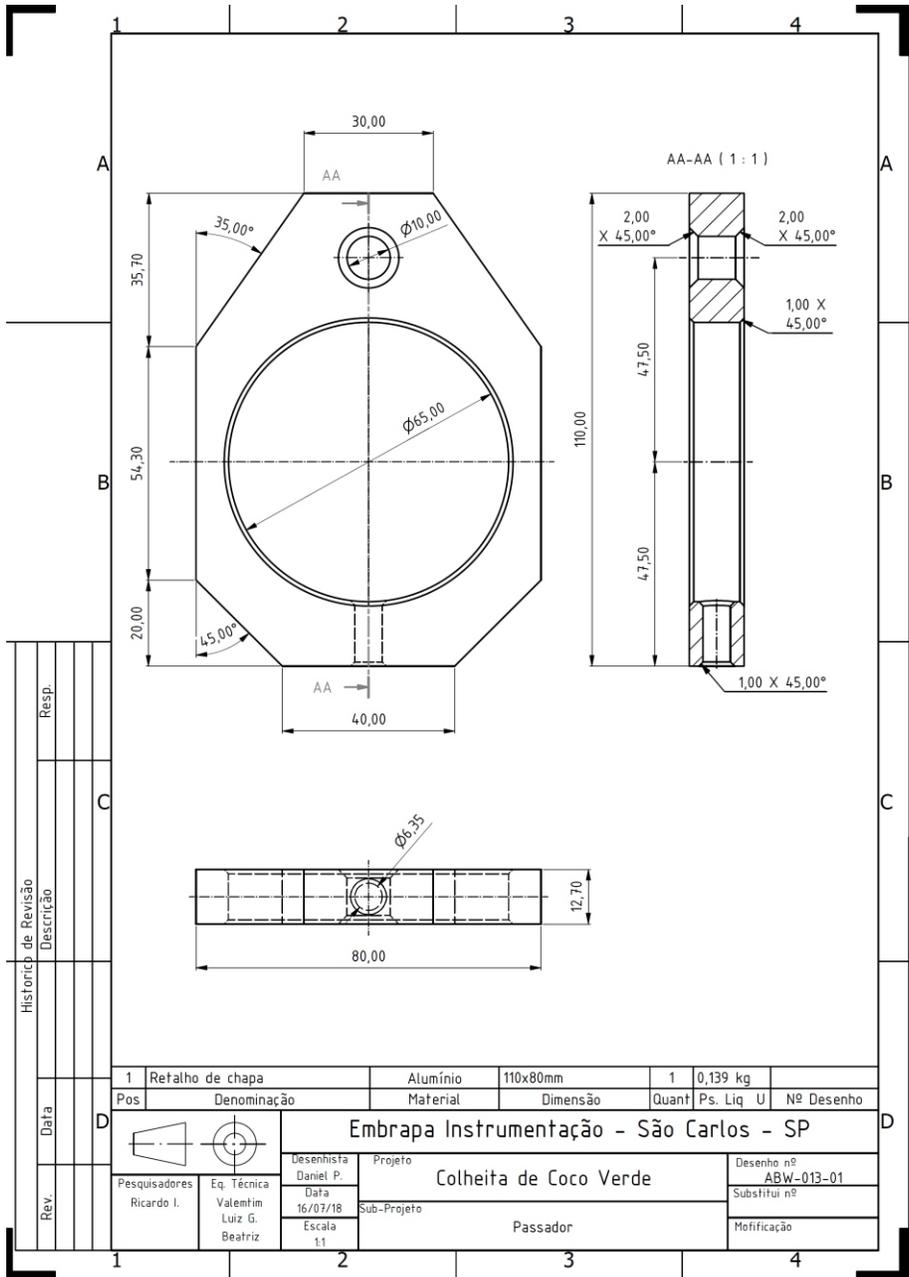






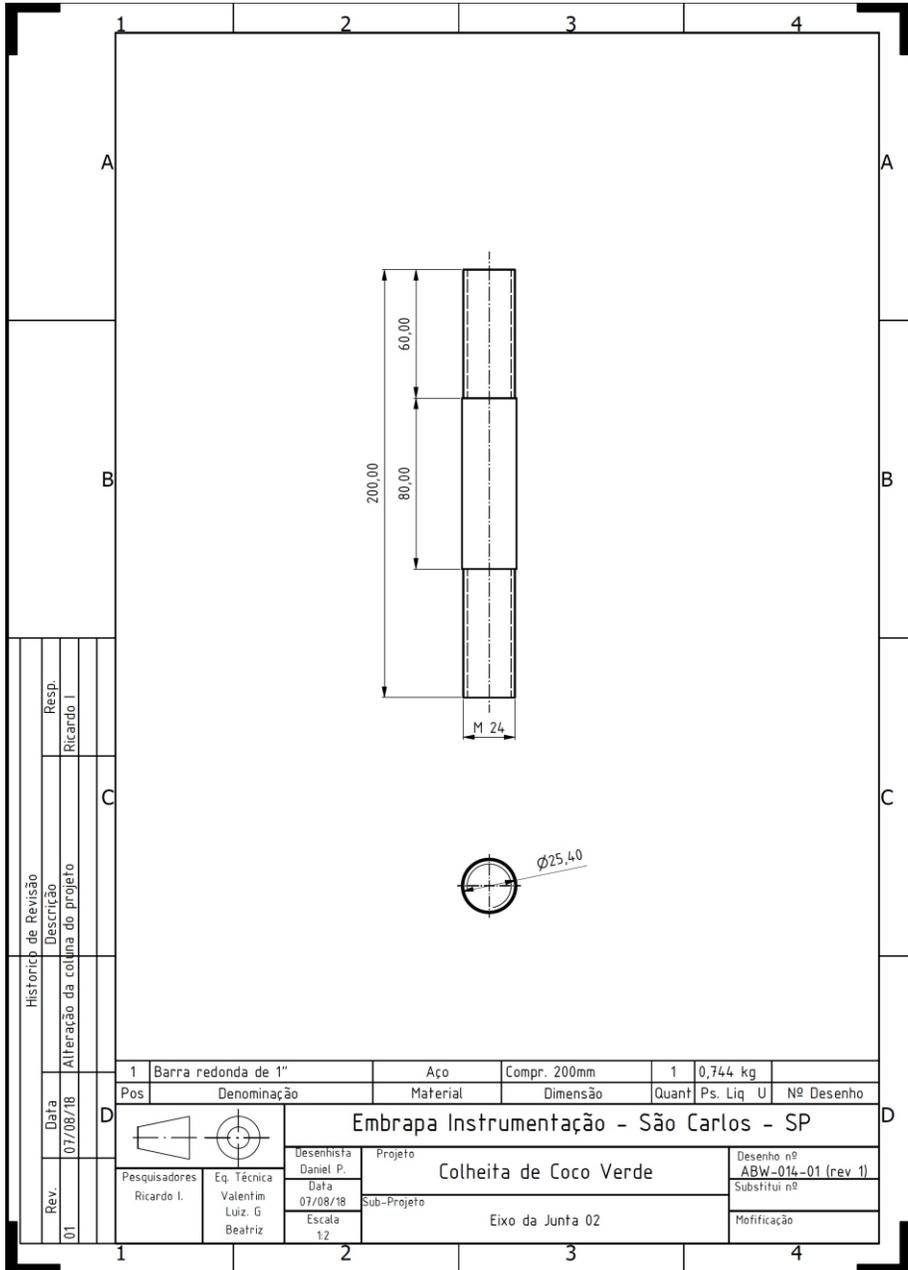






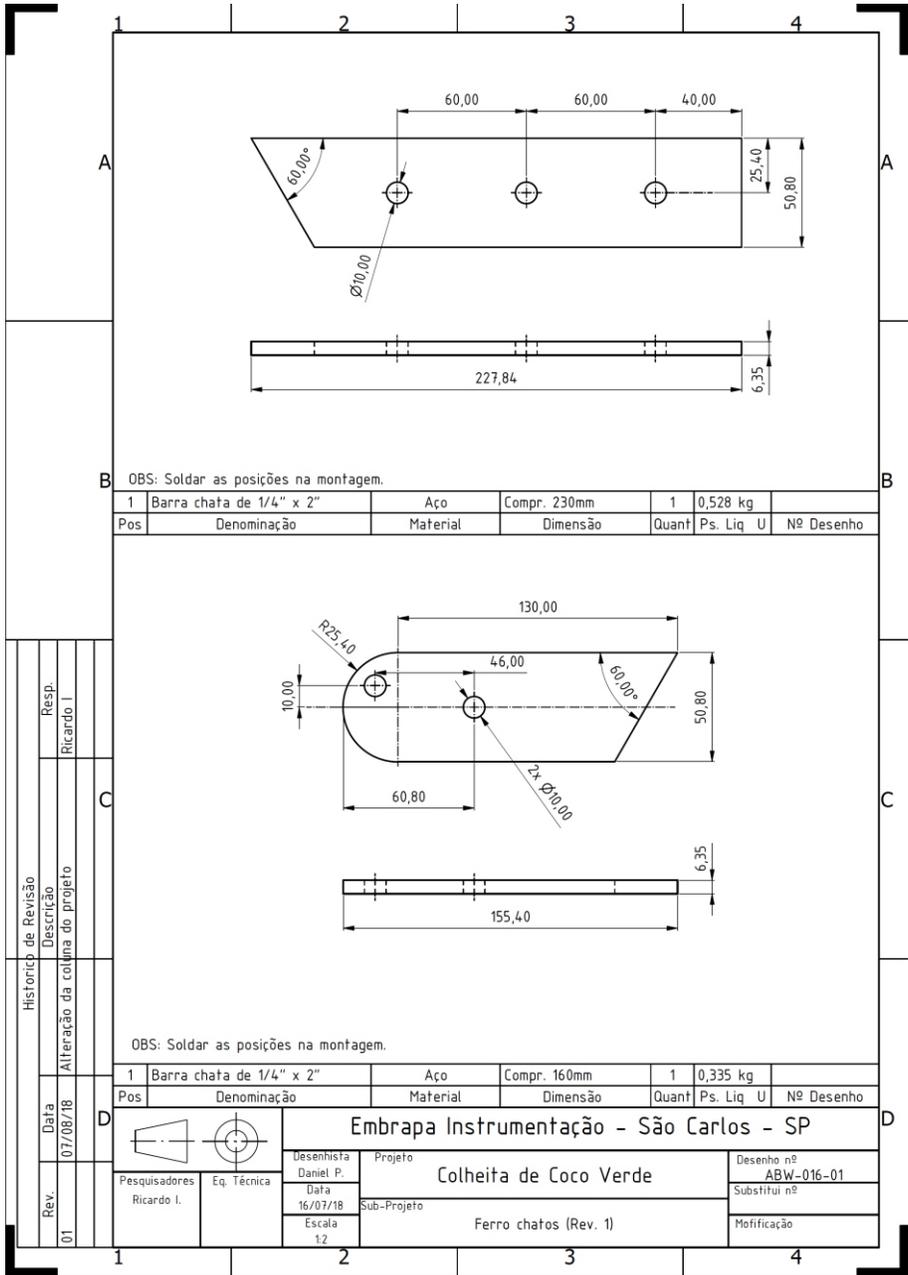
Historico de Revisão	Resp.	
	Descrição	
	Data	
	Rev.	

1	Retalho de chapa	Alumínio	110x80mm	1	0,139 kg	
Pos	Denominação	Material	Dimensão	Quant	Ps. Liq U	Nº Desenho
Embrapa Instrumentação - São Carlos - SP						
Pesquisadores Ricardo I.		Eq. Técnica Valemim Luiz G. Beatriz		Projeto Colheita de Coco Verde		Desenho nº ABW-013-01
Sub-Projeto Passador				Modificação		



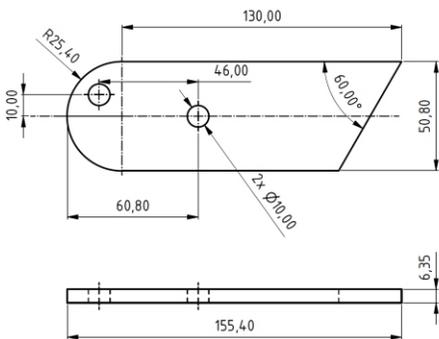
Historicp de Revisão	Descrição	Resp.
	Alteração da colina do projeto	Ricardo I
Rev.	Data	
01	07/08/18	

1	Barra redonda de 1"	Aço	Compr. 200mm	1	0,744 kg	
Pos	Denominação	Material	Dimensão	Quant	Ps. Liq U	Nº Desenho
Embrapa Instrumentação - São Carlos - SP						
Pesquisadores Ricardo I.	Eq. Técnica Valentim Luiz. G Beatriz	Desenhista Daniel P.	Projeto	Colheita de Coco Verde		Desenho nº ABW-014-01 (rev 1)
		Data 07/08/18	Sub-Projeto	Eixo da Junta 02		Substitui nº
		Escala 1:2			Modificação	



OBS: Soldar as posições na montagem.

Pos	Denominação	Material	Dimensão	Quant	Ps. Liq U	Nº Desenho
1	Barra chata de 1/4" x 2"	Aço	Compr. 230mm	1	0,528 kg	

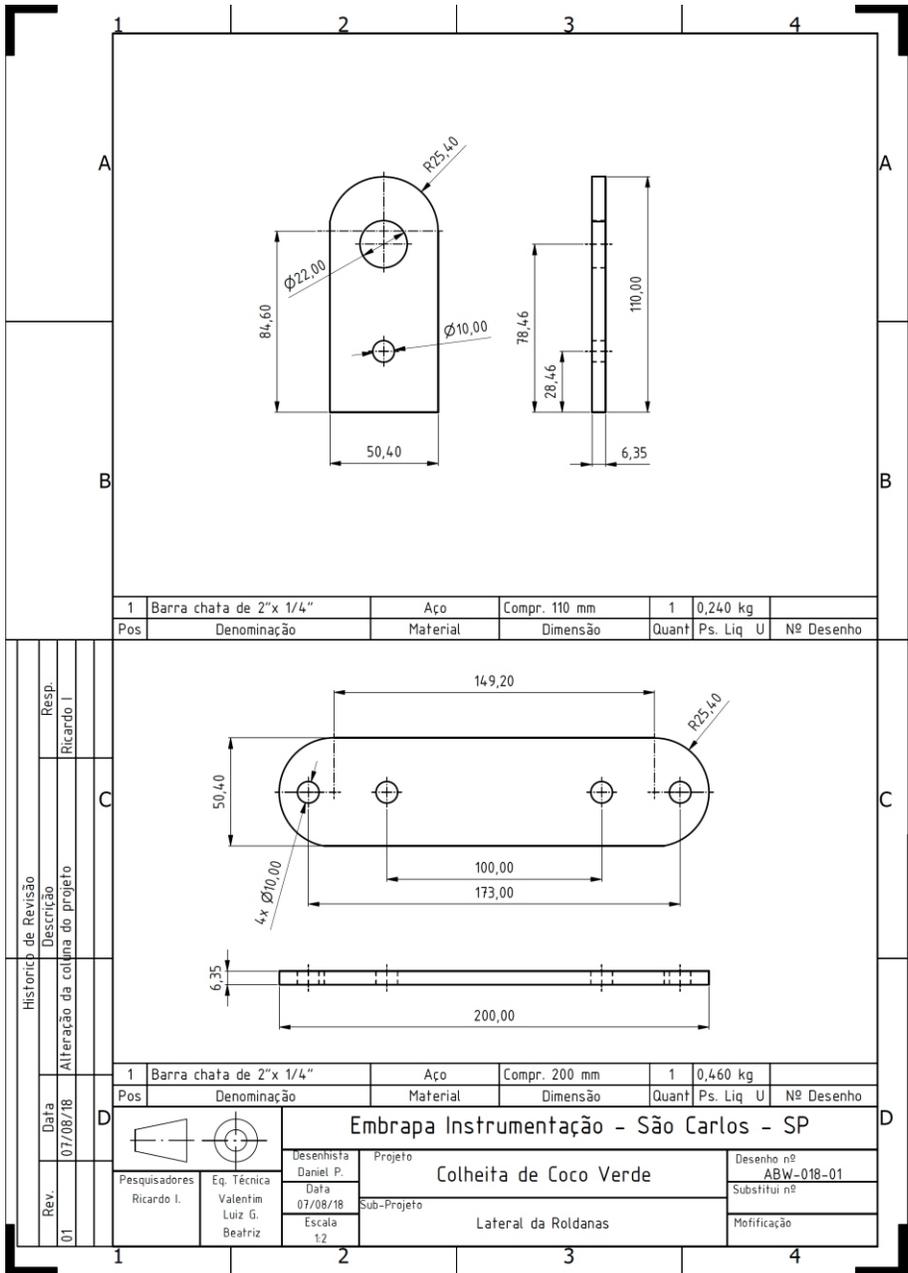


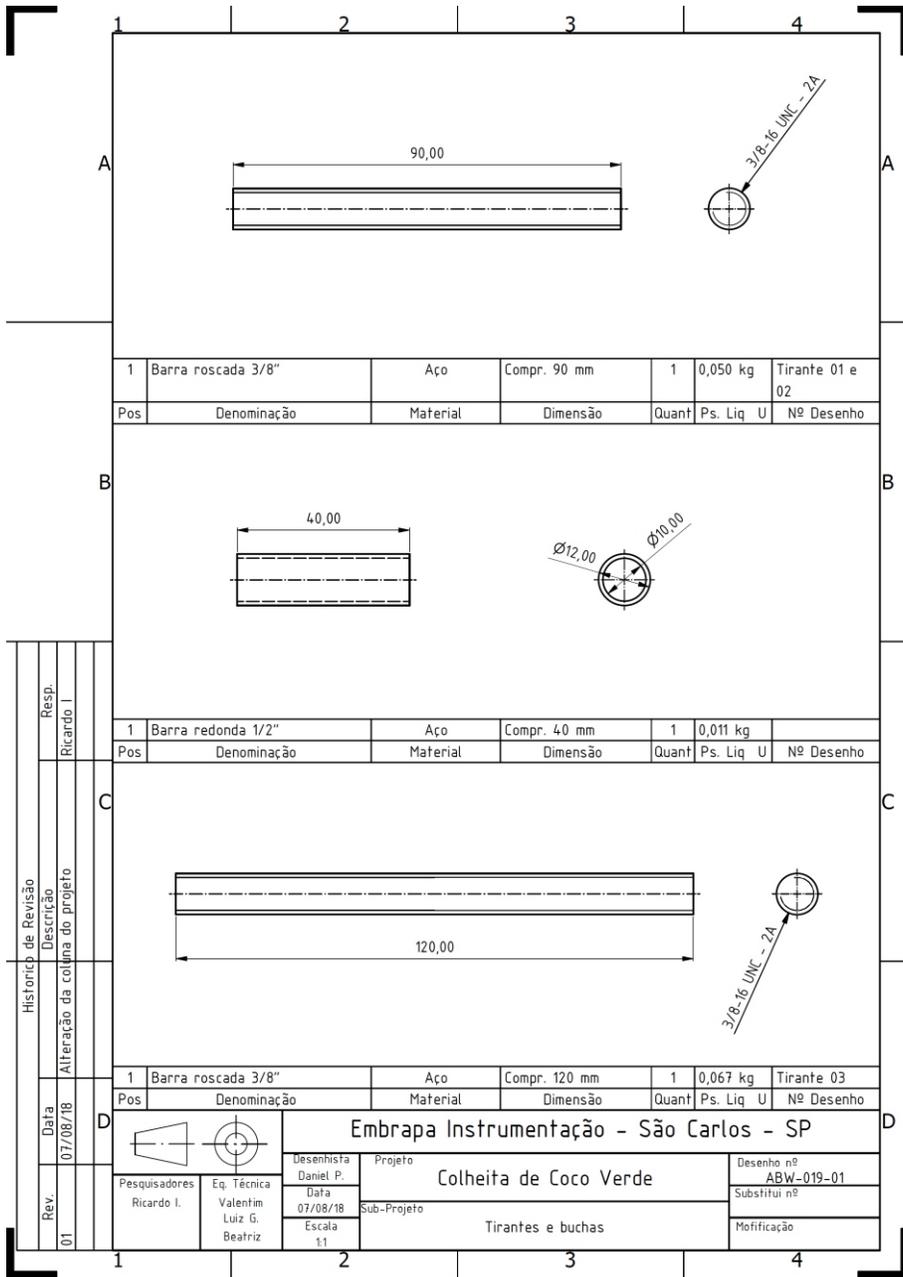
OBS: Soldar as posições na montagem.

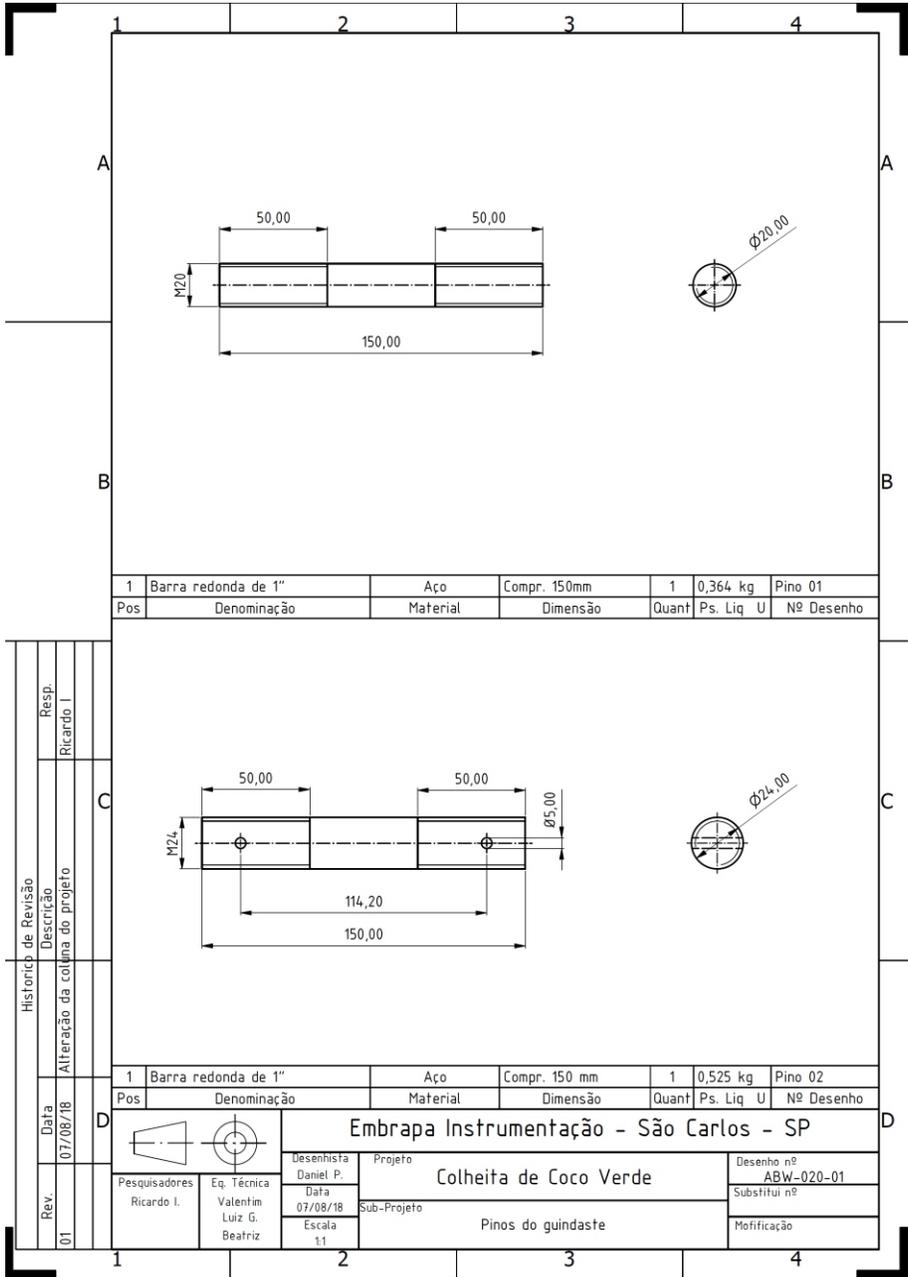
Pos	Denominação	Material	Dimensão	Quant	Ps. Liq U	Nº Desenho
1	Barra chata de 1/4" x 2"	Aço	Compr. 160mm	1	0,335 kg	

		Embrapa Instrumentação - São Carlos - SP			
Pesquisadores Ricardo I.	Eq. Técnica	Projeto Daniel P. Data 16/07/18 Escala 1:2	Colheita de Coco Verde		Desenho nº ABW-016-01 Substitui nº Modificação
		Sub-Projeto Ferro chatos (Rev. 1)			

Historic de Revisão	Descrição	Resp.
	Alteração da coluna do projeto	Ricardo I.
Rev.	Data	
01	07/08/18	







Embrapa

Instrumentação



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL