

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

SABINO CENI NETO

IDEALIZAÇÃO E EXECUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC COM TRÊS EIXOS DE BAIXO CUSTO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

SABINO CENI NETO

**IDEALIZAÇÃO E EXECUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC COM TRÊS EIXOS DE
BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Msc. Roberto Nunes da Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk

PATO BRANCO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

IDEALIZAÇÃO E EXECUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC COM TRÊS EIXOS DE BAIXO CUSTO

Sabino Ceni Neto

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 28/06/2019 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 - Campus 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. Valdir Celestino da Silva
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Adelino Carlos Maccarini
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Msc. Roberto Nunes da Costa
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
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 à minha família, em especial à minha mãe, por todo o apoio e auxílio recebidos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por ter proporcionado as condições para chegar até aqui. Gostaria também de agradecer a todos os envolvidos em fazer com que este trabalho acontecesse, especialmente a meu amigo Marcelo Crestani, por disponibilizar seu tempo e conhecimento para me ajudar com a fabricação de algumas peças. Agradeço também a todos os professores que de alguma forma ajudaram a tomar decisões e resolver problemas, assim como meu orientador pelo suporte fornecido. Finalmente, gostaria de agradecer a UTFPR por proporcionar todo o conhecimento adquirido.

EPÍGRAFE

Todo o homem é culpado pelo bem que não fez.

(AROUET, François-Marie).

RESUMO

CENI, Sabino. Idealização e execução de uma fresadora CNC com três eixos de baixo custo. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Desde sua origem, máquinas CNC tem sido um pilar elementar na indústria leve e pesada. A precisão, rapidez e repetibilidade de trabalhos de usinagem tiveram um salto muito grande com sua criação. Porém hoje, 40 anos mais tarde, as empresas ainda têm alguma dificuldade de acesso a esse tipo de tecnologia, visto seu custo, e para muitos pela sua complexidade. Este trabalho visa, em sua estrutura, criar um roteiro de construção de uma máquina de CNC de baixo custo, com instruções claras e concisas, softwares do tipo *open-source* e simples operação, além de analisar sua performance em relação aos padrões de qualidade industrial, que possuem um grande valor agregado relacionado à pesquisa desenvolvida pela empresa.

Palavras-chave: CNC. *Open-source*. Usinagem. Roteiro.

ABSTRACT

CENI, Sabino. Idealization and execution of a low cost, three axis CNC milling machine. 2019. xx f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Mechanical Engineering. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Since its origin, CNC machines have been an elementary pillar on light and heavy industry. The precision, agility and repeatability of milling processes had a huge leap with its creation. Therefore today, 40 years after, companies still struggle to gain access to this technology, as its costs are still high and the machines are complex. This paper aims, in its structure, to create a building guide and give information about a low cost CNC machine, with clear and direct instructions on how to build, open-source softwares and simple operation. Besides, it will also analyze its performance and price to create a baseline of measuring the results achieved.

Keywords: CNC. *Open-source*. Milling. Build-guide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Ilustração de fresamento	18
Figura 2.2 – Diagrama dos fatores que influenciam a força de usinagem	19
Figura 2.3 – Modelagem da base.	20
Figura 2.4 – Modelagem do pórtico móvel.	22
Figura 2.5 – Fuso de esferas com castanha em corte.	24
Figura 2.6 – Diagrama eletrônico.	25
Figura 2.7 – Diagrama de controle em malha aberta	26
Figura 3.1 – Fresadora NARDINI utilizada.	28
Figura 3.2 – Corte a plasma dos blanks.	30
Figura 3.3 – Vista superior da base.	31
Figura 3.4 – Vista isométrica da base.	32
Figura 3.5 – Usinagem dos rasgos.	33
Figura 3.6 – Calibragem do eixo X	34
Figura 3.7 – Esquema de ligação do controlador	35
Figura 3.8 – Controlador BITSENSOR RnRMotion	35
Figura 3.9 – Motores Usados	38
Figura 3.10 – Drivers TB6600	38
Figura 3.11 – Spindle usado	39
Figura 4.1 – Design em CAM	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos da Base	38
Tabela 2 - Custos do Pórtico.....	39
Tabela 3 - Custos da Mecatrônica.....	39
Tabela 4 - Custos totais.....	40
Tabela 5 - Resultados Poliacetal.....	40
Tabela 6 - Resultados em madeira.....	41

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC	Comando Numérico Computadorizado
Mm	Milímetro
USB	Universal Serial Bus
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SAE	Sociedade de Engenheiros Automotivos
gcode	Código geométrico
CAM	Usinagem assistida por computador
CAD	Design assistido por computador
Kgf.cm	Kilograma força * centímetro
GHZ	Gigahertz
PWM	Modulação de largura de pulso
GB	Gigabyte
V	Volt
A	Ampére

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Principal	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 UM BREVE HISTÓRICO	17
2.2 A FRESADORA	18
2.2.1 Estrutura	18
2.2.1.1 – Seleção do Material	19
2.2.1.2 – Método de fixação	21
2.2.2 – Pórtico móvel	21
2.2.2.1 – Seleção do material	22
2.2.3 – Movimentação	23
2.2.4 – Eletrônica	24
2.2.5 – Alimentação de dados	26
3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)	27
3.1 PROJETO MECÂNICO	27
3.1.1 – Base e pórtico	28
3.1.2 – Parafuso com castanha de esferas circulantes	29
3.1.3 – Rolamentos Lineares e guias temperadas	29
3.1.4 – Acoplamentos	29
3.2 – MODELAGEM E MONTAGEM	29
3.3 CONTROLE	35
3.3.1 – Fonte de dados	35
3.3.2 – <i>Software</i>	35

3.3.3 – A interface controladora	36
3.3.4 – Drivers e Motores de passo.....	37
3.3.5 – Alimentação.....	38
3.3.6 – Spindle	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1 – CUSTOS	40
4.1.1 – Base	40
4.1.2 – Pórtico	41
4.1.3 – Mecatrônica.....	41
4.1.4 – Total	42
4.2 – TESTE.....	42
5 CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS.....	46
APÊNDICE A - (DESENHO TÉCNICO DAS PEÇAS USINADAS)	47
ANEXO A - DATA SHEET MOTOR.....	65

1 INTRODUÇÃO

Desde que surgiram, em meados da década de 50, as máquinas de usinagem CNC têm tomado um rumo evolutivo muito bem traçado. Processos foram melhorados e novas tecnologias foram permitidas de emergir. Sobretudo, atualmente existem máquinas CNC de diversos tamanhos e para inúmeras aplicações, em que na maioria das máquinas usa-se software de autoria da empresa que manufatura o equipamento, o que inevitavelmente torna a máquina mais cara. Com o crescimento da comunidade de programadores e de pessoas com capacidades técnicas de construção mecânica, foram desenvolvidos sistemas de controle eletrônico *open-source*, o que permitiu que muitas pessoas contribuíssem para este ramo, onde a parte de controle eletrônico podia ser facilmente montada, deixando o autor de tal máquina apenas desenvolvendo a parte mecânica da sua máquina. O objetivo deste estudo, será construir uma máquina CNC, com dimensões, materiais, processos de construção e até mesmo a eletrônica de baixo custo. A máquina também será colocada a prova de testes específicos, comparando os resultados com uma máquina CNC convencional, com dimensões maiores e mais sofisticada tecnologicamente.

1.2 OBJETIVOS

A organização deste trabalho será feita de forma a definir objetivos principais, e assim subsequentemente criar objetivos específicos para que sejam alcançados os objetivos principais.

1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é idealizar, construir e medir a precisão de uma máquina fresadora CNC com componentes de baixo custo e *software open-source*. Além disto, é almejada a elaboração de um coeficiente entre precisão desejada e custo, levando em consideração a que foi construída e algum exemplar

similar comercialmente disponível e seus custos, tanto de aquisição quanto de operação.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo principal seja alcançado, foram estipulados objetivos específicos que servirão para dar sequência e organização ao trabalho. Estes objetivos se resumem a:

- Desenvolver, construir e colocar a fresadora em estado de pleno funcionamento;
- Usinar uma peça padrão, que servirá apenas para fins de avaliação da precisão e repetibilidade do CNC.
- Desenvolver uma descrição do estudo sobre a precisão alcançada com a máquina de baixo custo.
- Tirar conclusões a respeito dos resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

O objetivo deste estudo, será construir uma máquina CNC, com dimensões, materiais, processos de construção e até mesmo a eletrônica de baixo custo. A máquina também será colocada à prova de testes específicos, comparando os resultados com uma máquina CNC convencional, com maiores proporções e mais sofisticada tecnologicamente.

Este trabalho será realizado com o intuito de criar um plano de construção, para que qualquer pessoa com experiência em fabricação tenha a capacidade de reconstruir, montar e operar a fresadora CNC com as mesmas precisões obtidas neste estudo. Assim como um incentivo a busca por processos de fabricação cada vez melhores e mais precisos, mesmo que o orçamento para tal projeto seja limitado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

- Capítulo 1: Proposição de tema e conceitos introdutórios.
- Capítulo 2: Embasamento teórico em trabalhos realizados no mesmo contexto.
- Capítulo 3: Definição de materiais utilizados e métodos aplicados.
- Capítulo 4: Análise de todos os resultados obtidos
- Capítulo 5: Conclusões e sugestões para trabalhos posteriores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 UM BREVE HISTÓRICO

Com o decorrer da evolução da tecnologia de fabricação, cada vez mais a precisão em máquinas usadas para manufatura de materiais, inclusive metais, foi ganhando sofisticação e controle. Com o surgimento da tecnologia de transistores, e a implementação de computadores na fabricação a tecnologia CNC surge.

Embora tal avanço tecnológico tenha sido muito atenuado, patentes mantiveram o segredo da fabricação computadorizada sob domínio de empresas pelos próximos 30 anos, assim como qualquer tipo de tecnologia.

Segundo Suk-Hwan et al. (2008), informações textuais a respeito de tal máquinas são de difícil acesso no mundo todo, apesar de seu grande papel na indústria. Tal fato aumenta muito a dificuldade de obtenção de informações para pessoas que queiram construir suas próprias máquinas, para evitar os altos custos que as companhias cobram pelos seus sistemas.

A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 1985).

Atualmente, com muitas patentes sobre este tema caindo em domínio público, o desenvolvimento de métodos de construção, e o compartilhamento de informações na comunidade mundial, principalmente através da internet, tem aumentado a facilidade com que estas informações têm de ser acessadas.

Portanto, este trabalho será executado como uma tentativa de contribuir para esta comunidade, que vem desenvolvendo produtos e métodos. Inclusive foi uma das precursoras da tecnologia de impressão *3D*, que tecnicamente também funciona como um CNC.

Impressão 3D é uma atividade que vem tanto como crescendo e recebendo atenção nos últimos anos. Visto com uma perspectiva social, a atividade em si tem várias raízes interconectadas. O movimento hacker, a comunidade de software *open source* e a cultura *maker* são apenas três dos mais proeminentes históricos socioculturais. (MOILANEN, 2013)

2.2 A FRESADORA

O fresamento é um processo muito versátil entre seus derivados. A alta taxa de remoção de material e versatilidade de geometrias são duas características desejadas nestas máquinas. A geometria da máquina pode ter qualquer proporção entre os eixos, visto que diferentes produtos e métodos requerem máquinas com dimensões variadas. A operação de fresamento (como representada na figura 2.1) é reconhecida pela versatilidade na produção de geometrias diversas, além de garantir elevadas taxas de remoção de material, visto que a ferramenta (fresa) possui múltiplas arestas de corte. (ROCHA, et al. 2009.)

Figura 2.1 – Ilustração de fresamento.



Fonte: Sandvik Coromant (2018).

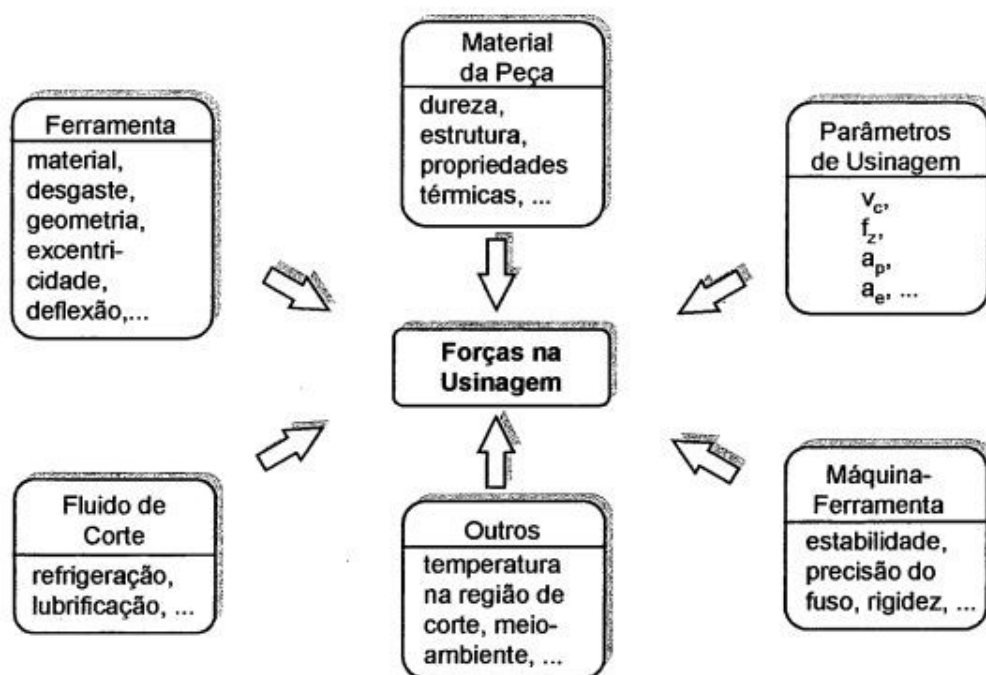
2.2.1 Estrutura

Operações de usinagem, ao prêmio de versáteis operações, com altas taxas de remoção de material, alta precisão e capacidade de processar materiais de diferentes resistências vem ao custo de um grande esforço na estrutura da máquina. Tal esforço deve ser contido dentre os limites de resistência do material escolhido para tal estrutura, assim como a geometria usada na construção.

Independentemente do material que esteja sendo usinado, duas forças estarão primariamente envolvidas: a força de corte e a força de avanço. A força de corte deve ter energia suficiente para cisalhar o material e efetuar o corte enquanto a força de avanço deve ter magnitude suficiente para manter a operação de corte em constante progressão.

Segundo Macedo (2001), a grandeza e direção da força de usinagem são basicamente influenciadas por fatores quase-estáticos e, além disto, o processo de usinagem é marcado por componentes de força irregulares e de alta dinâmica (como mostrado na Figura 2.2), causadas por problemas de precisão na movimentação do fuso, características do material da peça e as vibrações relativas entre peça e ferramenta causadas por estes fatores.

Figura 2.2 – Diagrama dos fatores que influenciam a força de usinagem.



Fonte: Adaptado de Macedo (2001).

2.1.1.1 – Seleção do Material

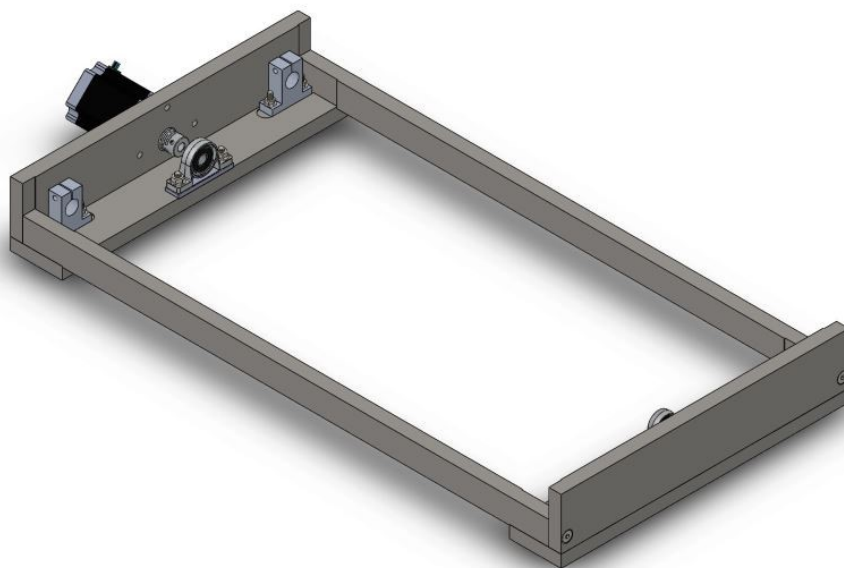
Visto que o objetivo deste material é desenvolver um sistema de baixo custo, este foi um fator primário na decisão de que materiais usar na estrutura da máquina.

Para esta indagação, usufruiu-se do conceito de que o módulo de elasticidade dos aços permanece estável ao variar sua composição química.

O módulo de elasticidade, segundo Souza (1982) é a rigidez do material, ou seja, quanto maior for o valor do módulo, menor será a deformação elástica diante de uma tensão aplicada, significando assim que o material é mais rígido conforme maior for seu módulo de elasticidade.

Concluindo a partir deste fato, o material escolhido para a estrutura estática da máquina (ver Figura 2.3) foi o aço SAE 1020, considerando que é um material com alto módulo de elasticidade, porém de fácil acesso e manufatura, além de ter baixo custo.

Figura 2.3 – Modelagem da base



Fonte: Autoria própria.

2.1.1.2 – Método de fixação

Junções parafusadas são usadas para fixar peças devido sua facilidade, versatilidade e indiscutível eficiência. Se usado torque suficiente, a ligação adquire grande rigidez e durabilidade, inclusive possibilitada de ser desfeita, caso manutenção ou melhoria na máquina seja necessária.

Junto a isso, este método de junção também foi selecionado considerando sua simplicidade, facilidade de execução e popularidade, o que torna fácil a aquisição de peças de diâmetros, comprimentos e tipos de cabeça diferenciados.

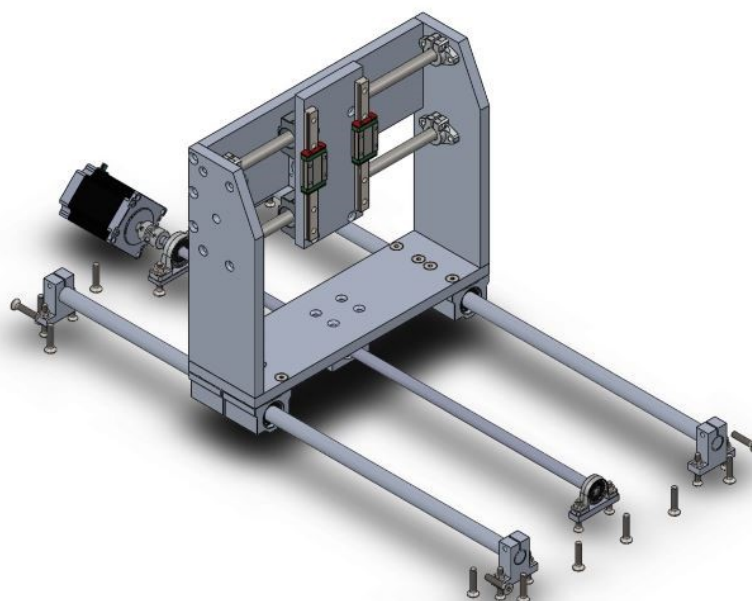
Parafusos de fixação podem ser classificados de diferentes maneiras: por meio do uso pretendido, pelo tipo de rosca, pelo tipo de cabeça e por sua resistência. Parafusos de fixação de todos os tipos estão disponíveis em grande variedade de materiais, incluindo aço, aço inoxidável, alumínio, latão, bronze e plásticos. (NORTON, 2011, p. 876).

2.2.2 – Pórtico móvel

O elemento que confere a versatilidade das operações de fresamento é que a ferramenta se move enquanto a peça permanece estática (para fresamentos em três eixos), tornando possível várias operações com um único referenciamento da posição da ferramenta (ver Figura 2.4). Isto pode acontecer com diversas geometrias de máquina, com ferramentas em colunas ou em pórticos rolantes, que é o caso da máquina que aqui está em desenvolvimento.

Segundo Gomes (2011), os movimentos de translação do carro e do pórtico permitem a colocação de carga com bastante liberdade. O corpo principal é constituído por pórticos, que dependendo do nível de cargas a movimentar serão construídos por perfis laminados ou vigas caixão. Os pórticos assentam sobre uma plataforma móvel sobre carros.

Figura 2.4 - Modelagem do pórtico móvel



Fonte: Autoria própria.

2.2.2.1 – Seleção do material

As partes móveis da fresadora deverão se mover com velocidade relativamente alta para que tal aparato tenha usabilidade. Os motores usados, com capacidade limitada, precisam fornecer um torque que consiga mover o pórtico rapidamente.

Apesar do alto módulo de elasticidade do aço, como descrito anteriormente, sua densidade acaba tornando a escolha de tal material inviável. O alumínio torna-se promissor nesta escolha, tendo em vista que sua obtenção não é tão barata quanto o aço, ainda sim não é um material de difícil acesso.

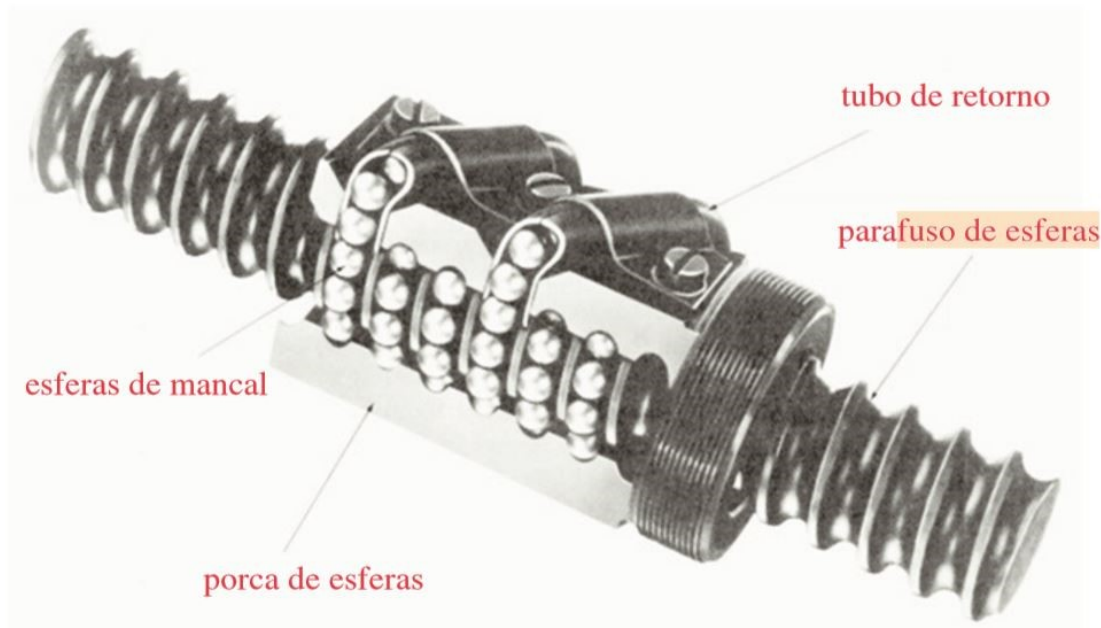
O estudo pelo método analítico mostrou na comparação entre os materiais ferrosos e o alumínio ganhos em termos de redução de massa no uso do alumínio sem perdas das características de projeto como deformação, resistência ao escoamento e resistência à fadiga. As reduções de massa observadas variaram de 1,1% a 61,0%. (SAITO, 2012, p. 81).

2.2.3 – Movimentação

Motores de passo garantem uma alta precisão, e para que esta precisão seja mantida na hora de posicionar a ferramenta, elementos de posicionamento com baixas folgas são primordiais para que a máquina tenha precisão.

Segundo Lyra (2010), os fusos de esferas (Figura 2.5) e as guias lineares de rolamentos foram importantes conquistas para a indústria de máquinas operatrizes. Estes elementos de máquinas trouxeram à indústria vantagens sobre os antigos fusos trapezoidais quando se compara a redução de atrito nos movimentos e deslocamentos nas máquinas. Outras inúmeras vantagens que estes elementos de máquinas possuem são: Duração de vida mais longa (menor desgaste), menor potência de acionamento, redução de atrito, simplificação construtiva, posicionamento mais preciso, maior velocidade de translação e menor aquecimento.

Figura 2.5 – Fuso de esferas com castanha em corte.



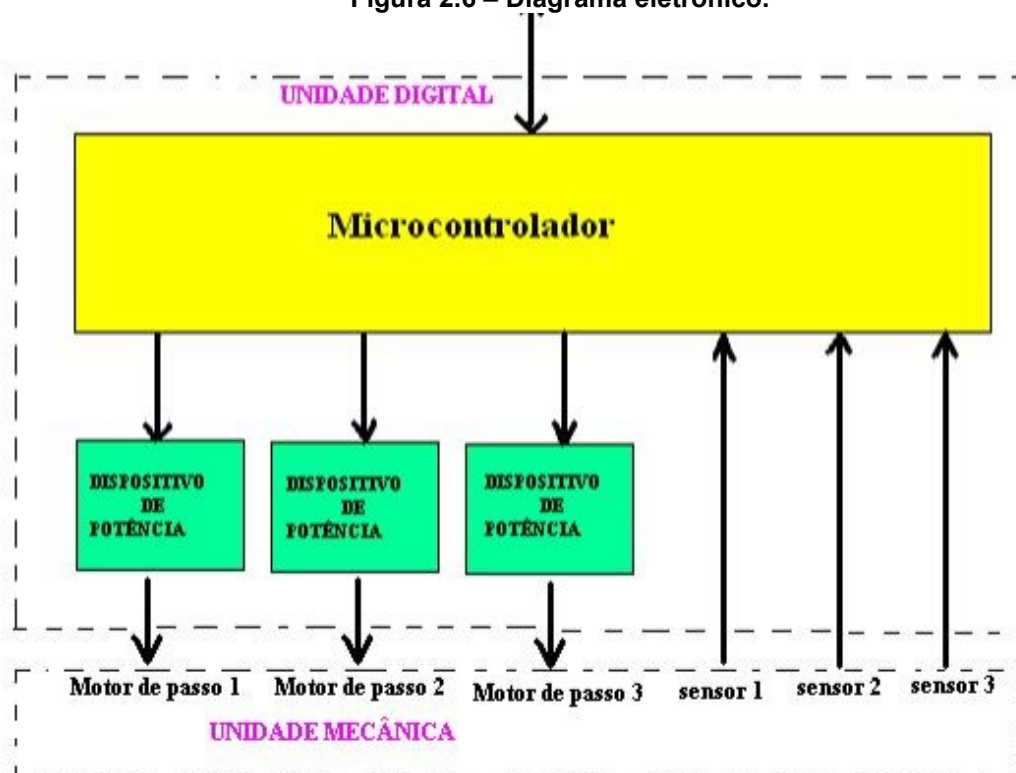
Fonte: Adaptado de Norton (2009)

2.2.4 – Eletrônica

Máquinas CNC tem um diagrama de funcionamento básico, que consiste em um comando, um atuador, e um atuado. Esta configuração permite que uma central eletrônica controle os movimentos e faça com que a máquina opere precisamente.

Segundo Barros (2008), com a visão geral do sistema fresadora no capítulo anterior, a seguir tem-se um esquema em diagrama de blocos definindo a composição de cada unidade. A figura 2.6 mostra todos os componentes que compõem as diferentes unidades.

Figura 2.6 – Diagrama eletrônico.



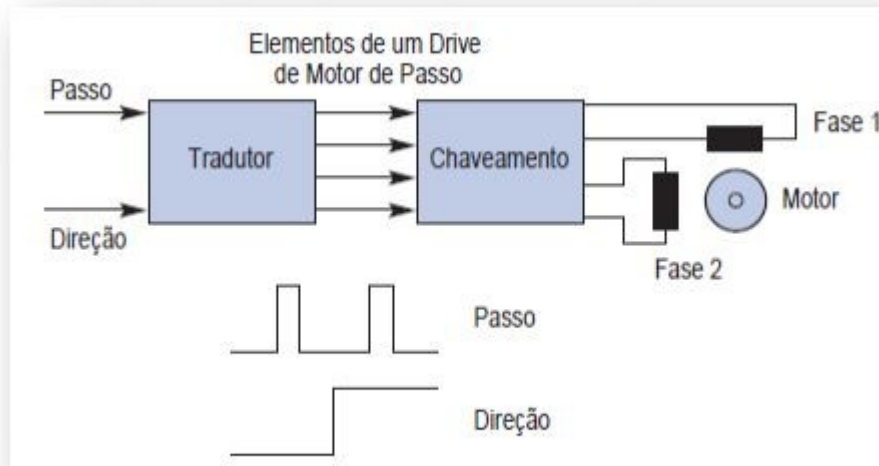
Fonte: Adaptado de Barros (2008).

Outro tema de válida abordagem é a definição de um sistema em malha fechada ou em malha aberta, que representa o tipo de alimentação de dados ao motor.

Em um sistema em malha aberta, que é o retratado no diagrama 2.7, o motor apenas executa o passo. Em um sistema em malha fechada, além de o motor executar o passo, um *encoder* rotativo faz a leitura de quanto o eixo do motor se moveu, para que qualquer imprecisão no movimento seja corrigida instantaneamente, para que o erro não se propague em próximas operações.

Segundo Ocanha (2009), os encoders incrementais têm apenas dois sensores óticos em uma roda furada com apenas uma fileira de furos equidistantes entre eles, a uma distância determinada do eixo. Cada um desses sensores então devolverá o trem de pulsos na medida em que a roda for girando, e a passagem entre um furo e outro estará dada por cada pulso desse trem.

Figura 2.7 – Diagrama de controle para malha aberta.



Fonte: Adaptado de Lyra (2010)

2.2.5 – Alimentação de dados

Todas as máquinas CNC têm como fonte de dados algum dispositivo em que o usuário possa entrar com um código numérico (gcode), ou um arquivo gerado por um software CAM, que tecnicamente usa uma geometria fornecida pelo usuário para criar um gcode. O uso do CAM é válido quando geometrias se tornam complexas demais para escrevê-las manualmente. Este dispositivo geralmente é um computador.

Com o crescente aumento da acessibilidade da comunidade a tecnologia, o uso de ferramentas como o projeto assistido por computador - Computed Aided Design (CAD), modelagem virtual, prototipagem e análise estrutural passarão a ser necessárias para o desenvolvimento de um produto. Após o desenvolvimento do produto nas ferramentas CAD, é necessário o uso de ferramentas computadorizadas como - Computed Aided Manufacturing (CAM), que são responsáveis pela parametrização em código de máquina, também chamado de código G, utilizado nas fresadoras controladas numericamente por computador, ou CNC - Computed Numerical Control. (JURISATO, 2013, p. 4).

3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

A fresadora CNC projetada e construída é controlada por um *decoder* de controle e um computador pessoal, sendo capaz de usinar materiais de baixa a média resistência mecânica como madeira, acrílico e até alumínio.

Este capítulo está organizado em três tópicos, o primeiro descreverá como o projeto mecânico foi desenvolvido e modelado, o segundo descreve passos importantes executados na montagem estrutural e eletrônica e por fim o terceiro tendo foco no controle e operação da fresadora.

3.1 PROJETO MECÂNICO

O projeto mecânico da fresadora foi concebido de modo a tirar proveito de um tamanho de mesa cartesiana reduzido em relação a estrutura da máquina, assim tirando proveito das propriedades das chapas de aço.

Esta etapa está caracterizada pela concepção, modelagem em 3D e construção da fresadora, que foi quase que toda sua totalidade fabricada em outra fresadora. A precisão e cautela que as peças foram usinadas condizem com a precisão que se deseja alcançar. O software usado para modelagem da máquina foi um software genérico de CAD, porém muito difundido devido sua alta capacidade de organização, além de ser amplamente utilizado.

Primeiramente, os volumes de trabalho foram predefinidos para 500 mm x 280 mm x 100 mm. Estas dimensões sofrerão alterações ao decorrer do projeto. Após esta predefinição, iniciaram-se as etapas de modelagem e construção.

Todos os desenhos da máquina, de peças que precisam ser usinadas e de esquemas de montagem encontram - se no apêndice 1. A nomenclatura segue a ordem cronológica de manufatura e montagem. (RN-B-00x).

Todas as uniões em peças foram feitas utilizando roscas internas e parafusos ou porcas e parafusos. Evitou-se conexões por soldagem devido a alta taxa de deformações de materiais processados por este método.

3.1.1 – Base e pórtico

A base da máquina irá ser construída usando chapas de aço SAE 1020 bitola 5/8" cortadas a plasma e usinadas devido ao baixo custo de aquisição de tal material e facilidade em encontra-lo. O pórtico móvel será construído em alumínio laminado 5052f na forma de chapas de 1/2". A máquina usada para usinar as peças de aço foi uma NARDINI *diplomat* série FVF 3000 (ver figura 3.1), modelo FVF 3001, ano 2007.

Figura 3.1 – Fresadora NARDINI utilizada.



Fonte: Autoria própria.

A modelagem da base, assim como todos os componentes foi o pilar de organização de todo o trabalho, junto ao software, várias decisões foram feitas a respeito de como modelar e construir a máquina.

3.1.2 – Parafuso com castanha de esferas circulantes

Para que a precisão atingida busque ser satisfatória e seja condizente com as proporções da estrutura, será usado parafuso de esfera no eixo Y, 12 mm de diâmetro e passo 4 mm. No eixo X será usado um parafuso trapezoidal com 8 mm de diâmetro e passo 2 mm, junto com uma castanha de bronze com mola “anti-folga”.

3.1.3 – Rolamentos Lineares e guias temperadas

Foram usados rolamentos lineares em carros de alumínio que correm sobre trilhos de aço SAE1045 temperado com diâmetros de 16 e 12 mm. Os rolamentos lineares usam um sistema contido de esferas que re-circulam em canais no corpo do rolamento.

3.1.4 – Acoplamentos

Para acoplar os motores nos fusos de esferas, foram usados acoplamentos flexíveis dimensionados para o valor de torque nominal dos motores de passo. No caso deste trabalho, dois motores de 15 kgf.cm e um de 30 kgf.cm.

3.2 – MODELAGEM E MONTAGEM

A modelagem da fresadora começou trivialmente pela base, foram estudados diversos modos de construção, mas acabou optando-se pelas chapas de aço 5/8” devido a facilidade de obtenção e baixo custo. As chapas foram cortadas numa máquina de corte a plasma CNC (Figura 3.2) muito similar ao que a fresadora em construção irá se tornar.

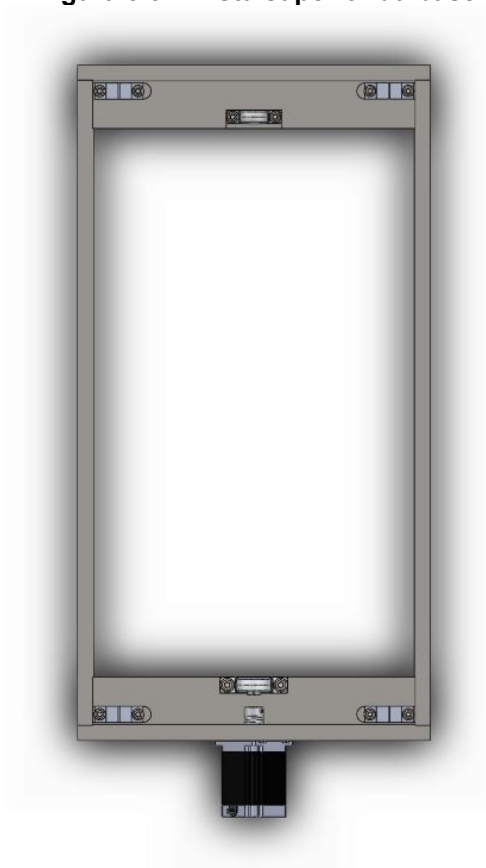
Figura 3.2 – Corte a plasma dos *blanks*.



Fonte: Autoria própria.

A maioria das operações de usinagem nos *blanks* foram de fácil execução, sempre usinando em passes de baixa profundidade, para manter segurança e precisão na usinagem.

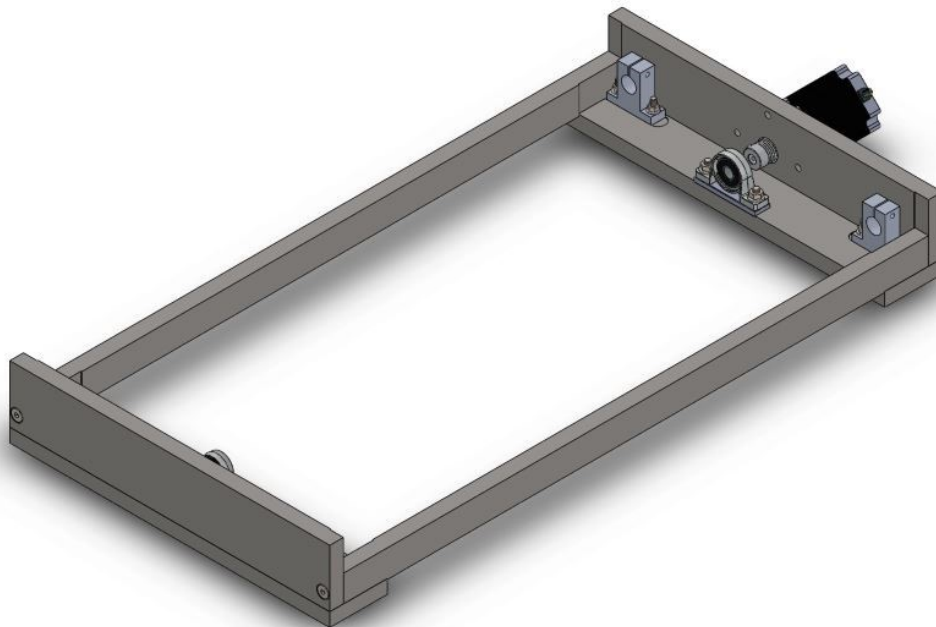
Figura 3.3 – Vista superior da base.



Fonte: Autoria própria.

Após todas as operações de máquina, as peças foram pintadas usando uma camada de primer e uma de tinta, para aí então as peças poderem ser montadas e parafusadas para posterior instalação do pórtico. O motor também foi fixado na base.

Figura 3.4 – Vista isométrica da base.



Fonte: Autoria própria.

A base foi modelada (Figura 3.3 e 3.4) e usinada usando rasgos de 0.9 mm (Figura 3.5) nos encaixes umas das outras. Estes encaixes quando parafusados trarão rigidez adicional ao sistema como também servirão para manter as peças sem liberdade de giro em torno dos eixos parafusados. A usinagem dos encaixes se mostrou muito simples e a montagem tornou-se mais rápida e fácil.

Figura 3.5 – Usinagem dos rasgos.



Fonte: Autoria própria.

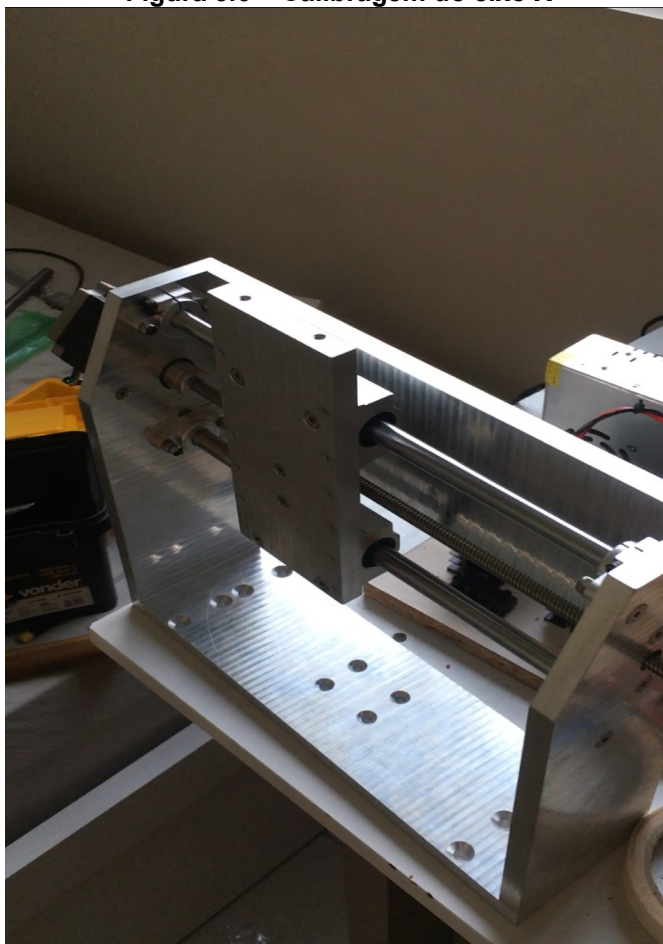
Todas as operações de usinagem foram feitas usando uma fresa de topo, 4 cortes de metal duro com 8 mm de diâmetro e um cabeçote para faceamento com 4 insertos quadrados.

O pórtico de alumínio foi fabricado em um centro de usinagem CNC. A usinagem das peças de alumínio foi feita numa empresa de Pato Branco. O material escolhido para o pórtico foi o alumínio 5052f. O material foi fornecido pela empresa GGD Metal.

O CNC usado para fabricar as peças de alumínio foi um Dyna Myte 440 com comando Fagor 8035.

Após a fabricação, a montagem foi muito simples e direta, pois como as peças foram cortadas com um CNC, a precisão de dimensões e entre-furos é muito alta. As peças usinadas em uma fresadora convencional tiveram alguns problemas na hora de parafusar, porém nada crítico e tudo foi corrigido.

Figura 3.6 – Calibragem do eixo X



Fonte: Autoria própria

A montagem do eixo Z foi também muito simples e direta, visto que as guias trapezoidais tem alta precisão de fabricação, elas ficaram muito bem alinhadas e não precisaram de ajustes.

Com tudo montado e ajustado na parte de movimentação, foram instalados os motores com seus acoplamentos, e tudo foi calibrado (Figura 3.6) usando os passos dos motores e os passos das guias, como na figura acima. A parte da movimentação foi então concluída.

3.3 CONTROLE

3.3.1 – Fonte de dados

Para fonte de dados, foi usado um notebook SAMSUNG com um processador *core i7* 3.4GHZ, 8GB de memória RAM, placa de vídeo nVIDIA com 2 GB de capacidade e um SSD de 240 GB como armazenamento. A configuração do computador fonte de dados é relevante, um computador com baixa capacidade pode se tornar o gargalo de uma operação como esta. O sistema de controle que estará no painel de comando da máquina tem apenas a função de converter os sinais do computador para passos nos motores.

3.3.2 – *Software*

O software utilizado é o MACH3. Este software possui uma licença para estudantes e está disponível para uso. O software conta com uma interface de inserção de códigos manualmente, importar códigos CAM gerados por outros softwares, ou dar o total controle para o operador manualmente configurar a máquina.

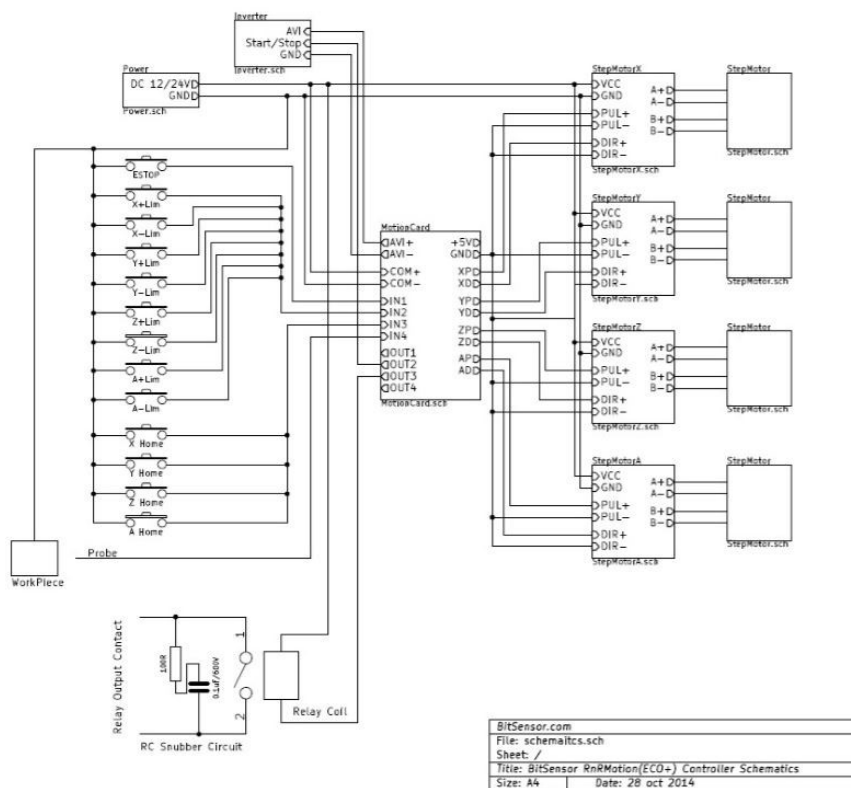
Toda a configuração da máquina será listada em um anexo. A configuração é simples e direta. O Usuário deve apenas fornecer os valores de passo de fusos, limites de trabalho e a máquina está configurada (para a parte de

software). Valores de corrente para os motores, e controle de potência do *spindle* serão configuradas diretamente na placa controladora e no inversor.

3.3.3 – A interface controladora

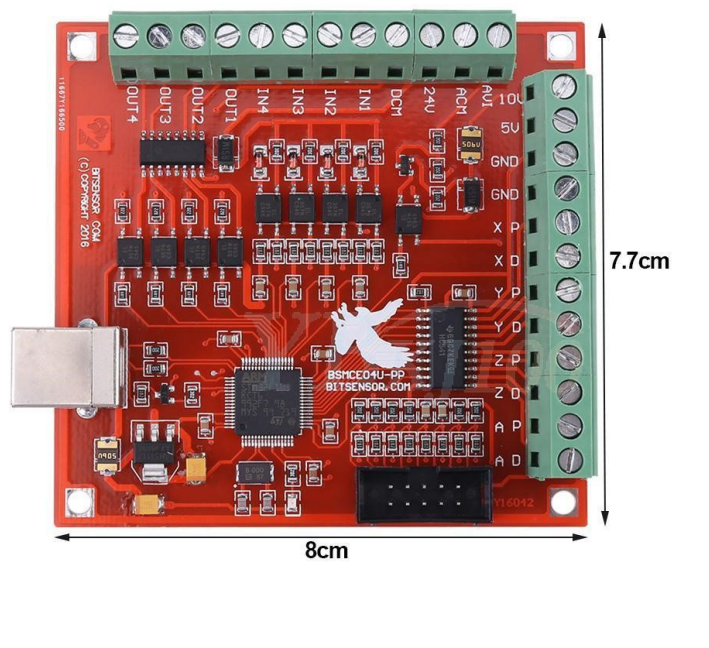
A interface controladora é uma BITSENSOR RnRMotion (Figura 3.8) que suporta até 4 eixos. Ela tem suporte para chaves de fim de curso, controle *PWM do spindle* em faixas de 0-10V e tem total compatibilidade com o software MACH3. Ela conecta-se via USB e não precisa de alimentação externa. A figura abaixo (Figura 3.7) detalha como ela foi ligada.

Figura 3.7 – Esquema de ligação do controlador.



Fonte: BITSENSOR (2014)

Figura 3.8 – Controlador BITSENSOR RnRMotion



Fonte: BITSENSOR (2014)

3.3.4 – Drivers e Motores de passo.

Os drivers selecionados foram os TB6600 (Figura 3.10), fabricados por várias empresas. Estes drivers tem capacidade de fornecer pulsos PWM de até 3.5 A. Como os motores funcionam com no máximo 3.3 A, estes drivers serão suficientes. Os motores selecionados foram os motores WOTIOM (Figura 3.9), de 15 e 30 kgf.cm, com passo de 1,8°.

Figura 3.9 – Motores usados.



Fonte: WOTIOM (2011)

Figura 3.10 – Driver TB6600



Fonte: WOTIOM (2011)

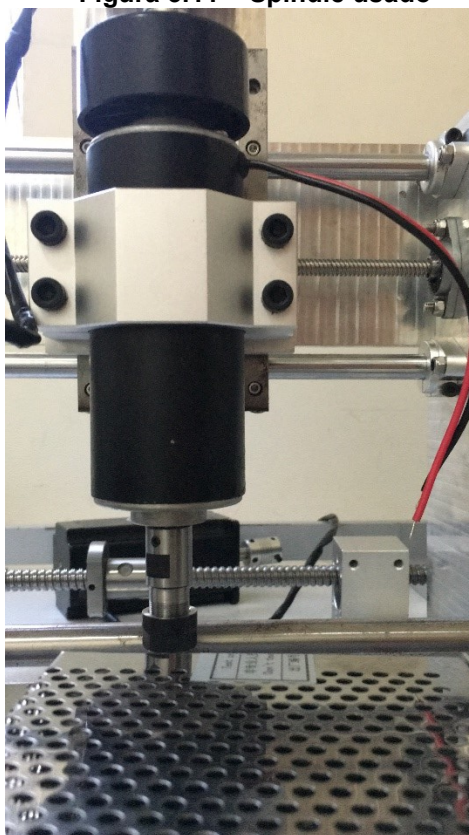
3.3.5 – Alimentação

Para alimentar os motores de passo, foi usada uma fonte chaveada de 24 V com capacidade máxima de 20 A. A fonte rende um total de 480 W em pleno funcionamento e tem arrefecimento ativo. Para alimentação do Spindle foi usado uma fonte chaveada PWM de 0-100 V com potência nominal de 500 W.

3.3.6 – Spindle

O Spindle selecionado foi um spindle de 500 Watts (Figura 3.11), operado por corrente contínua com controle PWM da tensão para controle de rotação. Ele opera em faixa de 0-100 V com corrente nominal de 5 A. A rotação do spindle é controlada por uma tensão de referência de 0-10 V.

Figura 3.11 – Spindle usado



Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo forma cronológica de fabricação das peças, a fresadora foi tomando forma e foi sendo testada. Após o término da montagem, com todos os parâmetros calibrados e *setup* feito, foi dado o início nos testes para definir qual nível de precisão poderia ser atingido.

4.1 – CUSTOS

O custo total será descrito através de tabelas feitas utilizando um *software* de dados genérico. As planilhas (Tabela 1 a 4) estão divididas por classes, “Base”, “Pórtico” e “Mecatrônica”. Esta nomenclatura foi utilizada para descrever as partes da máquina que serão de materiais diferentes ou de natureza diferente. (Mecatrônica ou mecânica por exemplo.)

4.1.1 – Base

Tabela 1 – Custos da Base

Item	Preço (UN/KG)	Qtde	Subtotal	Total (BASE)
Blank de Aço AISI1020	R\$ 6.40	23.4	R\$ 149.76	R\$ 1,154.18
Usinagem dos Blanks	R\$ 250.00	1	R\$ 250.00	
Parafuso M6x30 Inox	R\$ 2.60	18	R\$ 46.80	
Mancal KP0000	R\$ 22.99	1	R\$ 22.99	
Mancal KP08	R\$ 15.99	1	R\$ 15.99	
Parafuso M5x40 Inox	R\$ 2.39	4	R\$ 9.56	
Porca Parlock M5 Inox	R\$ 0.79	12	R\$ 9.48	
Fuso de esferas e castanha SFU1204	R\$ 289.00	1	R\$ 289.00	
Guia linear 16mm SAE 1045 temperado H7 700mm	R\$ 44.99	2	R\$ 89.98	
Rolamento com pillowblock Scs16uu	R\$ 31.49	4	R\$ 125.96	
Mancal Sk16	R\$ 18.60	4	R\$ 74.40	
Parafuso M5x50 Inox	R\$ 2.59	8	R\$ 20.72	
Parafuso M4x16 Inox	R\$ 1.59	6	R\$ 9.54	
Chapa de MDF 18mm	R\$ 40.00	1	R\$ 40.00	

Fonte: Autoria Própria

4.1.2 – Pórtico

Tabela 2 – Custos do Pórtico

Item	Preço (UN/KG)	Qtde	Subtotal	Total (PÓRTICO)
Alumínio 5052f	R\$ 18.70	12.8	R\$ 239.36	R\$ 2,049.79
Usinagem do Alumínio	R\$ 100.00	10	R\$ 1,000.00	
Parafuso M5x40 Inox	R\$ 2.39	14	R\$ 33.46	
Parafuso M5x20 Inox	R\$ 1.89	16	R\$ 30.24	
Parafuso M4x35 Inox	R\$ 1.79	4	R\$ 7.16	
Mancal SFH12	R\$ 16.15	4	R\$ 64.60	
Guia linear 12mm SAE 1045 H7 300mm	R\$ 28.00	2	R\$ 56.00	
Fuso Trapezoidal T8x8 300 mm	R\$ 39.80	1	R\$ 39.80	
Castanha Bronze anti-folga T8	R\$ 15.99	1	R\$ 15.99	
Parafuso M4x20 Inox	R\$ 1.39	12	R\$ 16.68	
Mancal KFL8	R\$ 15.00	2	R\$ 30.00	
Guia Trapezoidal MGN12 400mm	R\$ 110.00	1	R\$ 110.00	
Patins MGN12	R\$ 59.90	2	R\$ 119.80	
Rolamento linear SC12LUU	R\$ 57.43	2	R\$ 114.86	
Fuso Trapezoidal T8x2 200 mm	R\$ 17.00	1	R\$ 17.00	
Castanha Bronze T8x2	R\$ 19.79	1	R\$ 19.79	
Parafuso M5x30 Inox	R\$ 2.19	10	R\$ 21.90	
Porca Parlock M5 Inox	R\$ 0.79	10	R\$ 7.90	
Parafuso M3x12 Inox	R\$ 0.39	14	R\$ 5.46	
Parafuso M3x20 Inox	R\$ 0.48	8	R\$ 3.84	
Suporte Spindle	R\$ 85.99	1	R\$ 85.99	
Parafuso M6x60	R\$ 2.49	4	R\$ 9.96	

Fonte: Autoria própria

4.1.3 – Mecatrônica

Tabela 3 – Custos da Mecatrônica

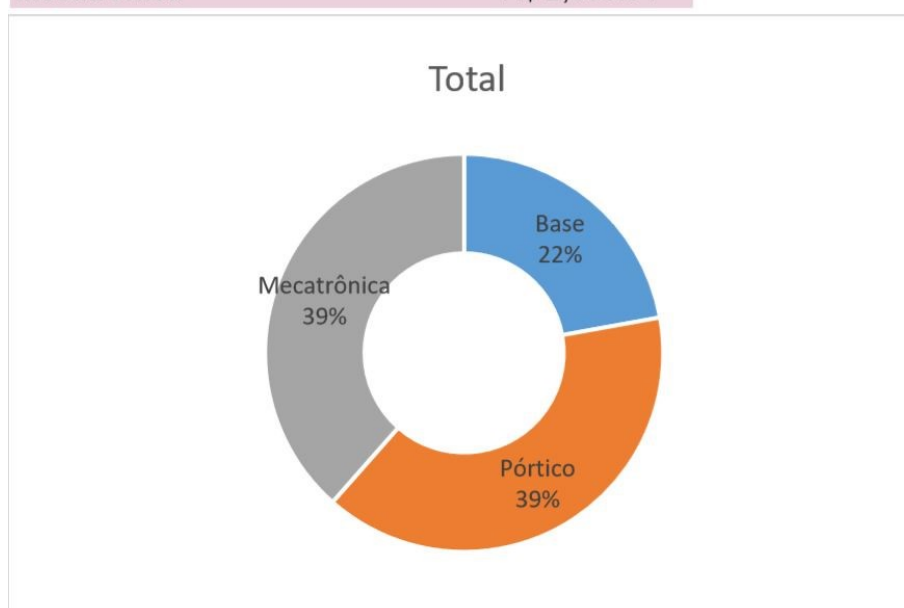
Item	Preço (UN/KG)	Qtde	Subtotal	Total (MECATRÔNICA)
Motor de passo NEMA 23 15 Kg.fcm	R\$ 159.00	2	R\$ 318.00	R\$ 2,005.54
Motor de passo NEMA 23 30 Kg.fcm	R\$ 289.00	1	R\$ 289.00	
Driver TB6600	R\$ 69.90	3	R\$ 209.70	
Acoplamento flexível 8x8	R\$ 14.90	3	R\$ 44.70	
Controlador RNR MOTION 4 Eixos	R\$ 189.90	1	R\$ 189.90	
Fonte 500W 24V	R\$ 79.90	1	R\$ 79.90	
Fio flexível 1 via 1mm ²	R\$ 0.79	15	R\$ 11.85	
Cabo 4 vias	R\$ 3.70	4	R\$ 14.80	
Terminais Crimpaveis	R\$ 3.30	1	R\$ 3.30	
Solda	R\$ 33.50	1	R\$ 33.50	
Termoretrátil	R\$ 0.19	10	R\$ 1.90	
Spindle 500 W DC 100V	R\$ 419.00	1	R\$ 419.00	
Fonte 0-100V PWM Chaveada 500W	R\$ 389.99	1	R\$ 389.99	

Fonte: Autoria própria

4.1.4 – Total

Tabela 4 – Total de Custos

ITEM	VALOR	TOTAL
Base	R\$ 1,154.18	5209.51
Pórtico	R\$ 2,049.79	
Mecatrônica	R\$ 2,005.54	



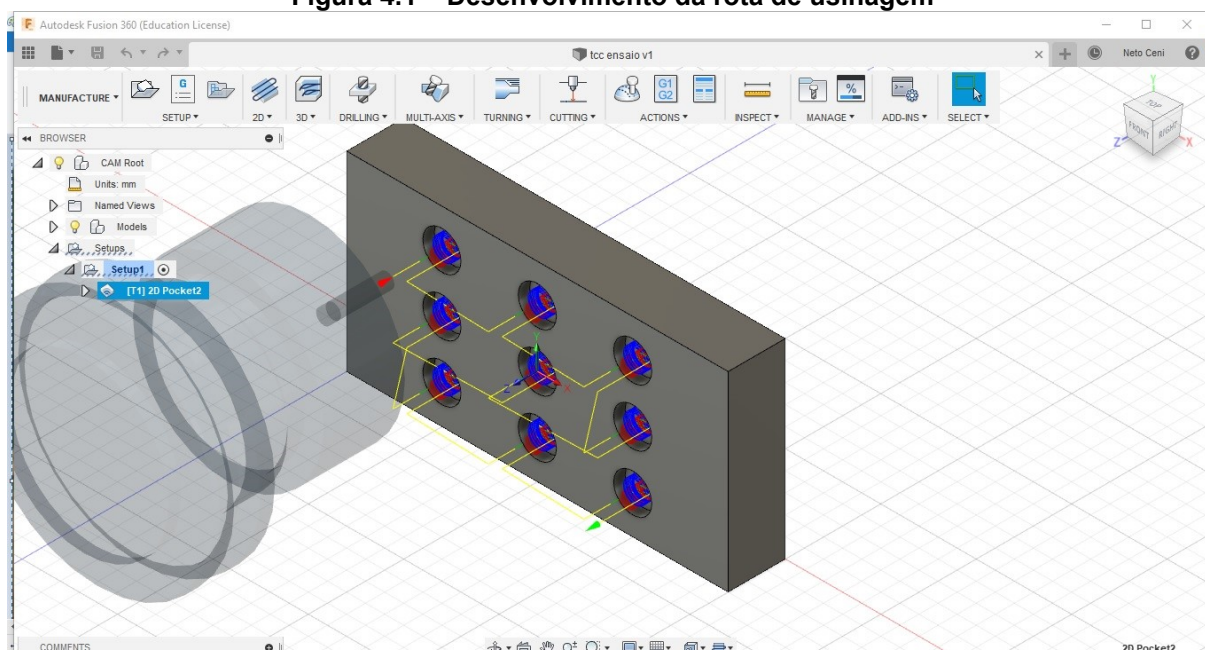
Fonte: Autoria própria

4.2 – TESTE

Para testar as precisões de todos os eixos de forma interpolada, medindo não só a precisão como a precisão entrelaçada entre dois eixos, foi desenvolvido um código pelo processo de CAM no *software* AUTODESK FUSION 360. A rota de usinagem consiste em interpolações circulares de mesmo tamanho com distância entre elas constante. Este programa será executado em madeira e poliacetal. A figura 4.1 mostra a modelagem e desenvolvimento das rotas de usinagem. A ferramenta usada foi uma fresa de carbeto, três cortes e 4 mm de diâmetro. Os parâmetros da usinagem foram:

- 300 mm/min
- 0.6 mm de profundidade.

Figura 4.1 – Desenvolvimento da rota de usinagem



Fonte: Autoria própria.

Com as rotas de ferramenta definidas, foi executado o ensaio e os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 5 – Resultados poliactal

POLIACETAL		
Diâmetro	Distância entre furos X	Distância entre furos Y
10.09	15.87	4.92
10.17	15.54	4.98
9.88	15.51	4.87
9.94	15.74	4.91
10.07	15.52	4.77
10.21	15.36	5.02
10.04	15.41	4.88
9.84	15.47	4.82
9.91	15.81	4.9
Média dos diâmetros	Média dos entre furos X	Média dos entre-furos Y
10.01666667	15.58111111	4.896666667
Desvio Padrão dos diâmetros	Desvio Padrão dos entre-furos X	Desvio Padrão dos entre-furos Y
0.130766968	0.181000307	0.07566373

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – Resultados em madeira

MADEIRA		
Diâmetro	Distância entre furos X	Distância entre furos Y
10.11	15.87	4.77
10.25	15.81	4.81
10.36	15.68	4.84
10.25	15.77	4.82
10.05	15.94	4.83
10.22	15.73	5.12
10.16	15.84	4.94
10.21	15.78	4.82
10.28	15.81	4.9
Média dos diâmetros	Média dos entre furos X	Média dos entre-furos Y
10.21	15.80333333	4.872222222
Desvio Padrão dos diâmetros	Desvio Padrão dos entre-furos X	Desvio Padrão dos entre-furos Y
0.092736185	0.076485293	0.105685592

Fonte: Autoria própria

Com estes resultados (Tabela 5 e 6), é possível observar que a variação de resultados para a madeira é maior que para o poliacetal.

Um possível fator para esta variação é o fato de a madeira ser um material com resistências mecânicas diferentes em diferentes direções de esforço, e já o poliacetal, devido a ser um polímero, tem suas propriedades homogêneas em diferentes planos de esforços.

As medidas foram obtidas usando um paquímetro digital da marca DIGIMESS, com precisão de +/- 0.005 mm. Os dados foram computados em um *software* de processamento de dados genérico.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com o ensaio e o resultado da construção da fresadora foi possível chegar a conclusões sobre o processo como um todo. Os objetivos específicos e objetivo geral foram concluídos com sucesso, e os resultados de precisão e repetibilidade foram apresentados nas tabelas.

A respeito dos resultados, é possível afirmar que eles condizem com o processo construtivo. Não esperava-se chegar a precisões acima da casa de 5 centésimos de milímetro por diversos motivos, tais como rigidez geral da fresadora, precisão de um sistema de controle em malha aberta, e uso de fusos trapezoidais com folgas aparentes nos eixos X e Z. O uso de fusos de esferas em todos os eixos aumentaria a precisão para níveis ainda mais altos.

Agora considerando o custo e a dificuldade na construção da máquina, é possível dizer que a construção de um equipamento destes é totalmente válida, porém para pessoas entrando no ramo de usinagem CNC e fabricação, até para pequenas usinagens de placas de circuito impresso ou até mesmo componentes mecânicos em materiais com baixa dureza.

Para possíveis reproduções deste equipamento, sugiro o uso de uma malha fechada para controle dos eixos, também seria interessante o uso de fusos de esfera em todos os eixos e não só no eixo Y.

Sugestões para trabalhos posteriores com base neste já executado seriam:

- Desenvolvimento de um estudo sobre a otimização da parte estrutural da fresadora.

- Uso de materiais alternativos na construção mecânica.

- Aplicação de uma malha fechada e de um quarto eixo.

Outro aspecto a ser analisado é a parte da segurança. Como este protótipo é a primeira iteração, alguns itens serão adicionadas para a segunda iteração. Itens de segurança serão o principal foco, tais como sensores de fim de curso e botoeiras para parada de emergência. Um enclausuramento para a parte de controle também será construído.

REFERÊNCIAS

3D printing community and emerging practices of peer production by Jarkko Moilanen and Tere Vadén. First Monday, Volume 18, Number 8 - 5 August 2013 <https://journals.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/view/4271/3738>
doi:10.5210/fm.v18i8.4271

MACEDO, S. E. **Análise de forças no fresamento de topo convencional e com altas velocidades de corte**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

LYRA, Pablo Vinícius Apolinário **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática**, [Distrito Federal] 2010. xvii, 90p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2010). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Jurisato, Augusto Seolin et al. **Difusão de tecnologia CAD e CNC como ferramenta básica de criação de produção em pequena escala, acessível à comunidade**. CONGRESSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 7., 2013, Águas de Lindólia. Anais... São Paulo: PROEX; UNESP, 2013, p. 09694

SOUZA, Sérgio Augusto de. – **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos** – 5ª Ed. – São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

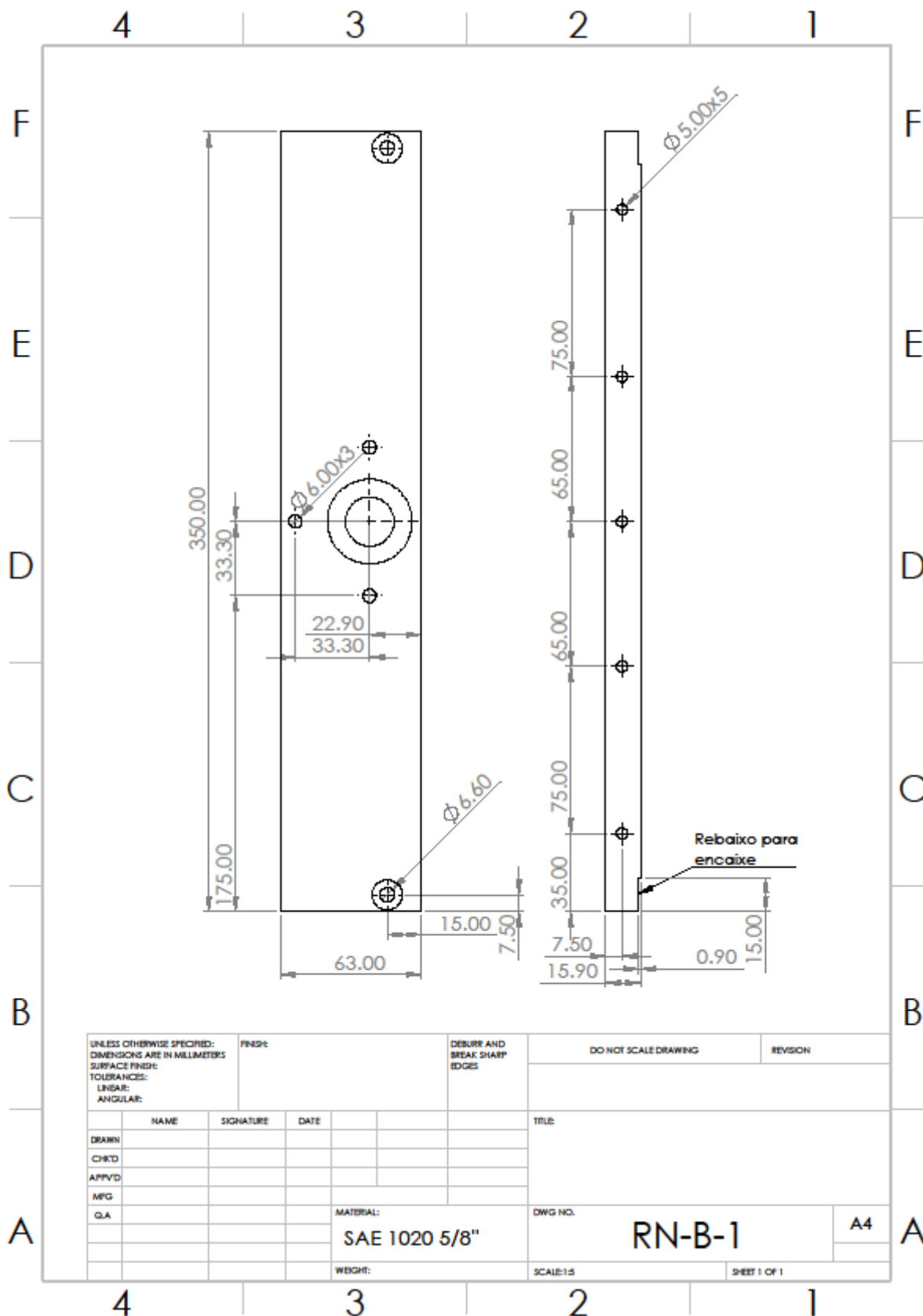
NORTON, Robert L. – **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. – 4ª Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

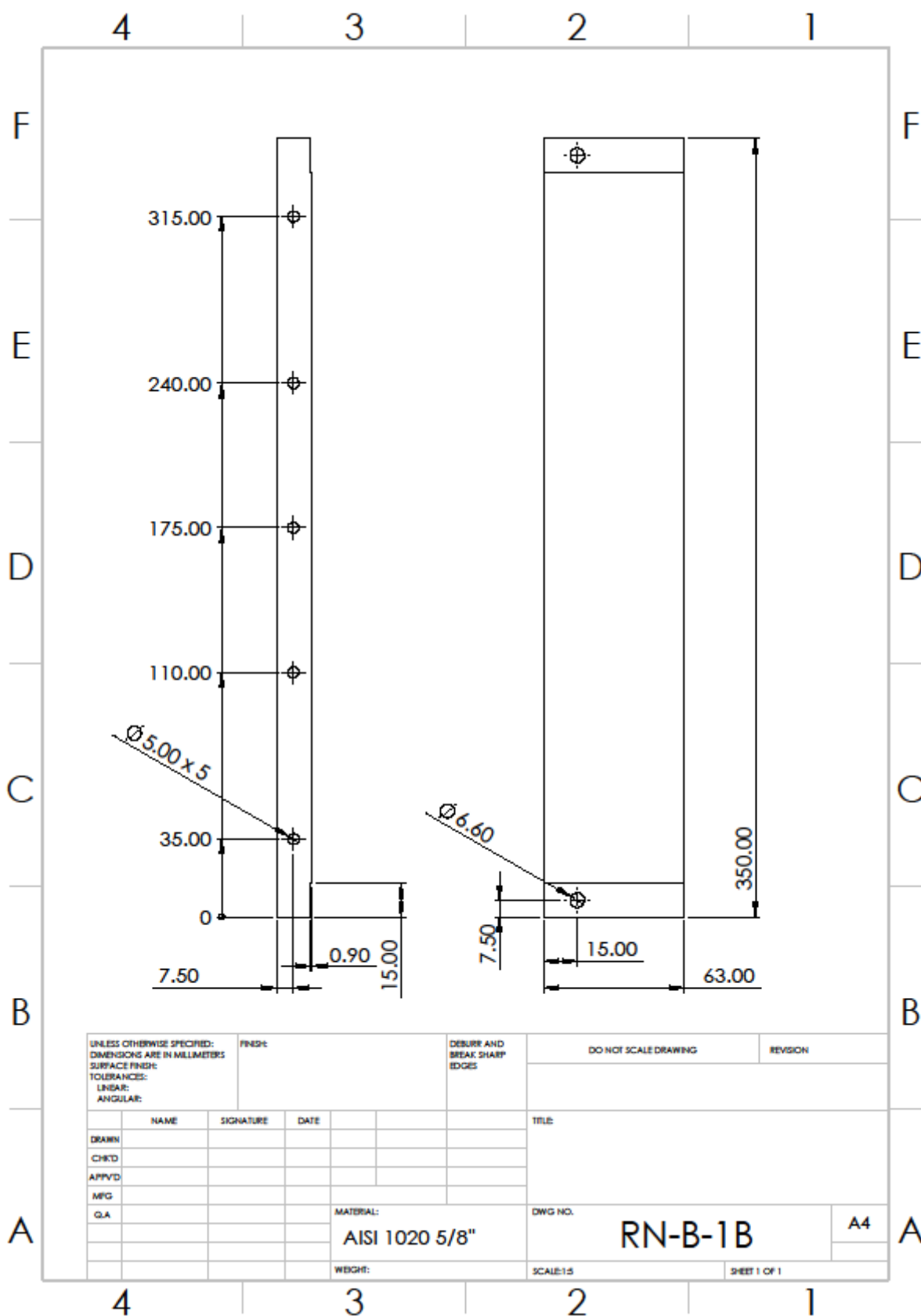
OCANHA, D. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FRESADORA NUMÉRICAMENTE CONTROLADA**. 2009. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade São Fransico.

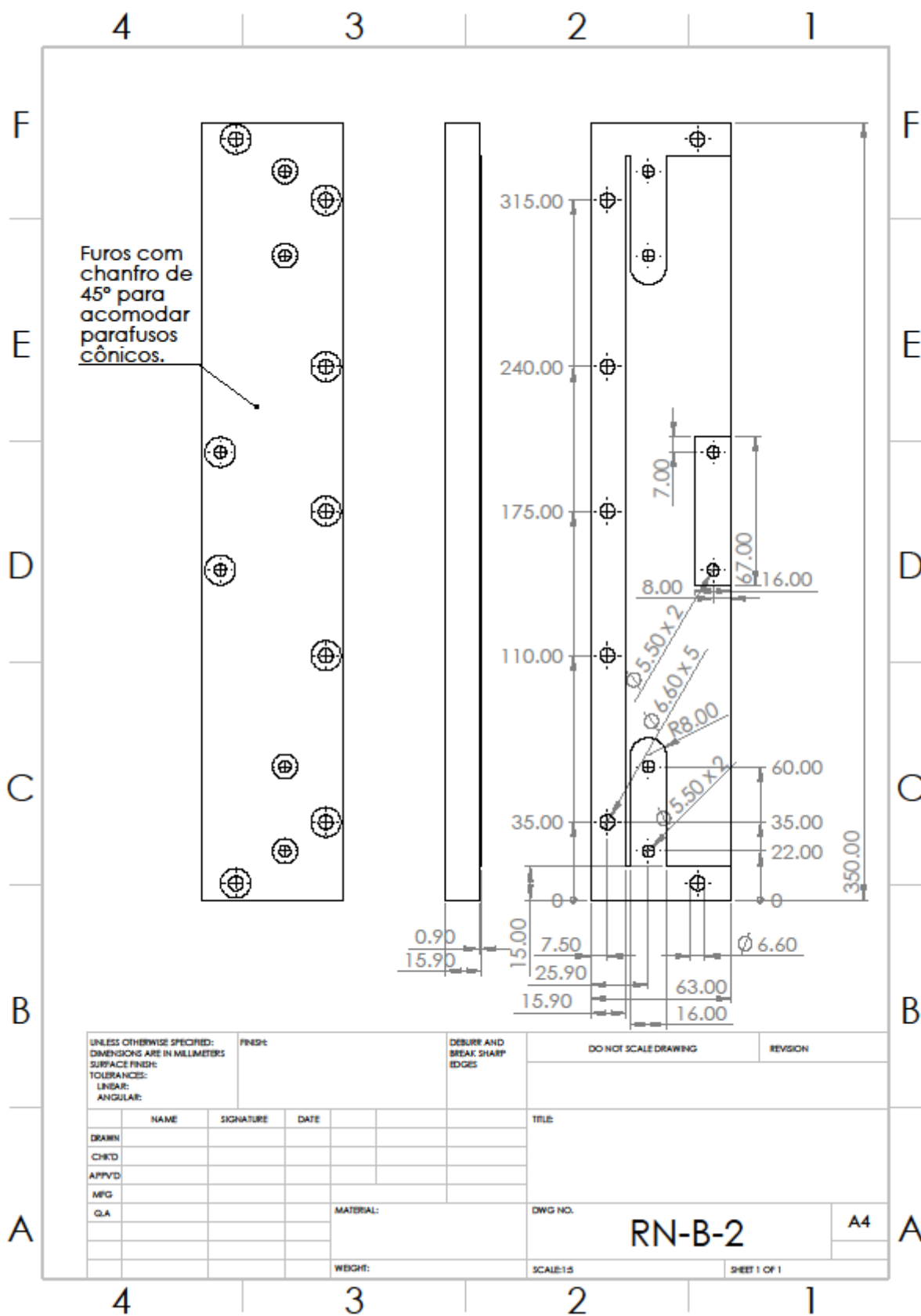
MACHADO, Álisson. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 1ª Edição. São Paulo: Editora EDGARD BLÜCHER, 2009.

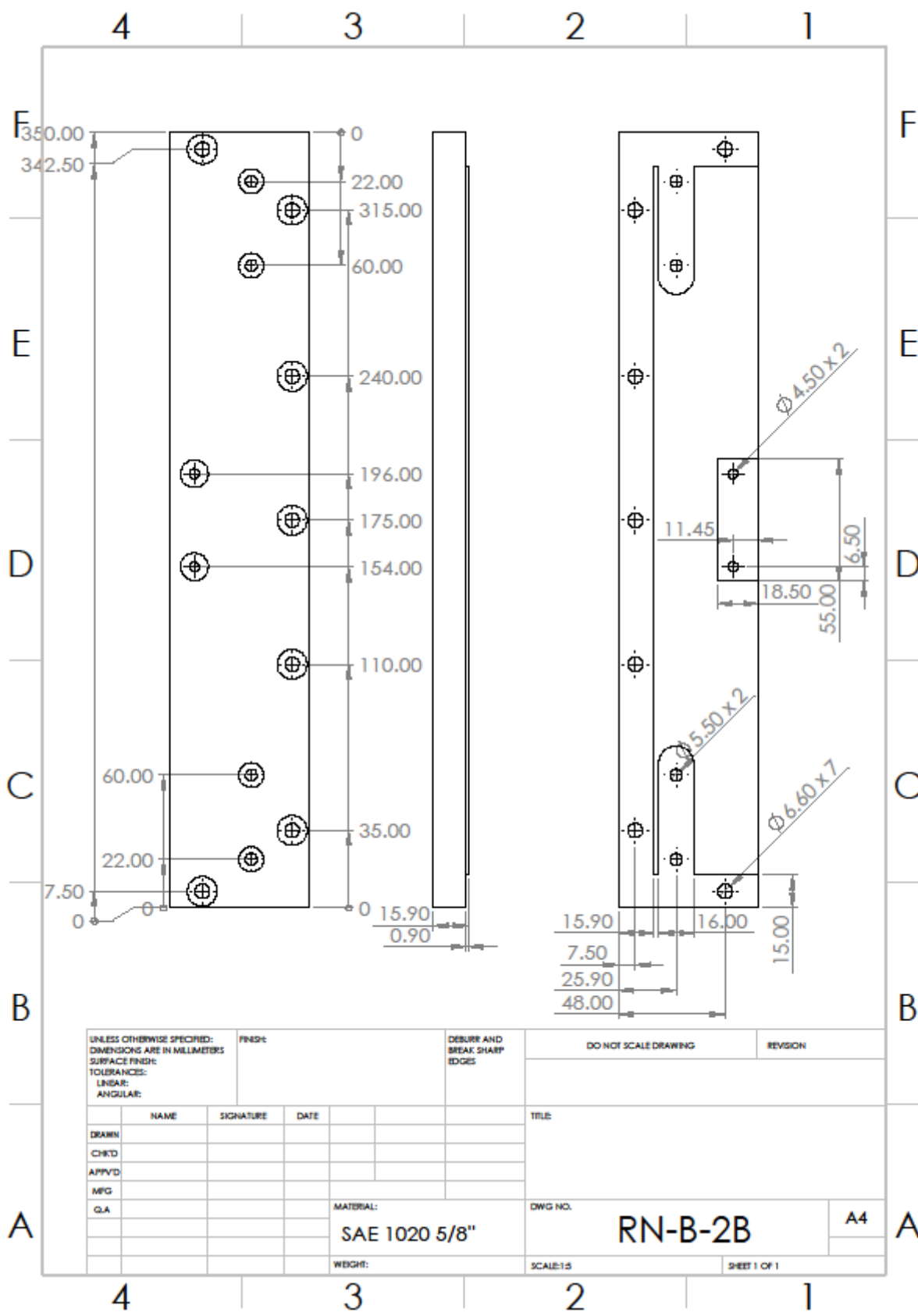
SUK-HWAN, Suh et al. **Theory and Design of CNC Systems**, 2008.

APÊNDICE A - (DESENHO TÉCNICO DAS PEÇAS USINADAS)

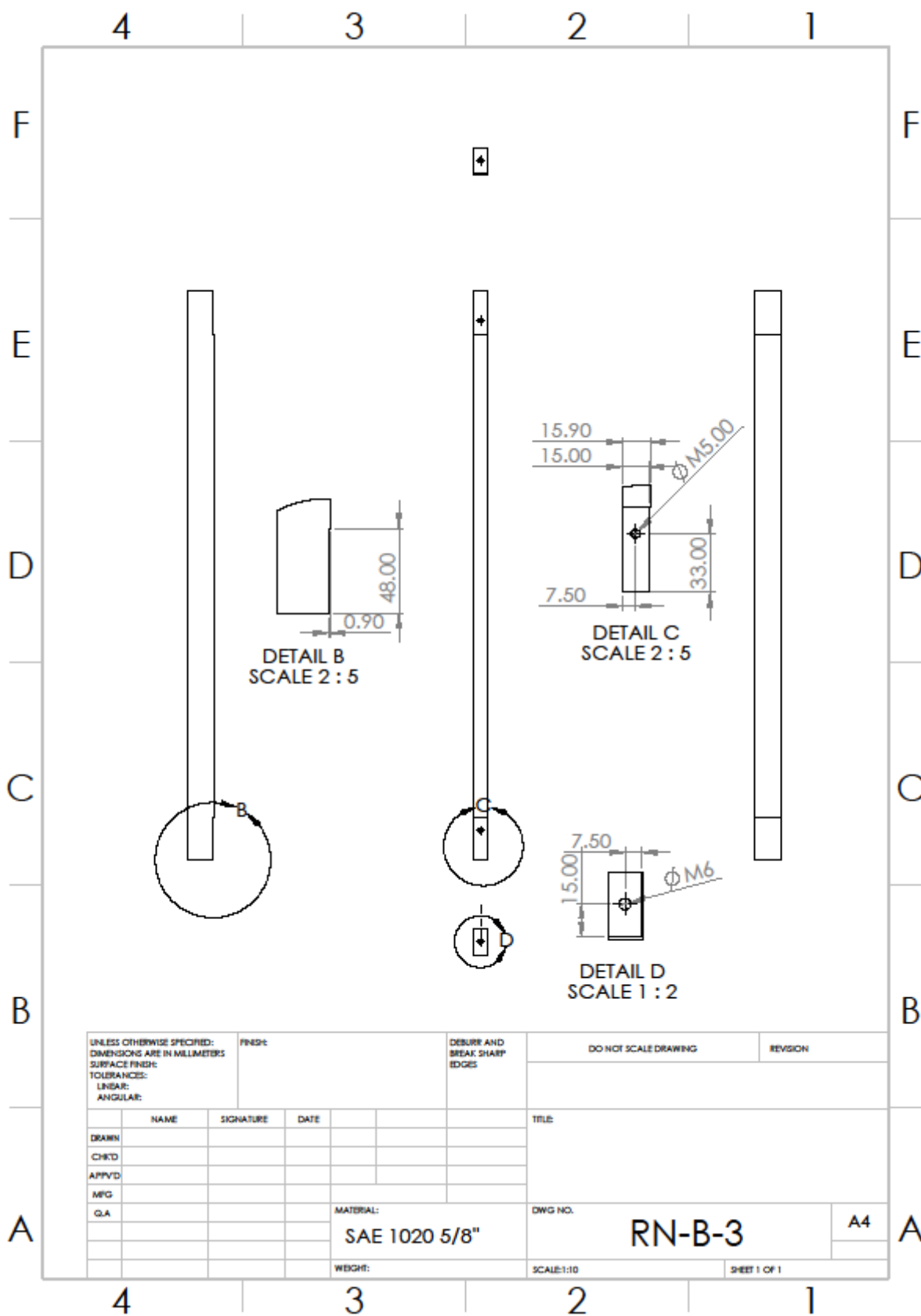


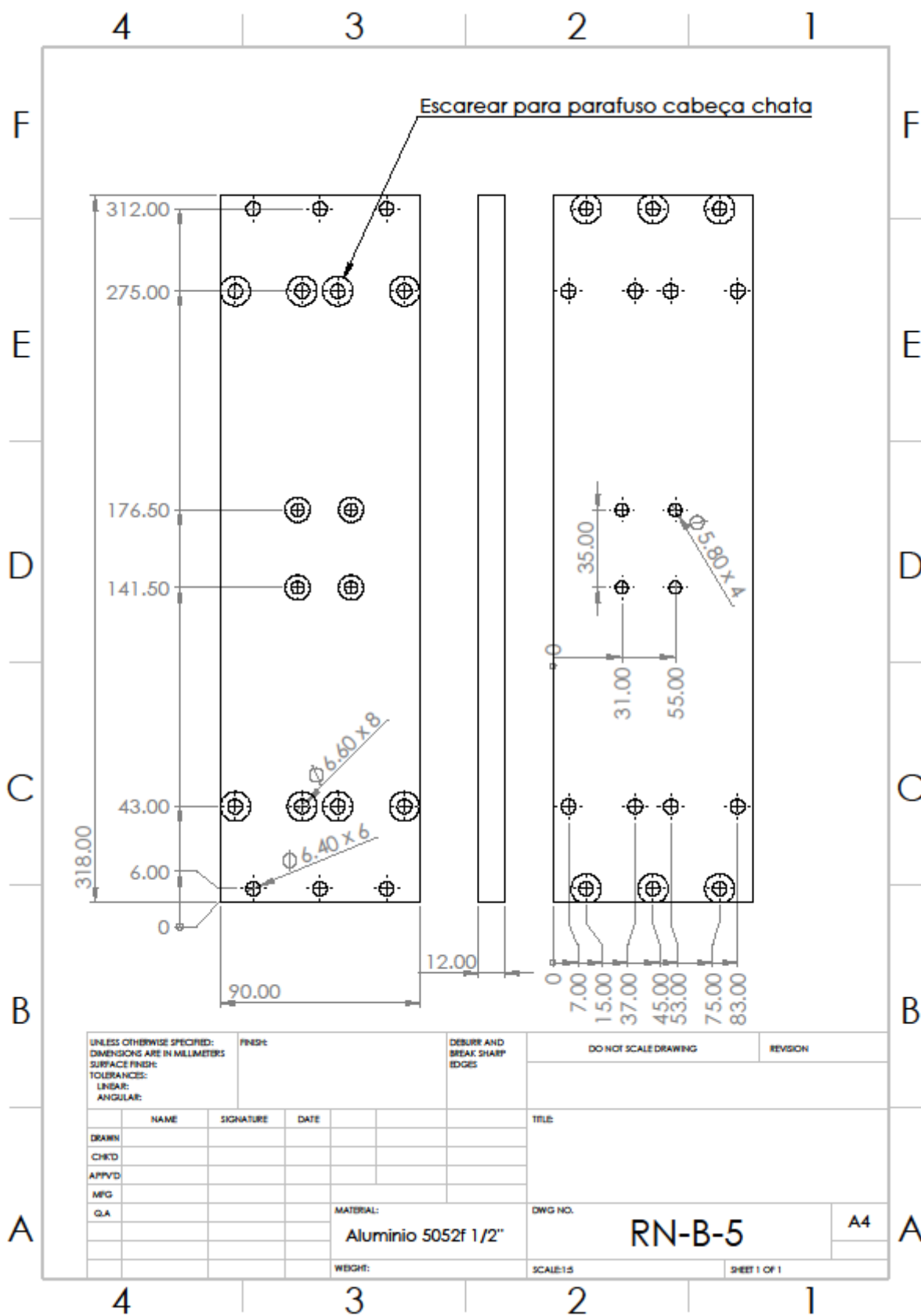


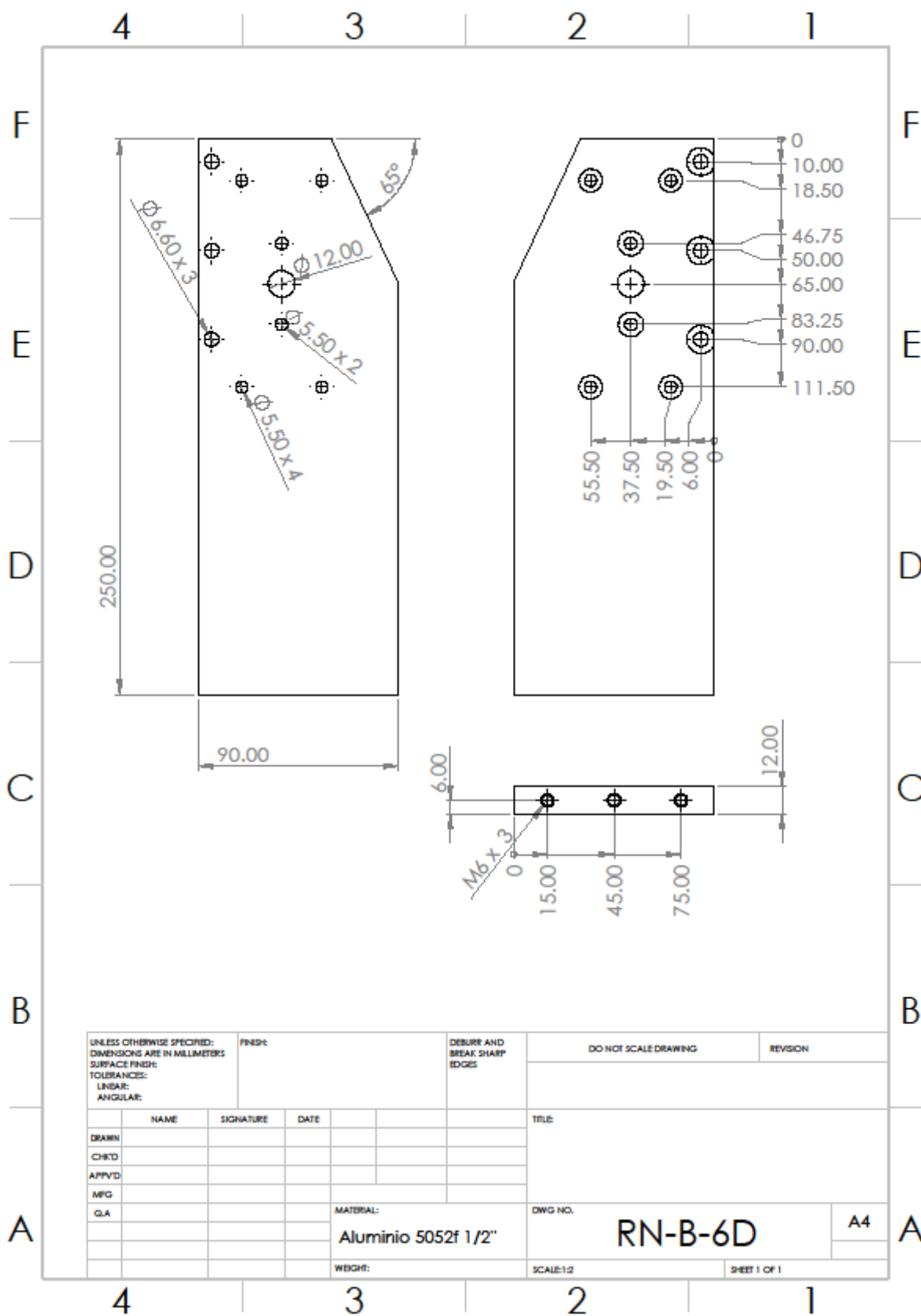




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE	
DRAWN							
CHK'D							
APP'VD							
MFG							
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.	A4
					SAE 1020 5/8"	RN-B-2B	
					WEIGHT:	SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE			
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
						Aluminio 5052f 1/2"		RN-B-6D	
						WEIGHT:		SCALE: 1:2	
								SHEET 1 OF 1	

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

F

4

3

2

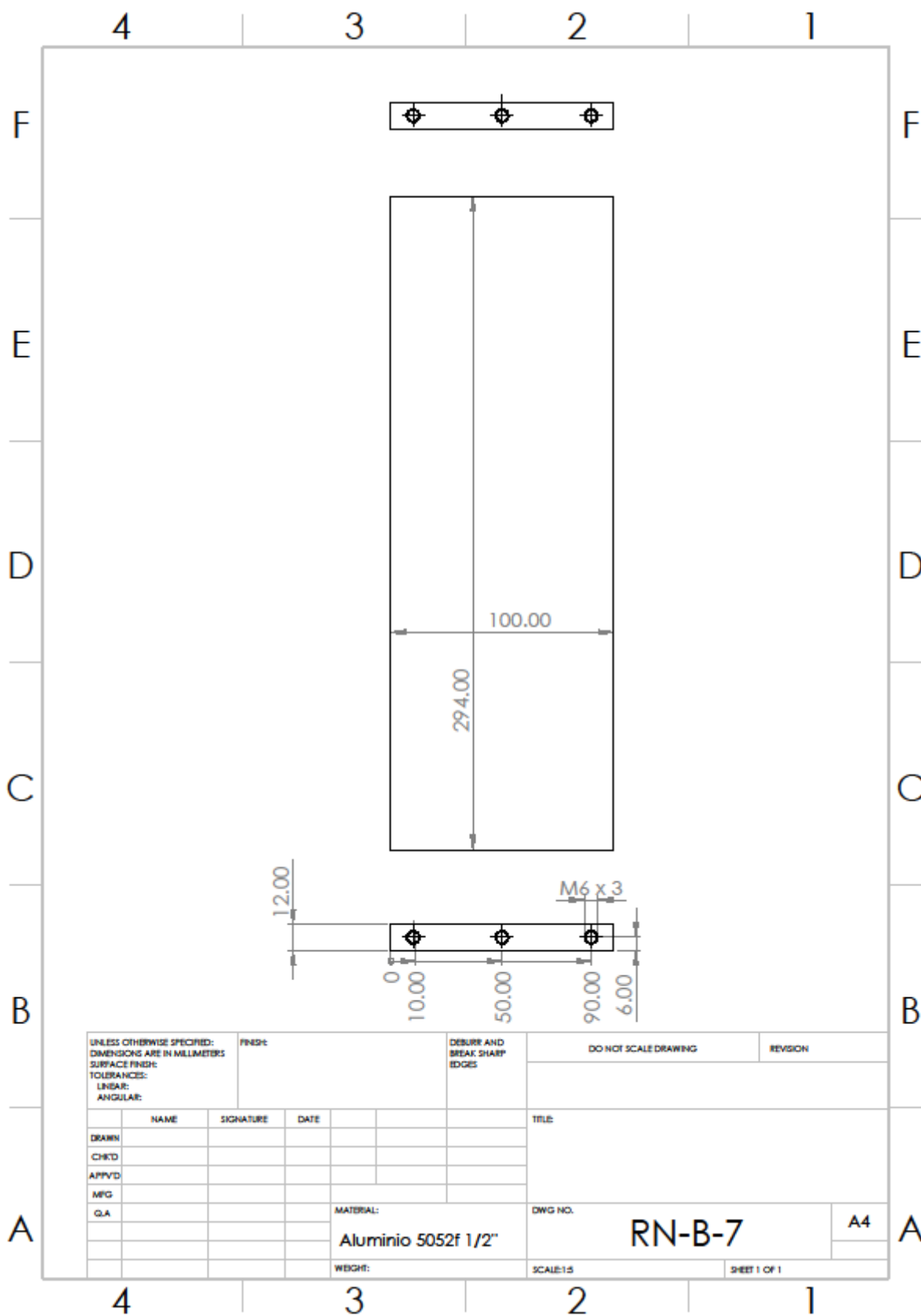
1

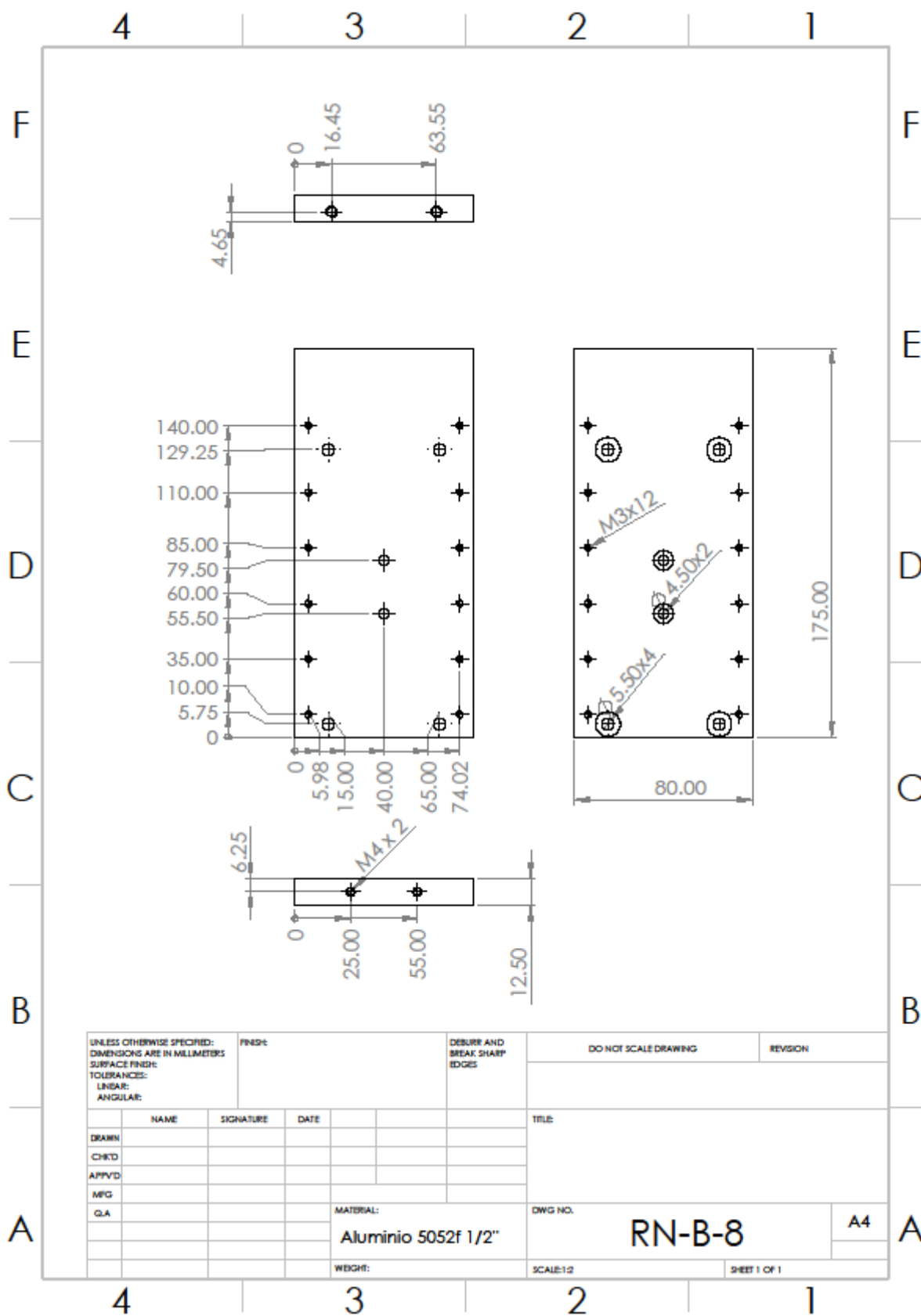
4

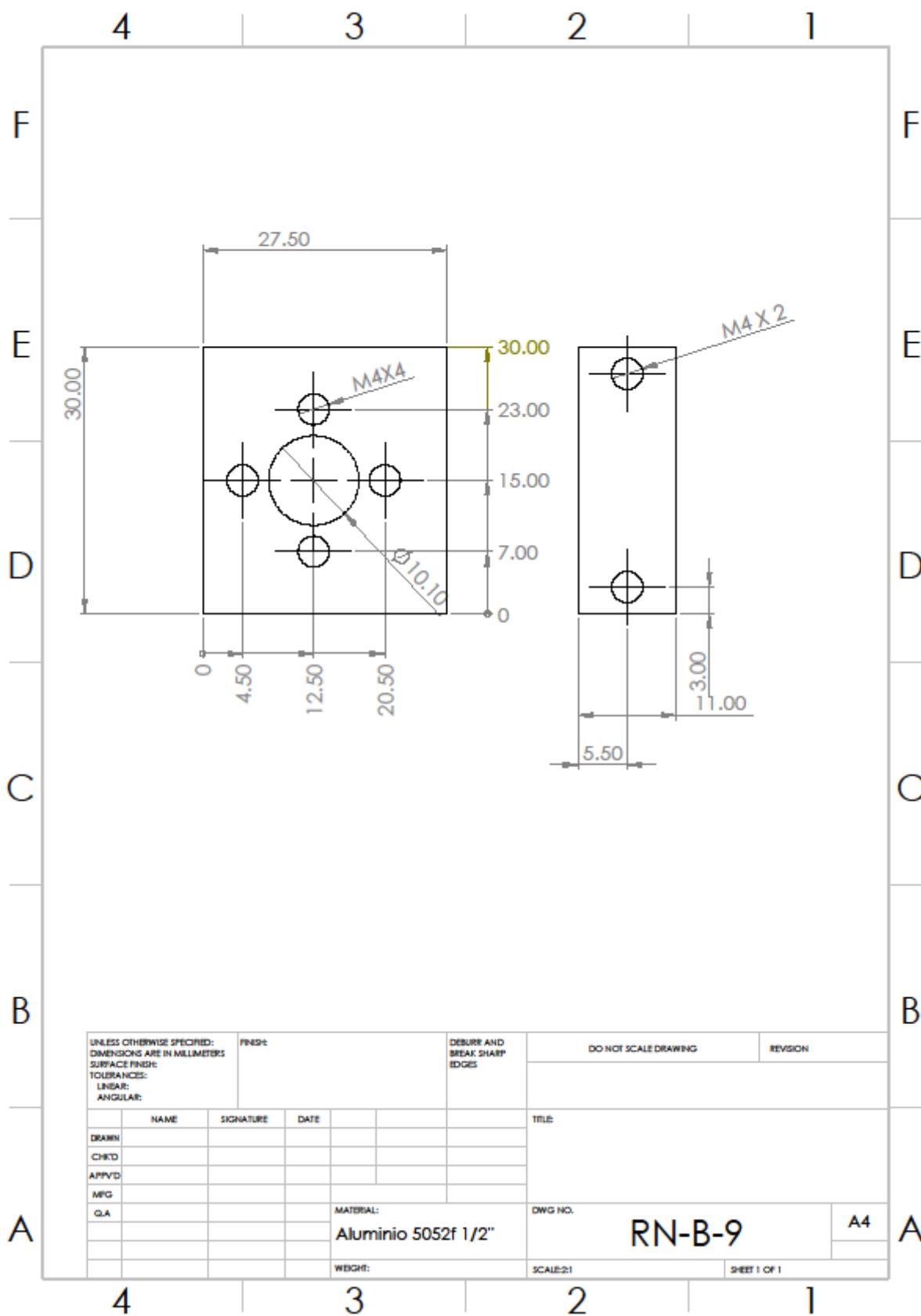
3

2

1







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE			
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A.						MATERIAL:		DWG NO.	
						Aluminio 5052f 1/2"		RN-B-9	
						WEIGHT:		SCALE: 2:1	
								SHEET 1 OF 1	

A

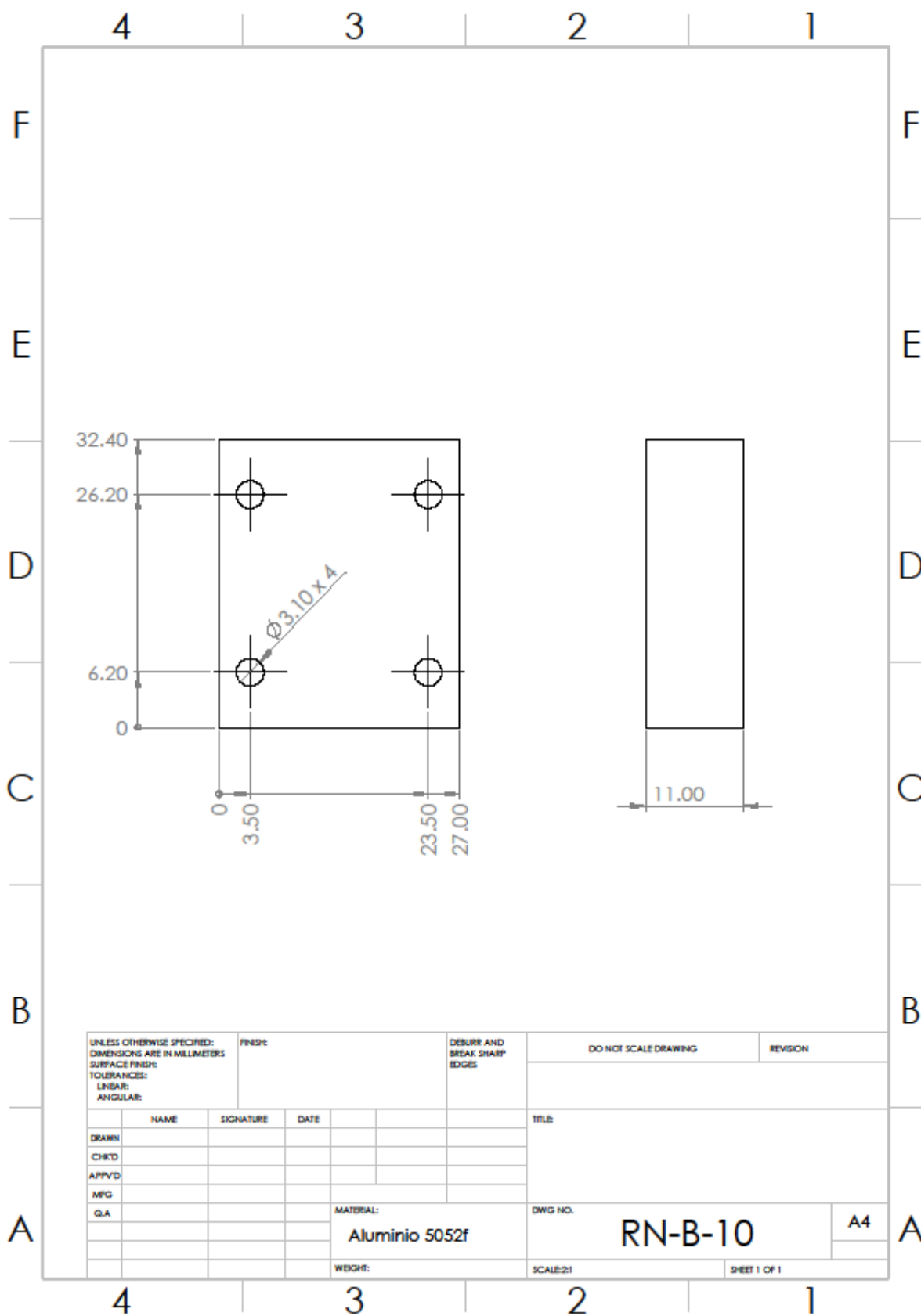
A

4

3

2

1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE			
DRAWN									
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
						Aluminio 5052f		RN-B-10	
						WEIGHT:		SCALE:2:1	
								SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

A

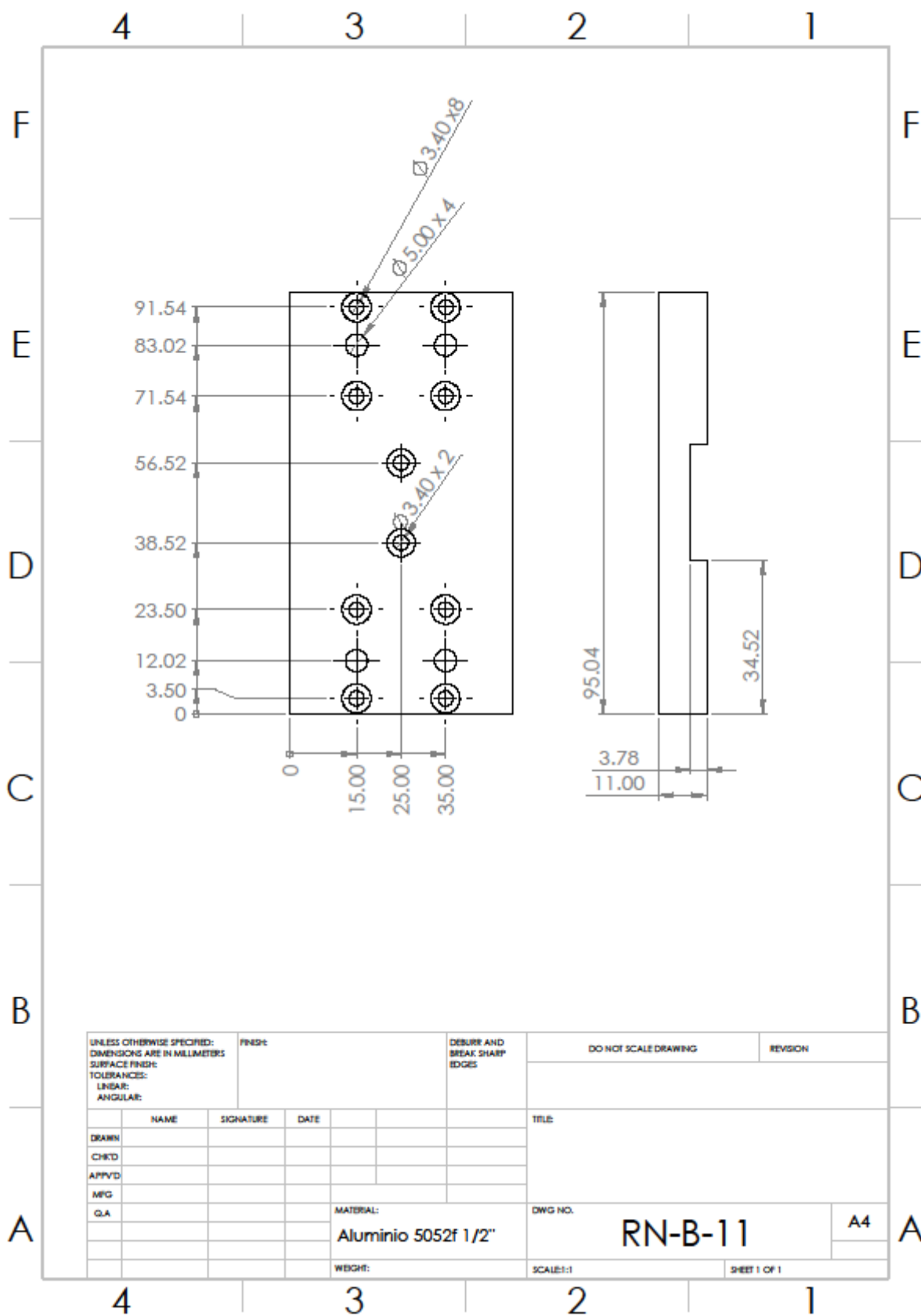
A

4

3

2

1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE			
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
								Aluminio 5052f 1/2"		RN-B-11	
								WEIGHT:		SCALE:1:1	
										SHEET 1 OF 1	

A

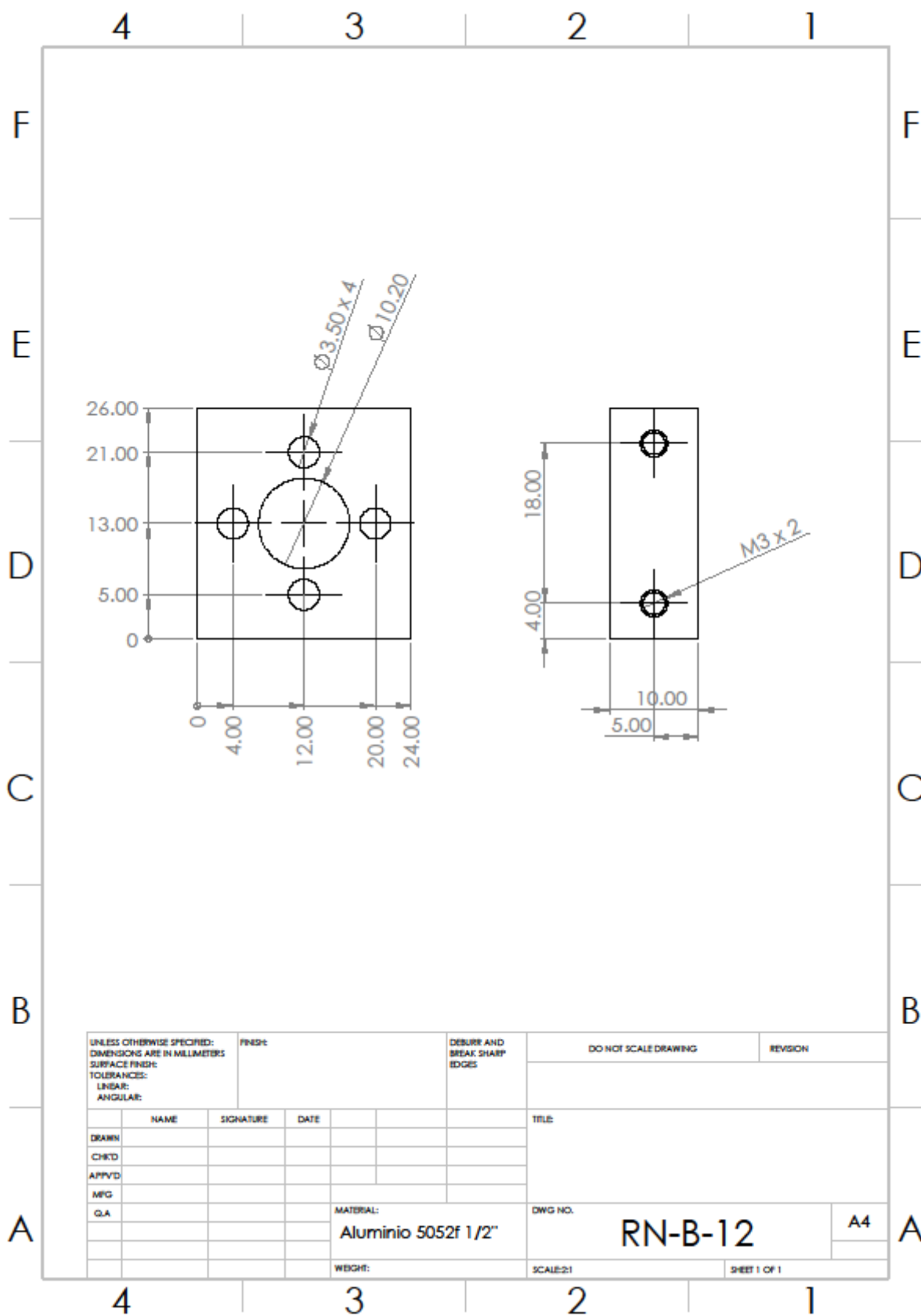
A

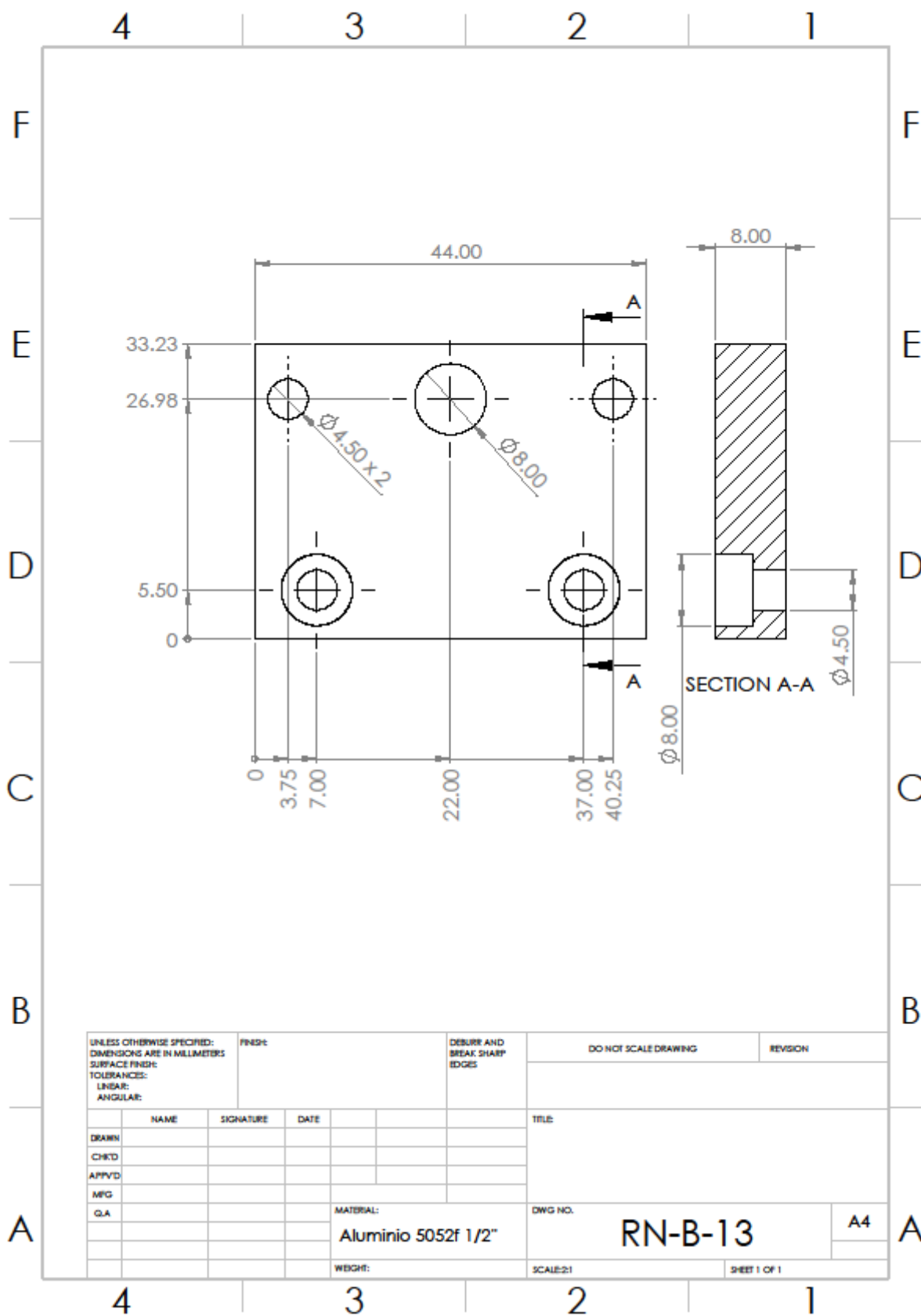
4

3

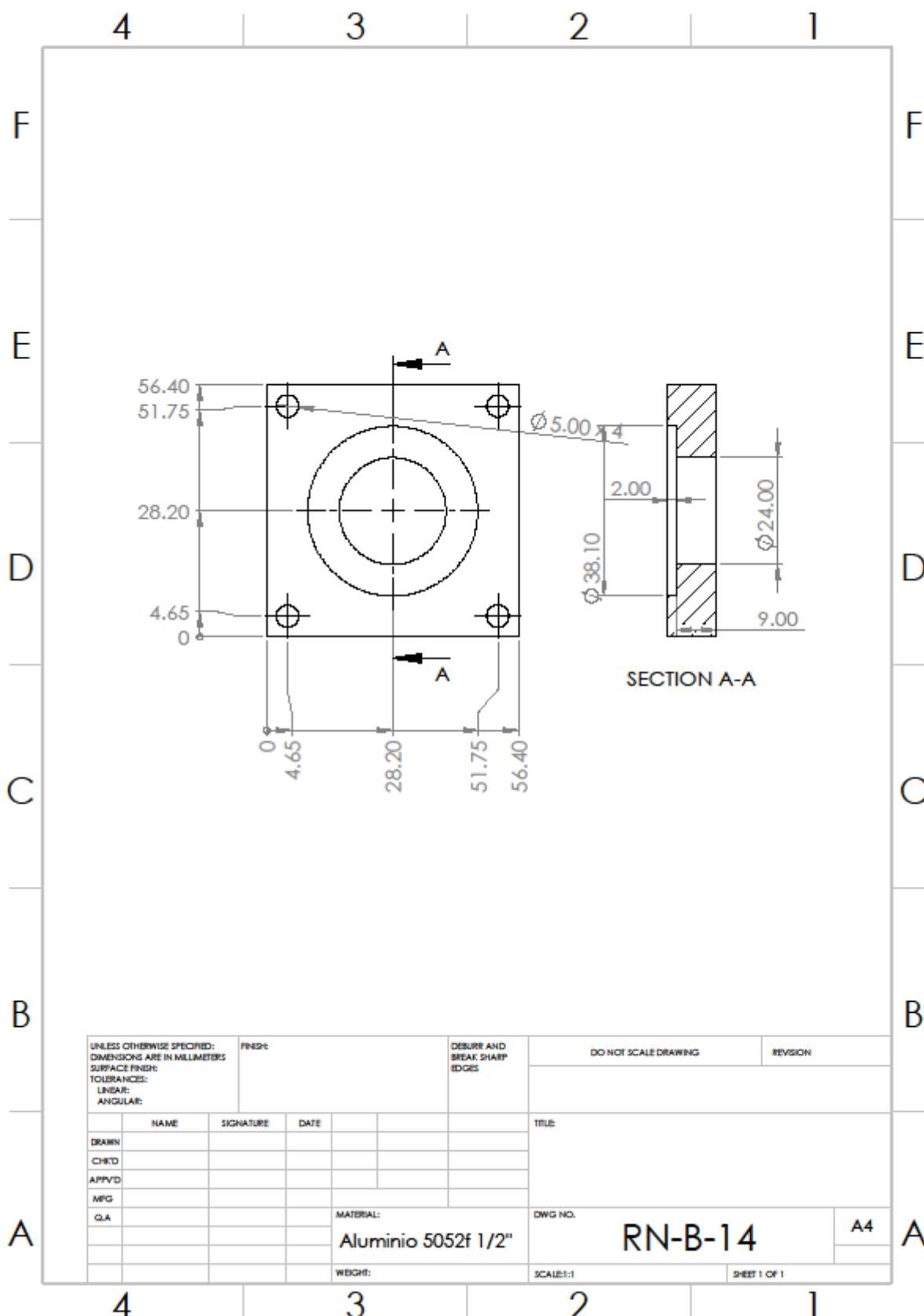
2

1





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE	
DRAWN							
CHK'D							
APP'VD							
MFG							
Q.A					MATERIAL: Aluminio 5052f 1/2"	DWG NO. RN-B-13	A4
					WEIGHT:	SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE			
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG. NO.	
								Aluminio 5052f 1/2"		RN-B-14	
								WEIGHT:		SCALE:1:1	
										SHEET 1 OF 1	

A

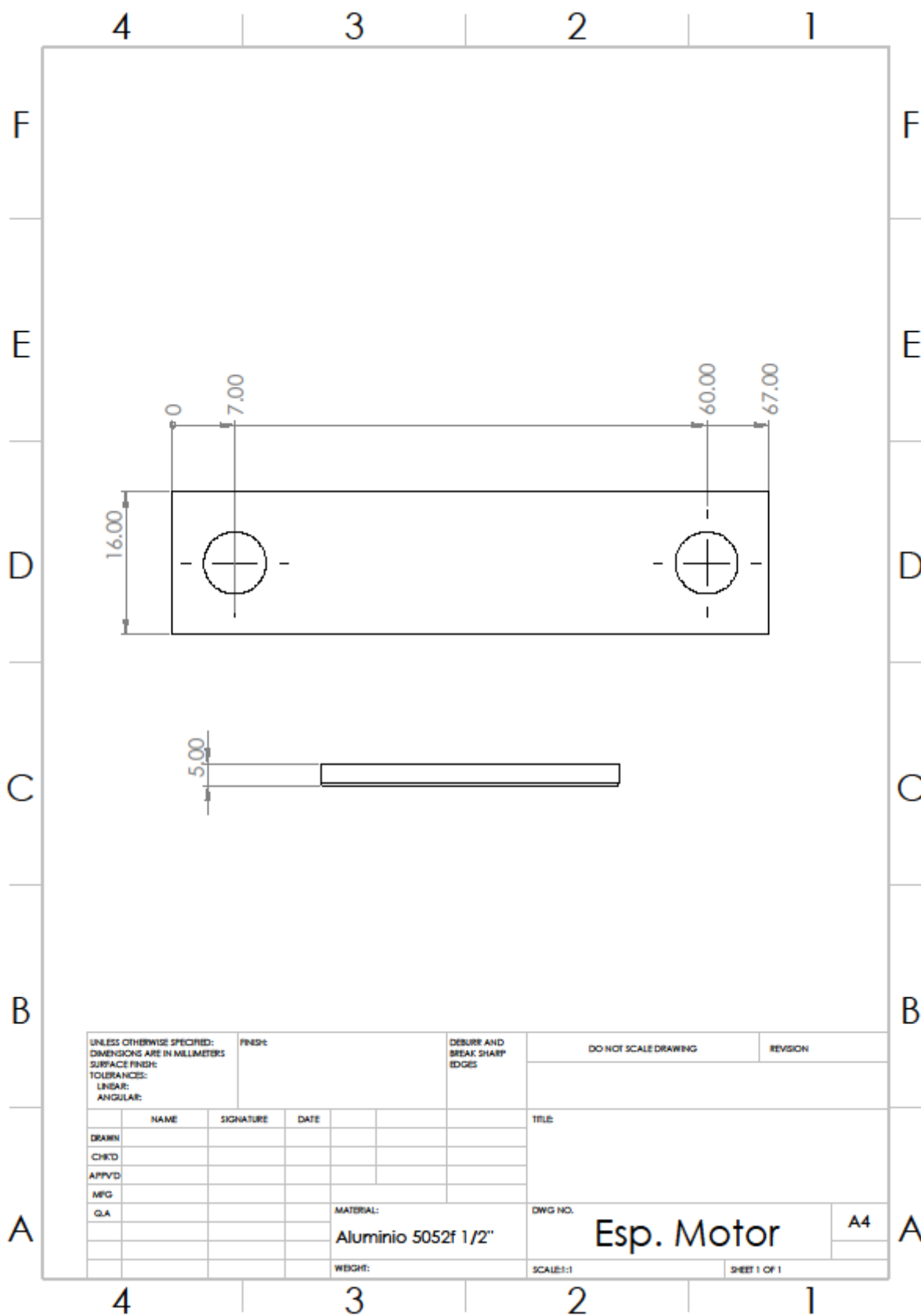
A

4

3

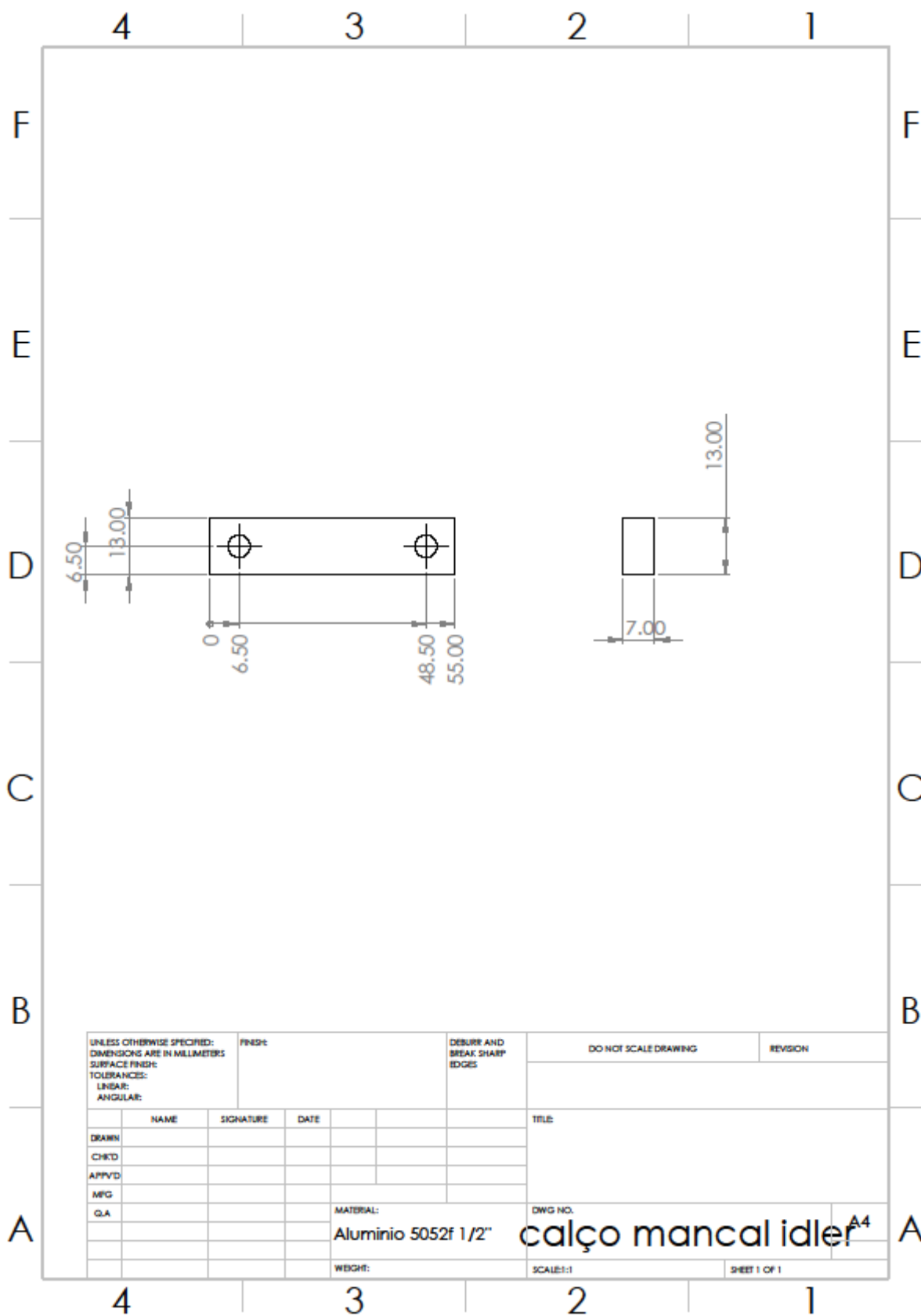
2

1

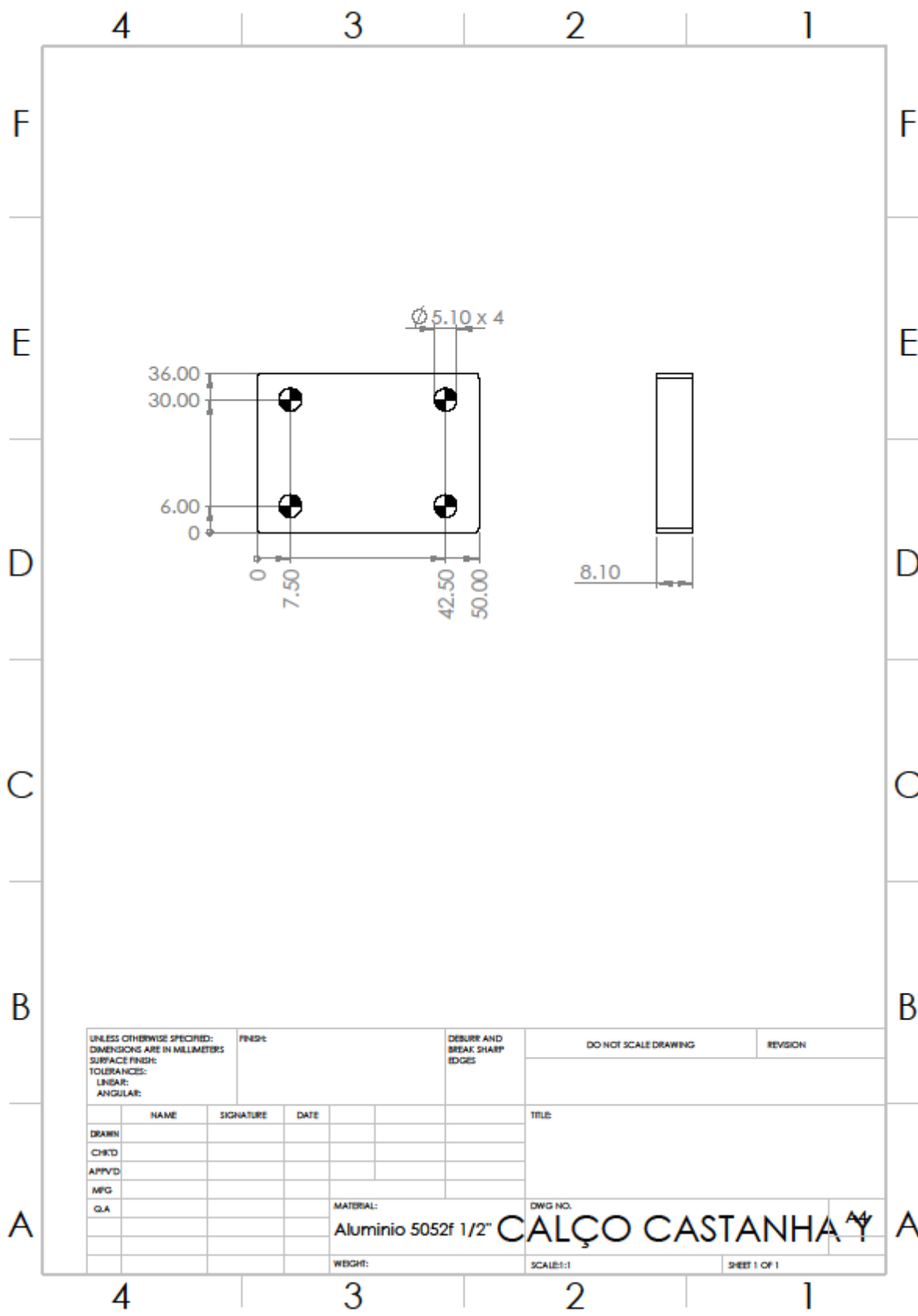


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE			
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
								Aluminio 5052f 1/2"		Esp. Motor	
								WEIGHT:		SCALE:1:1	
										SHEET 1 OF 1	

A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE			
DRAWN											
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		A4	
						Aluminio 5052f 1/2"		calço mancal idler			
						WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE			
DRAWN									
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG NO.			
				Aluminio 5052f 1/2"		CALÇO CASTANHA			
				WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

ANEXO A – DATA SHEET MOTOR



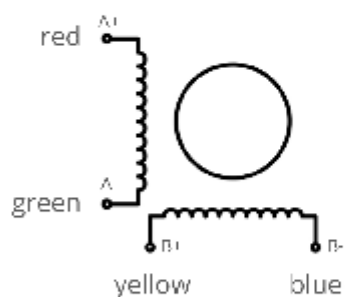
STEPPER MOTOR

Model: WS23-0150-30-4

SPECIFICATIONS

Standard	NEMA 23
Step angle	$1.8^{\circ} \pm 5\%$
Current / Phase	3.0A
Voltage / Phase	3.9V
Phase No.	2
Resistance	$1.3 \pm 10\% \Omega$
Insulation resistance	100M Ω m (500V DC)
Inductance	$2.2 \pm 20\%$ mH
Insulation class	B
Holding torque	15kgf.cm

DIAGRAM



DIMENSIONS

UNIT: mm

