



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ALESSANDRO MARQUES MAIA

**CONSTRUÇÃO DE UMA PISTA RUGOSA MODULAR PARA ENSAIO DE
VIBRAÇÃO EM TRATORES CONFORME A ABNT NBR ISO 5008:2015**

FORTALEZA

2021

ALESSANDRO MARQUES MAIA

CONSTRUÇÃO DE UMA PISTA RUGOSA MODULAR PARA ENSAIO DE VIBRAÇÃO
EM TRATORES CONFORME A ABNT NBR ISO 5008:2015

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

Coorientador: Prof. Dra. Viviane Castro dos Santos

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M184c Maia, Alessandro Marques.
Construção de uma pista rugosa modular para ensaio de vibração em tratores conforme a ABNT NBR ISO 5008:2015 / Alessandro Marques Maia. – 2021.
69 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
Coorientação: Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos.

1. Projetos. 2. Ensaios de máquinas. 3. Ergonomia. 4. Saúde do trabalhador. I. Título.

CDD 630

ALESSANDRO MARQUES MAIA

CONSTRUÇÃO DE UMA PISTA RUGOSA MODULAR PARA ENSAIO DE VIBRAÇÃO
EM TRATORES CONFORME A ABNT NBR ISO 5008:2015

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 08/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Viviane Castro dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Túlio Cristiano Soares de Oliveira
Instituto Federal de Ensino Básico e Tecnológico (IFCE)

Profª. Dra. Elivânia Maria Sousa Nascimento
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

A Deus.

A minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus criador de todas as coisas. Criador da sabedoria, da perseverança, do renovar o espírito, do livramento e da sabedoria infinita.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Instituto Federal de Ensino Básico e Tecnológico, Campus de Tabuleiro do Norte pelo apoio para a realização deste mestrado. A todos os colegas de trabalho e a todos os discentes dessa instituição que contribuíram para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Leonardo Monteiro de Almeida pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof(a) Dr(a) Viviane Castro dos Santos, Prof. Dr. Túlio Cristiano Soares de Oliveira e Prof(a) Dr(a) Elivânia Maria Sousa Nascimento pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A minha família pelo apoio incondicional. Minha esposa Lêda, minhas filhas, meus pais. Assumindo meus afazeres quando estava ausente, oportunizando a minha presença no seio da universidade para cursar o mestrado. Agradeço a minha avó Elisa Mendes Maia, hoje falecida e eternamente viva em minha memória pela imensurável perseverança que teve em conduzir os meus primeiros passos na estrada do conhecimento.

Agradeço infinitamente ao Dr. Roberto Nunes Maia, pelo imenso incentivo, apoio, e companheirismo nesta caminhada.

À Dra. Elivânia Maria Sousa Nascimento, pelas sugestões e orientações que hoje balizam este trabalho.

Ao Dr. Wyllame Carlos Gondim Fernandes, pelo apoio e sugestões que norteiam este trabalho.

Aos companheiros de estudo e estrada que compartilharam momentos de superação e felicidade. Roberto Maia, Beijamim, Arimatéia e Raniere.

A todos os colegas da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFC.

Ao Laboratório de Investigação de Acidentes Agrícolas (LIMA), nosso grupo de pesquisa, pelo apoio na execução do trabalho.

Aos colegas da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial, a turma de Engenharia de Sistemas Agrícolas, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

RESUMO

As máquinas agrícolas durante seu funcionamento no campo geram vibrações que são transmitidas por toda sua estrutura e para o ambiente que as rodeiam, especificamente para quem opera, quando estas vibrações ocorrem em um nível indesejado e por período de exposição prolongado, podem causar problemas a saúde do operador. O presente trabalho consiste em projetar e construir uma pista artificial de vibração modular que seja: transportável, montável e ajustável para uso geral na agricultura, mais precisamente, em ensaios de vibração de máquinas agrícolas, atendendo as diretrizes da ABNT NBR ISO 5008:2015. Por ser composta por módulos, a pista em toda sua extensão (35 m) pode ser montada em qualquer superfície firme e plana, possibilitando a realização dos ensaios em locais diferentes. As descrições das atividades para o desenvolvimento do projeto vêm sendo realizadas, enfocando para tanto, o cumprimento das etapas de realização do processo até o presente momento, entre estas, a fabricação e montagem dos módulos uma pista artificial, composta por madeiras, destinado a realização de ensaios de vibração no corpo inteiro do operador.

Palavras-chave: projetos; ensaios de máquinas; ergonomia; saúde do trabalhador.

ABSTRACT

Agricultural machines during their operation in the field generate vibrations that are transmitted throughout their structure and to the environment that surrounds them, specifically for those who operate, when these vibrations occur at an undesired level and for a prolonged period of exposure, they can cause health problems to the machine operator. The present work consists of design and build a modular vibrating artificial track that is: transportable, mountable and adjustable track for general use in agriculture, more precisely, in vibration tests of agricultural machines, complying with the directives of the ABNT NBR ISO 5008:2015. As it is made up of modules, the track along its entire length (35 m) can be mounted on any firm and flat surface, enabling the tests to be carried out in different locations. The descriptions of the activities for the development of the project have been carried out, focusing for this purpose, the stages of carrying out the process so far, among them, the manufacture and assembly of the modules, an artificial track, composed of wood, intended for the realization of vibration tests on the operator's entire body.

Keywords: projects; machinery tests; ergonomics; occupational health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Ilustração dos assentos dos tratores ao longo dos anos.....	19
Figura 2	– Exemplo de vibração senoidal e aleatória.....	21
Figura 3	– Tempos máximos de exposição permitido para os eixos X, Y, Z.....	24
Figura 4	– Frequência de vibração em partes distintas do corpo.....	24
Figura 5	– Etapas da metodologia do projeto.....	29
Figura 6	– Etapas para o planejamento do projeto.....	30
Figura 7	– Etapas para o projeto informacional.....	31
Figura 8	– Visão geral da pista com suas identificações.....	37
Figura 9	– Vista de dois módulos sequenciados segundo a ABNT NBR 5008 (2015)...	38
Figura 10	– Derrubada e corte de árvores com motosserra.....	40
Figura 11	– Carregamento no local de extração.....	41
Figura 12	– Plaina desempenadeira.....	41
Figura 13	– Serra de fita vertical.....	42
Figura 14	– Serra circular esquadrejadeira.....	43
Figura 15	– Plaina desengrossadeira.....	43
Figura 16	– Imersão em mistura de óleo diesel e lubrificante automotivo.....	45
Figura 17	– Seleção de alturas e posição de madeira em função da ABNT NBR 5008 (2015).....	46
Figura 18	– Módulo montado com barras de sustentação circular (A) e (B)	47
Figura 19	– Marcação de um ponto em relação a linha de base	48
Figura 20	– Rebaixo em madeira.....	48
Figura 21	– Duas barras de sustentação para um módulo da pista de vibração.....	50
Figura 22	– Quatro barras de sustentação para um módulo da pista de vibração.....	50
Figura 23	– Confecção de rosca em barra de sustentação circular.....	51

Figura 24	– Montagem de um módulo pelo processo de barra de sustentação lateral.....	52
Figura 25	– Fixadores de módulos.....	52
Figura 26	– Peças cortadas para os fixadores de módulos.....	53
Figura 27	– Peças dos fixadores de módulos posicionadas no gabarito para soldagem....	54
Figura 28	– Conformação mecânica dos fixadores de blocos.....	55
Figura 29	– Pintura manual do fixador de módulo.....	56
Figura 30	– Módulo montado com barras de sustentação circular.....	56
Figura 31	– Módulo montado com barras de sustentação lateral.....	57
Figura 32	– Processo de marcação e furação das barras de sustentação lateral.....	58
Figura 33	– Processo de pintura em barra de sustentação lateral	58
Figura 34	– Montagem de um módulo com barras de sustentação lateral	59
Figura 35	– Identificação do módulo.....	60
Figura 36	– Dispositivo para mobilidade dos módulos.....	61
Figura 37	– Transporte de módulo acabado.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Descrição dos tipos de assentos de tratores ao longo dos anos.....	19
Quadro 2	– Pista mais rugosa (ordenadas de elevação em relação a uma linha de base) segundo a ABNT NBR ISO 5008 (2015).....	34
Quadro 3	– Quantificação dos pedaços de madeira de mesma elevação para a pista mais rugosa segundo a ABNT NBR 5008(2015).....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa do trabalho	13
1.2	Estrutura do trabalho	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Trator agrícola	15
2.1.1	<i>Posto de operação do trator</i>	17
2.1.2	<i>Assento do operador</i>	17
2.2	Ergonomia	20
2.3	Vibração	21
2.3.1	<i>Vibrações em máquinas agrícolas</i>	22
2.3.2	<i>Efeitos das vibrações sobre a saúde do operador</i>	23
2.4	Pesquisas realizadas em pistas normatizadas de vibração	25
2.5	Projetos de Desenvolvimento do Produto (PND)	26
3	METODOLOGIA DO PROJETO	29
3.1	Planejamento do Produto	29
3.2	Desenvolvimento do Produto	30
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	32
4.1	Etapas para o desenvolvimento do projeto	32
4.1.1	<i>Idealização do projeto</i>	32
4.1.2	<i>Estudo da norma ABNT NBR ISO 5008 possibilitando ao projetista conhecer e atender suas determinações</i>	33
4.1.3	<i>Quantificação dos números de madeiras com alturas iguais</i>	34
4.1.4	<i>Idealização e desenho do projeto em blocos atendendo as especificações da norma</i>	37
4.1.5	<i>Identificar os fornecedores da matéria prima em nossa região (toras de madeira)</i>	39
4.1.6	<i>Desdobramento das toras em pedaços de madeira</i>	41
4.1.7	<i>Tratamento superficial dos pedaços de madeira em óleo</i>	44
4.1.8	<i>Seleção sequenciada de madeira em função da altura segundo a norma</i>	45
4.1.9	<i>Barras de sustentação circular e lateral</i>	46
4.1.10	<i>Construção de um módulo pelo processo de barra de sustentação circular</i> ...	47

4.1.10.1	<i>Processo de medição e marcação em pedaços de madeira</i>	47
4.1.10.2	<i>Processo de rebaixas e furações em madeira</i>	48
4.1.10.3	<i>Construção das barras de sustentação circular</i>	49
4.1.10.4	<i>Montagem de um módulo com barras de sustentação circular</i>	51
4.1.10.5	<i>Processo de fabricação dos fixadores de módulos</i>	52
4.1.10.6	<i>Soldagem dos fixadores</i>	54
4.1.11	<i>Processo de pinturas das partes metálicas</i>	55
4.1.12	<i>Construção de um módulo pelo processo de barras de sustentação lateral</i>	57
4.1.13	<i>Marcação e furação lateral das cantoneiras</i>	58
4.1.14	<i>Montagem de um módulo pelo processo de barras de sustentação lateral</i>	59
4.1.15	<i>Identificação dos módulos da pista de vibração</i>	59
4.1.16	<i>Dispositivo para a mobilidade dos módulos</i>	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE A – PISTA MAIS RUGOSA (ORDENADAS DE ELEVAÇÃO EM RELAÇÃO A UMA LINHA DE BASE)	69

1 INTRODUÇÃO

Os tratores agrícolas, na sua maioria, apresentam desconforto e insegurança aos operadores, uma vez que estes estão submetidos a postos de trabalho que apresentam condições bastante adversas que podem comprometer seriamente a saúde, deixando o posto em condições incompatíveis com a natureza humana.

Os tratores, em geral, produzem vibrações mecânicas que são transmitidas para o posto do operador, essas vibrações mecânicas afetam, em diferentes níveis de gravidade, a saúde de trabalhadores em diversas atividades, podendo causar problemas visuais, irritação, deformações lombares e problemas digestivos. Ao desempenhar tarefas em um posto de trabalho, o assento tem fundamental importância, pois pode ser responsável por transmitir vibrações ao operador e, possivelmente, desencadear doenças ocupacionais e enfermidades vinculadas ao trabalho.

A legislação trabalhista busca preservar a saúde dos trabalhadores utilizando-se de procedimentos normatizados para gerar dados confiáveis sobre as condições laborais insalubres, apresentando recomendações de ações capazes de mitigar o impacto negativo causado pela vibração durante o movimento.

Existe a possibilidade de emprego de pistas padronizadas descritas em normas de órgãos e entidades de padronização para realização dos ensaios de vibração. O uso de uma pista padronizada (ABNT NBR ISO 5008) para ensaios de vibração em tratores é útil porque limita a variabilidade, sendo assim padronizar os parâmetros, mantendo o mais constante possível, a fim de obter valores mais precisos e comparáveis, garantindo repetibilidade.

Assim, objetivo geral deste trabalho é de projetar e construir uma pista modular, transportável, montável e ajustável para uso na agricultura, mais precisamente, em ensaios de vibração de máquinas agrícolas.

Como objetivos específicos, pretende-se: construir a pista com madeira disponível na região; desenvolver a pista tipo modular que atenda a norma ABNT NBR ISO 5008: 2015 e construir uma pista que possibilite a mobilidade para a realização de ensaios de vibração em locais distintos.

1.1 Justificativa do trabalho

A ideia de desenvolver um produto novo partiu da pesquisa de trabalhos que vêm sendo desenvolvidos pelo setor. Para isso, primeiramente foi consultado a Associação Brasileira

de Normas Técnicas, especificamente ABNT NBR ISO 5008 (2015) que estabelece em parte do seu conteúdo, regras para realização de ensaio de vibração de corpo inteiro em pista normatizada, ainda determina que cada pista (lado direito e esquerdo) consiste em duas faixas paralelas adequadamente espaçadas para a bitola das rodas do trator. A superfície de cada faixa deve ser de concreto bem liso, ou formada por pedaços de madeira, aço ou concreto assentados firmemente em uma estrutura de base. A superfície de cada faixa da pista deve ser definida pelas ordenadas de elevação em relação a uma base nivelada, listada nas tabelas contidas nesta norma.

A proposta desse trabalho é a construção de uma pista de vibração feita com pedaços de madeira que atendam a ABNT NBR ISO 5008 (2015). Diferentemente das pistas tradicionais existentes, que são imóveis ao local de ensaios, a pista em questão, vem sendo confeccionada em módulos sequenciados de um e dois metros de comprimento, o que confere a possibilidade de desmontar, transportar, montar e realizar os ensaios de vibração em qualquer solo plano e firme.

Com esta configuração de pista, será possível realizar ensaios de vibração de corpo inteiro em máquinas agrícolas na Universidade Federal do Ceará (UFC). Especificamente no Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA) no qual se encontra a pista de concreto com superfície lisa para ensaios de máquinas, esta servirá de base para montagem sequenciada dos blocos de madeiras, compondo a pista de vibração modular em sua totalidade.

1.2 Estrutura do trabalho

Os elementos textuais que compõem este trabalho encontram-se divididos em capítulos. Neste capítulo 1, está a introdução aqui apresentada. O capítulo 2 apresenta o referencial teórico no qual o trabalho foi embasado. O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a construção da pista. O capítulo 4 mostra o produto proposto, assim como as etapas para o desenvolvimento deste produto. Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do presente trabalho e algumas possibilidades de trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a partir do projeto aqui apresentado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O seguinte referencial teórico aborda diferentes estudos teóricos e experimentais relacionados à pesquisa a ser realizada.

2.1 Trator agrícola

O trator agrícola, dotado de um motor de combustão interna, tem sido o principal instrumento de transporte no campo para mecanizar/aperfeiçoar a produção de gêneros alimentícios. Este equipamento é comumente utilizado como unidade de tração para máquinas sem propulsão, sendo capaz de acionar componentes hidráulicos e mecânicos, aumentando assim a produtividade em atividades rurais, antes realizadas por pessoas e animais (BARGER *et al.*, 1966).

O trator é considerado uma máquina autopropelida, ou seja, possui seu próprio meio de propulsão. Segundo Monteiro (2011), o trator agrícola é uma das principais fontes de potência no meio rural, sendo composta por um motor de combustão interna que transforma energia química, por meio do combustível, em energia mecânica na barra de tração.

O processo de transformação de energia é utilizado para tracionar máquinas, podendo prover energia através da tomada de potência e do sistema hidráulico. Além disso, o trator caracteriza-se por possuir pneus que o apoiam sobre a superfície de deslocamento, permitindo-lhe fornecer potência mecânica para tracionar máquinas e transportar implementos agrícolas (MIALHE, 1980).

Recentemente, o estudo de Sandi (2015) reportou que para ser caracterizado como trator agrícola, o veículo deve possuir: (i) bom vão livre vertical, (ii) bitola regulável, (iii) tomada de potência e (iv) sistema de levante hidráulico de três pontos e barra de tração. A junção dessas características garante a versatilidade do mesmo, permitindo sua utilização em diferentes atividades.

No mercado, há uma infinidade de modelos de tratores, o que torna a escolha para sua aquisição uma tarefa complexa para o agricultor, principalmente, devido às variações de especificidades técnicas do produto, tais como: potência, torque, manutenção, facilidade de manobra, preço e conhecimento energético disponibilizado pelo equipamento (SILVEIRA; SIERRA, 2010).

Os modelos de tratores mais comuns são do tipo 4 x 2, 4 x 2 TDA e 4 x 4, sendo este último um dos mais utilizados em atividades de mecanização agrícola. Fiorese *et al.* (2015)

reforçam que tratores agrícolas equipados com tração dianteira auxiliar (TDA), em situações no qual há avanço cinemático das rodas dianteiras em relação às traseiras, pode-se obter melhores desempenhos operacionais e condições favoráveis de trabalho, concedendo maior eficiência nas operações de campo.

O avanço da mecanização agrícola, incluindo o uso de tratores, tem sido um dos principais fatores para o crescimento das exportações brasileiras, influenciando diretamente no superávit da balança comercial brasileira. Os números do boletim informativo da FIESP, de março de 2019, registraram um superávit de US\$ 7,5 bilhões no setor do agronegócio, ratificando que o referido setor ainda é a “válvula de escape” da fragilizada economia brasileira (FIESP, 2019).

Segundo Jesuíno (2007), essa modernização do setor vem ocorrendo no Brasil desde a década de 60, com o impulsionamento de máquinas agrícolas, sendo o trator um instrumento considerado como um pilar da mecanização na agricultura moderna. Assim, diferentes atividades ligadas ao manejo na agricultura foram solucionadas, como: preparo do solo, plantio, pulverização e colheita. Em paralelo, a agricultura brasileira tem sido beneficiada pelo fomento de diferentes linhas de crédito que incentivam a produtividade, como o Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos, que contribuiu para o processo de crescimento do setor (SOBRAL, 2010).

Tal desenvolvimento tecnológico possibilitou uma relação homem-máquina mais favorável, impondo ao homem uma carga de trabalho mais suave, visando à redução à fadiga humana (SANTOS FILHO, 2002). Assim, a mecanização agrícola permite maior flexibilidade no manejo, plantio e colheita das culturas, possibilitando assim a ocorrência nos períodos mais adequados, maximizando o aproveitamento do tempo e dos benefícios dos insumos utilizados no campo. Além disso, as máquinas contribuem para diminuir as insalubridades de muitas dessas atividades (MONTEIRO, 2011).

Por outro lado, as modernizações dos tratores agrícolas exigem conhecimentos específicos e habilidades do operador para a realização das atividades de campo. O tratorista (ou operador) possui, em grande parte de sua atividade, o ato de direcionar o veículo com o volante e necessita de uma visão constante do implemento que está sendo rebocado atrás do trator, sendo que em alguns casos pode ter que acionar comandos necessários a operação (ROSSI; SANTOS; SILVA, 2011). Silva *et al.* (2017) refletem ainda sobre os grandes benefícios operacionais trazidos pelo trator agrícola em campo, mas relatam algumas características negativas, como a geração de ruído e vibração expostas ao operador, promovendo condições ergonômicas desfavoráveis.

2.1.1 Posto de operação do trator

De acordo com Iida e Guimarães (2016), o posto de trabalho é definido como a menor unidade de trabalho no qual o indivíduo possa exercer suas atividades. Assim, entende-se como o menor ambiente de trabalho necessário para que o profissional exerça todas as atividades relacionadas com o serviço a ser executado.

O exercício de operar tratores agrícolas, aliado a uma elevada jornada de trabalho em condições insalubres (poeira, temperatura, vibração e ruído), transforma o ofício em uma atividade extremamente fadigante. Para mitigar esta realidade, é importante que o posto de trabalho deva oferecer as mínimas condições ergonômicas de conforto e segurança ao operador (ROSSI; SANTOS; SILVA, 2011).

Segundo Mattar *et al.* (2010), a disposição adequada dos comandos e o dimensionamento de acesso a entrada/saída do posto de trabalho deve ser estabelecido conforme as medidas corporais dos operadores. Aspectos relacionados a ergonomia na operação resulta em menor esforço físico necessário para execução das tarefas, conseqüentemente, melhora a eficiência e a diminuição de custos.

Dessa forma, o assento do trator, contido no posto de trabalho, passou a ser classificado como ponto principal em projetos de máquinas agrícolas (SANTOS *et al.*, 2008) além das questões que envolvem a vibração e ruído transmitidos pelos componentes mecânicos (SANTOS FILHO, 2002).

2.1.2 Assento do trator

Os tratores geram muitas vibrações mecânicas durante seu funcionamento, que são transmitidas por toda estrutura e todo ambiente em sua volta, incluindo o assento do operador. A ocorrência em níveis acima do desejado e por um longo período de exposição podem causar graves problemas de saúde (SANDI, 2015).

Assim, é indispensável que os assentos sejam capazes de atenuar a frequência e amplitude desse fenômeno, evitando-se a ocorrência de lesões na coluna vertebral (SANDI, 2018). Vale destacar que a Norma de Higiene Ocupacional 09 (NHO 09) define os níveis de tolerância e os critérios de avaliação e exposição ocupacional à vibração (do inglês *whole-body vibration*).

Langer, Ebbesen e Kordestane (2015) destacam que os assentos são elementos importantes para reduzir a transmissão de vibração ao condutor. Contudo, para cada classe de

máquinas, existem padrões de assentos diferentes de acordo com a classe espectral no qual o banco deve cumprir.

Nesse contexto, observa-se a crescente competitividade no mercado agrícola entre as grandes empresas, ou seja, há uma tendência do provimento de mais tecnologia, desempenho e conforto nos equipamentos disponibilizados no mercado. Entre os pontos de destaque, cita-se o assento que deve apresentar dimensionamento adequado, aumentando o desempenho operacional em campo (SANTOS, 2016).

Isso foi comprovado no estudo produzido por Cunha, Duarte e Souza (2012), onde os autores avaliaram níveis de conforto entre tratores novos e antigos, sendo constatada melhor eficiência, em termos de vibração, nas máquinas mais novas. Isso foi possível, principalmente, pela qualidade da suspensão dos assentos. O trator mais antigo apresentou níveis de vibração acima do permitido pelas normas, que compromete a saúde, segurança e conforto do trabalhador.

Debiasi, Schlosser e Willes (2004) afirmam que os tratores mais antigos, com mais de dez anos de utilização, apresentam depreciação natural, como ausência de estofamento no assento do operador, tanto pela característica original do equipamento, quanto pelo desgaste de uso e não reposição. Nesse estudo, observou-se também que proporção de tratores que não tem estofamento aumenta significativamente com o aumento do tempo de uso. Os tratores com mais de trinta anos de uso normalmente encontram-se com o estofamento do assento deteriorado.

Para atenuar vibrações geradas pelo trator e seus movimentos é importante o desenvolvimento de sistemas de suspensão eficientes. Como o banco do trator é a principal interface entre a origem de vibração e o receptor no posto de trabalho, o assento do operador pode contribuir de forma significativa para amortecer estas imperfeições.

Assim, o referido equipamento pode ser composto por um sistema de suspensão do tipo ativo ou passivo. Para o sistema ativo, necessita-se de sensores que monitorem as vibrações e envie sinais para válvulas eletropneumáticas de controle, acionando assim, os atuadores para as devidas correções. O sistema passivo de suspensão é composto por molas e amortecedores que diminuem as vibrações transmitidas ao operador em seu local de trabalho (SANTOS FILHO, 2002)

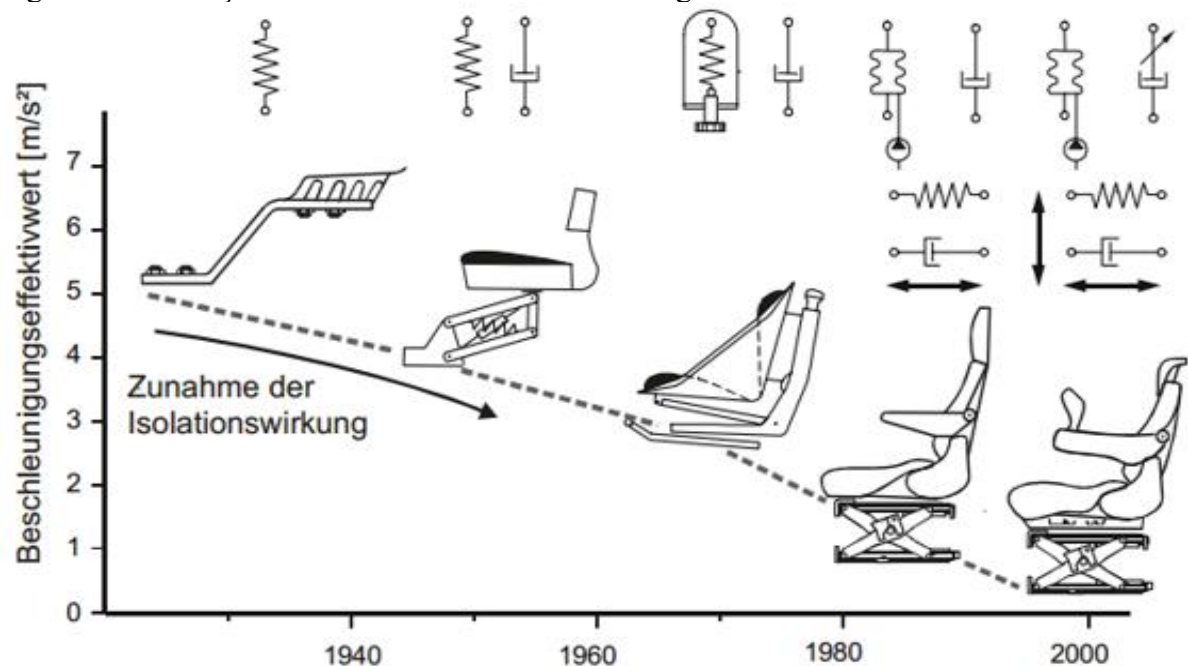
Hauck (2001) detalha em seu estudo a evolução dos diferentes tipos de assentos desenvolvidos ao longo dos anos, como observados no Quadro 1 e Figura 1.

Quadro 1 – Descrição dos tipos de assentos de tratores ao longo dos anos

Década	Tipo de Assento
1940	Assento metálico em forma de cuba sem revestimento e mola em aço, ainda utilizados em microtratores
1950	O sistema de suspensão do banco passa a ser composto por molas de aço, amortecedor e estofamento no assento
1970	Além do sistema anterior, passa a ser composto por estofamento na cabeça e regulagem da suspensão, agora podendo variar a carga da mola em função da massa do operador
1980	O assento passou a ser equipado com suspensão pneumática no sentido vertical, houve a necessidade de instalar dispositivo gerador de ar comprimido e uma longitudinal no sentido horizontal composta por mola de aço e amortecedor, foi incorporado encosto para braço e cabeça
1990	A tendência de assentos mais complexa continuou nos anos 90, controles elétricos foram incluídos aos assentos e braços. O uso de uma suspensão na direção transversal proporcionou uma melhoria no conforto do operado

Fonte: Hauck (2001).

Figura 1 – Ilustração dos assentos dos tratores ao longo dos anos



Fonte: Hauck (2001).

Santos Filho *et al.* (2003) utilizando um trator agrícola na operação de gradagem determinaram os níveis de vibração vertical no assento e na base do mesmo, para isso utilizaram diferentes velocidades de trabalho, caracterizando a faixa de frequência que apresenta os maiores picos de vibração vertical no assento do operador do trator e analisaram o conforto do operador, comparando os níveis de vibração obtidos com as principais normas vigentes.

Normalmente, as vibrações são reduzidas, usando-se no assento, uma suspensão de

amortecimento de vibração. Particularmente para tratores agrícolas, soluções integradas que são capazes de reduzir as vibrações transmitidas ao operador, podem ser adotadas como sistemas de suspensão com molas e amortecedores para os eixos dianteiros e traseiros e suspensão no posto de operação de tratores agrícolas (MARSILI *et al.*, 2002; BOAUZARA *et al.*, 2006; SCARLETT *et al.*, 2007).

2.2 Ergonomia

A ergonomia (do inglês, *ergonomics*), também chamada de fatores humanos (do inglês, *human factors*) é o estudo da adaptação do trabalho ao ser humano. A definição de trabalho possui um sentido amplo, abrangendo não apenas os ofícios executados com máquinas e equipamentos, mas também todas as situações em que ocorre o relacionamento entre o ser humano e uma atividade produtiva de bens ou serviço (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

Anteriormente, Santo Filho (2002) definiu que a ergonomia não é uma ciência ou uma tecnologia, mas um conjunto de ciências e tecnologias que procuram a adaptação confortável e produtiva entre o ser humano e o seu trabalho. Nesse sentido, o estudo de Márquez (2012) relata que a ergonomia é a ciência que estuda as atividades homem-máquinas com o objetivo de aperfeiçoar as condições de trabalho. Aplica-se tanto no desenho industrial como na adaptação de atividades a pessoas com alguma deficiência.

O processo da mecanização agrícola vem exigindo que o operador de máquinas e implementos esteja plenamente adaptado ao ambiente de trabalho para poder exercer suas funções. Assim, a ergonomia é importante, pois investiga a melhor forma de adaptação desse sistema, envolvendo o posto de trabalho, instrumentos, dispositivos e comandos ao operador e vice-versa, tornando o ambiente mais seguro e confortável (SANTOS FILHO, 2002).

Lima *et al.* (2005) destacam que o esforço para o tratorista acionar os comandos, o conforto, o campo visual e as dimensões do local de trabalho são aspectos de relevância a serem observados em uma avaliação ergonômica. Estes cuidados visam o bem-estar do operador, a segurança e uma maior produtividade durante a realização da jornada de trabalho.

O acesso adequado ao local de trabalho, com dimensões conforme as medidas corporais do operador, contribui para que se tenha menor exposição a riscos e menor número de acidentes de trabalho. Dentre os vários aspectos que a ergonomia analisa em um trator agrícola, o quesito acesso e dimensões do posto de operação é o que assume maior importância (MATTAR *et al.*, 2010).

Monteiro (2011) é mais enfático ao afirmar que o operador de trator agrícola está à

mercê de máquinas elaboradas inadequadamente pelos fabricantes, sem poder expor sua opinião, mesmo que ele seja o indivíduo que conhece a realidade das atividades materializadas em campo. Nesse sentido, os fabricantes de equipamentos vêm dedicando-se com uma maior atenção aos postos de trabalho, oferecendo mais conforto e ergonomia em seus produtos, porém muitas exigências ainda são negligenciadas (NIETIEDT *et al.*, 2012).

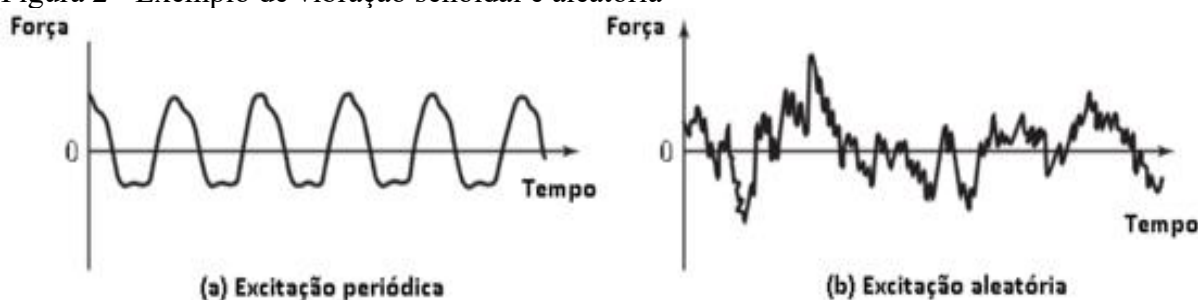
Os avanços do conhecimento em ergonomia e a disseminação deste conceito vêm fazendo com que os fabricantes de tratores agrícolas passem a oferecer equipamentos mais seguros e confortáveis aos operadores, com um planejamento dos comandos e instrumentos mais bem distribuídos e localizados no posto de serviço (ROZIN *et al.*, 2010).

2.3 Vibração

Segundo o Anexo 8 (Portaria NTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014) da NR 15 (BRASIL, 1978), a vibração caracteriza a condição de insalubridade no trabalho e determina uma remuneração adicional de 20% sobre o salário-mínimo da região, quando os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) e de valor de dose de vibração resultante (VDVR), se encontram acima de $1,1 \text{ m s}^{-2}$ e $21,0 \text{ m s}^{-2}$, respectivamente, cabendo ao empregador comprovar a avaliação dos dois parâmetros.

Saliba (2013) define a vibração como um movimento oscilatório de um corpo, devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. Para Márquez (2012), as vibrações mecânicas são movimentos oscilatórios de um corpo (ou vários), que apresentam aceleração, velocidade ou deslocamento, com frequência menor que 1 kHz e com período conhecido. As vibrações mecânicas podem ser classificadas do tipo senoidal ou aleatória, diferenciando-se por sua regularidade e amplitude (FIGURA 2).

Figura 2 - Exemplo de vibração senoidal e aleatória



Fonte: Rao (2011).

Rao (2011) classifica ainda as vibrações em livres e forçadas. Nas vibrações livres o sistema continua vibrando, mesmo cessado a perturbação que provocou o movimento, como por exemplo, um pêndulo simple. Nas vibrações forçadas, o sistema está sujeito a forças externas, muitas vezes a forças repetitiva. Estas oscilações surgem em máquinas, como motores a diesel. Do ponto de vista da ergonomia, algumas vibrações podem ser consideradas prazerosas e desejáveis, enquanto outras são incômodas e indesejáveis, podendo refletir em lesões e doenças (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

2.3.1 Vibrações em máquinas agrícolas

As máquinas agrícolas durante seu funcionamento no campo geram vibrações que são transmitidas por toda sua estrutura e para o ambiente que as rodeiam, quando estas vibrações ocorrem em um nível indesejado e por período de exposição prolongado, podem causar problemas de saúde ao operador de máquinas (SANDI, 2015).

Segundo Adam e Jalil (2017), os operadores de tratores agrícolas estão submetidos a elavadas vibrações de corpo inteiro (*whole-body vibration*) durante as atividades diárias de trabalho devido as irregularidades do solo, podendo ocasionar dores na lombar em função da intensidade da exposição.

Os tratores agrícolas, em função da superfície de rodamento, produzem vibrações de baixa frequência que são transmitidas ao operador. Estas frequências podem gerar irritabilidade, problemas digestivos, deformações lombares, problema de visão. Para atenuar estas vibrações, tem-se estudado modelos de suspensão mais eficiente para o posto de trabalho (SANTOS FILHO *et al.*, 2003).

A menor velocidade associada ao maior peso do trator podem ser condições que propocionem a redução de enérgia inercial e maior estabilidade durante o seu deslocamento, permitindo que os pneus possam adaptar-se melhor ao solo através de suas deformações verticais, possibilitando absorver as imperfeições do terreno e diminuindo a intensidade de energia e vibração que chegam até o operador (OLIVEIRA, 2011).

Outro fator importante que pode amplificar as vibrações em máquinas agrícolas consiste na presença de folgas mecânicas, como consequência de desgastes e falta de manutenção. Estas folgas mecânicas são medidas e reparadas, geralmente, por profissionais técnicos especializados, assumindo como base manuais normatizados (SALIBA, 2013).

2.3.2 Efeitos das vibrações sobre a saúde do operador

Vibrações com frequência menor que 2 Hz podem induzir efeitos menores e temporários, como o enjoo. Por outro lado, exposições a longo prazo com vibrações entre 2 e 20 Hz podem causar doenças graves, como patologias degenerativas da coluna vertebral (CUTINI; COSTA; BISAGLIA, 2016).

Diferentes estudos apontam as problemáticas existentes com a exposição dos operadores às vibrações em máquinas agrícolas. Saliba (2013), mostra que a exposição à vibração de corpo inteiro pode causar danos físicos permanentes ou distúrbios no sistema nervoso, além de danos na região espinhal e no sistema circulatório e/ou urológico.

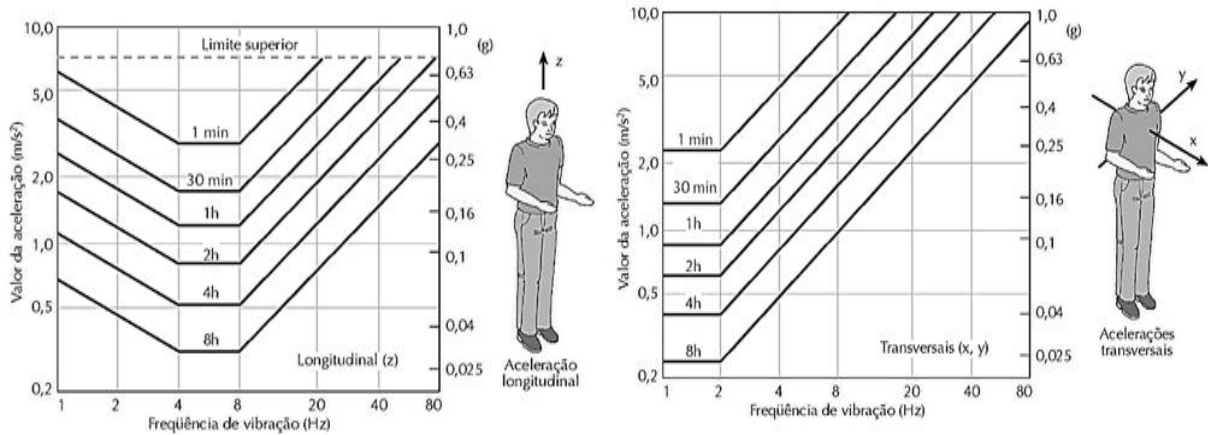
Segundo Sandi (2018) os operadores de tratores agrícolas estão expostos a diversos fatores ambientais que afetam a saúde: as vibrações geradas pelas interações, máquinas de implementos, obstáculos, superfície de rolamento, rugosidade, entre outros, podem desencadear irritabilidade, cansaço, dores e fadiga aos operadores, podendo evoluir para afastamento ao trabalho.

Iida e Buarque (2016) definem fadiga como efeito de um trabalho continuado, geralmente é a degradação qualitativa e quantitativa dessas atividades, causada por efeitos acumulativos que influenciam a fisiologia e a psicologia do ser humano, efeitos fisiológicos são afetados com a intensidade e duração de trabalho, enquanto os psicológicos são sensibilizados pela monotonia, falta de motivação e convívio social.

Segundo Saliba (2013) foram observados problemas de saúde em grupo de pessoas expostas a vibrações intensa como: desordem no sistema visual, problemas nos discos intervertebrais, degeneração na espinha dorsal, danos nos sistemas gastrointestinal e reprodutivo. Esta realidade demonstra que há necessidade de quantificar e avaliar os níveis de vibração que o operador de máquinas está submetido, assim como, dimensionar o tempo que ele pode ficar exposto a tais efeitos sem que ocorra danos a saúde (WALBER, 2009).

Segundo Iida e Guimarães (2016), diversos pesquisadores têm procurado estabelecer quais faixas de vibrações são mais danosas ao organismo humano. As vibrações são mais prejudiciais ao organismo nas frequências mais baixas de 1 a 80 Hz. Tendo como primeira publicação a norma regulamentadora ISSO 2631 de 1978, estabelecendo nível máximo de aceleração do corpo humano em função da frequência e tempo de exposição para diversos eixos de orientação, sentido longitudinal do corpo (eixo Z do pé a cabeça com faixa de sensibilidade de 4 a 8 Hz) enquanto que no sentido transversal (eixos X e Y, perpendicular ao eixo Z) o organismo é mais sensível na faixa de 1 a 2 Hz (FIGURA 3).

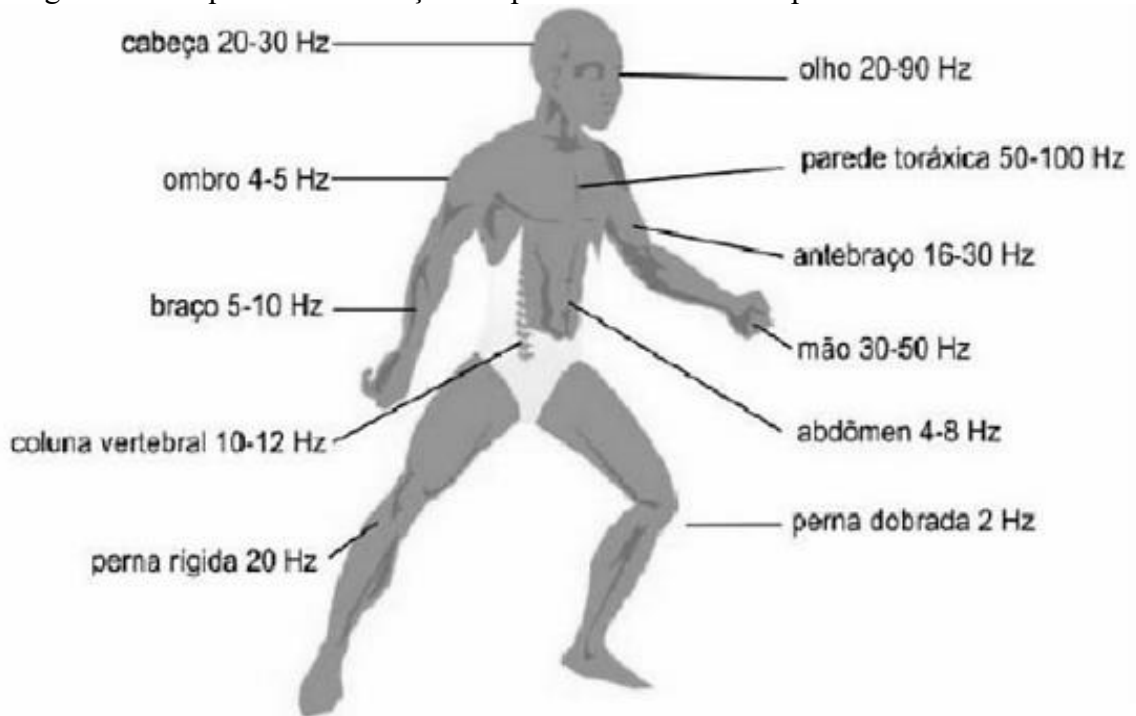
Figura 3 - Tempos máximos de exposição permitido para os eixo X, Y, Z



Fonte: Iida (2016).

O corpo humano possui característica de inércia e elasticidade que conferem valor de frequência natural distintos para cada partes e órgãos (FIGURA 4), quando uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em ampliação dos movimentos (SOEIRO, 2011).

Figura 4 – Frequência de vibração em partes distintas do corpo



Fonte: Soeiro (2011).

As vibrações mecânicas originadas pelo funcionamento das máquinas e irregularidade do solo se torna problema quando a frequência do trator (1-7 Hz) vibram próximo a frequência do corpo humano (4-8 Hz para o tronco) potencializando uma energia que pode

ser danosa a saúde do operador (SANDI, 2018).

Os efeitos das vibrações sobre o corpo humano dependem de vários fatores como: Intensidade de vibração; tônus muscular; das roupas e dos elementos de proteção sobre o corpo; estrutura corporal; peso; idade; sexo e da posição que se encontra o indivíduo (MARQUEZ, 2012).

2.4 Pesquisas realizadas em pista normatizadas com ensaios em vibrações

Atualmente existe a possibilidade de emprego de pistas padronizadas descritas em normas de órgãos e entidades de padronização para realização dos ensaios de vibração, como a ISO 5008 - Tratores agrícolas de rodas e máquinas de campo. Nela são determinadas as características de duas pistas de ensaio, 35 m (mais rugosa) e 100 m (mais lisa), sendo que cada pista consiste em duas faixas paralelas com degraus de diferentes alturas, tornando-as assimétricas, constituídas por degraus de madeira metal ou concreto com diferentes alturas, construídas sobre um piso de concreto, por onde passam os pneus do trator, e a forma de condução do ensaio, como condições do trator, número de repetições, velocidades de deslocamento para cada pista (4,0 a 7 km.h⁻¹ para a pista de 35 m e 10 km.h⁻¹ a 14 km.h⁻¹ para a pista de 100 m), a forma de fixação da instrumentação e os parâmetros que devem ser mensurados (ABNT NBR ISO 5008 2015).

Os tratores e as máquinas agrícolas, em geral, produzem vibrações de baixa frequência que são transmitidas para o posto do operador (SERVADI; MARSILI; BELFIORE, 2007) causando problemas de visão, irritabilidade, deformações lombares e problemas digestivos (CUNHA; DUARTE; RODRIGUES, 2009). Para amortecer e amenizar estas vibrações de baixa frequência têm-se estudado várias alternativas de implantação de um sistema de suspensão mais eficiente para o posto do operador (SANTOS FILHO *et al.* 2003).

A avaliação do desempenho operacional de uma máquina ocorre através da análise feita sobre suas características quali-quantitativas durante a realização das atividades para as quais foram projetadas (MIALHE, 1980). Os ensaios são fundamentais para embasar a tomada de decisão sobre as mudanças que devem ser feitas na máquina, visando melhorar a sua capacidade de trabalho ou segurança (MIALHE, 1980).

Segundo a ABNT NBR ISO 5008 (2015), na pista de vibração de 35 m, o trator deve ser ensaiado nas velocidades de 4,0 km.h⁻¹; 5,0 km.h⁻¹ e 7,0 km.h⁻¹, devendo-se determinar os valores de RMS nos três eixos em todas as passagens do trator sobre a pista. A coleta de dados deve ser feita durante todo o deslocamento do trator sobre a pista.

Deboli, Calvo e Preti (2012) analisaram os dados de vibração de corpo inteiro (*whole body vibration*) no setor agrícola, e observaram que é ainda mais complexo do que na indústria, porque está estritamente ligado ao tipo e condições do solo, velocidade do trator, bem como a configuração da máquina e o tipo de operação que está sendo realizadas, estas variáveis dificultam, comparam dados de vibração coletados durante a mesma tarefa agrícola. O uso de uma pista padronizada segundo a ABNT NBR ISO 5008 (2015) é útil porque limita a variabilidade de alguns parâmetros, mantendo o mais constante possível, a fim de obter valores mais precisos.

Sandi *et al.* (2016) avaliaram a vibração que incide sobre o corpo inteiro do operador através do assento de um trator agrícola mediante ensaio em pista de vibração padronizada em quatro condições de lastragem: completamente lastrado, empregando somente lastro sólido, somente lastro líquido e completamente sem lastros, em quatro velocidades de deslocamento: $1,19 \text{ m.s}^{-1}$; $1,47 \text{ m.s}^{-1}$; $1,75 \text{ m.s}^{-1}$ e $2,08 \text{ m.s}^{-1}$, com pressões de inflação nos rodados traseiros e dianteiros de 137,85 kPa e 165,47 kPa, respectivamente.

2.5 Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) consiste em um conjunto de atividades que são executadas na definição de novos produtos, incluindo a tomada de decisões, em que alternativas são identificadas e avaliadas com critérios previamente definidos (VARANDAS JÚNIOR; MIGUEL, 2012).

Para Romano (2003), o PDP consiste na realização de uma série de atividades, que vão desde a detecção da oportunidade de negócio, até o lançamento do produto no mercado. Para Mendes e Toledo (2012), o PDP é responsável pela criação de novos produtos e pela melhoria de produtos já existentes.

Investir em planejamento e desenvolvimento de novos produtos ajudam a otimizar os custos de uma organização, além disso, contribuem para a concepção de produtos capazes de antecipar as expectativas dos clientes e, por sua vez, viabilizar melhores resultados (COLAURO *et al.*, 2004).

O desenvolvimento de novos produtos é uma atividade complexa, envolvendo uma série de necessidades e interesses (BAXTER, 2000). O desenvolvimento de um determinado produto, até chegar à produção em escala comercial, envolve toda uma série de atividades: projeto preliminar, detalhamento, análise, planejamento da produção, produção, controle de qualidade e assistência ao usuário (FORCELLINI, 2002; BACK *et al.*, 2008).

Na literatura existem vários modelos para processo de desenvolvimento de produto, cabe à equipe de desenvolvimento buscar o modelo mais adequado à situação, pois alguns autores limitam apenas o processo do projeto (REIS, 2003; ROZENFELD *et al.*, 2006; PAHL *et al.*, 2005; BACK, 1983). Além disso, as equipes podem elaborar seu próprio modelo a ser seguido pela organização, baseado na literatura disponível.

No planejamento do projeto são definidas informações extremamente importantes para execução do projeto e redução dos riscos de falhas (ROZENFELD *et al.*, 2006). Essas informações são: escopo do projeto, escopo do produto, previsões das atividades e sua duração, prazos, orçamento, definição do pessoal responsável, recursos para realizar o projeto, análise de riscos e indicadores de desempenho para o projeto e produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O escopo do projeto é a etapa mais relevante nessa fase, na qual, deverão ser definidas as características do produto, buscar parâmetros quantitativos para auxiliar a compreender de forma clara o que será fornecido para o cliente (ROZENFELD *et al.*, 2006). Os conhecimentos da área de gestão de projetos são fundamentais para o planejamento do projeto, além disso, o uso de ferramentas de gerenciamento de projeto visa orientar o desenvolvimento do produto em suas demais fases (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Na fase do projeto informacional ficam definidos as fases do ciclo de vida do produto e seus clientes, assim como suas necessidades (BACK *et al.*, 2008). O ciclo de vida do produto pode ser efetuado por meio de levantamentos bibliográficos e brainstorming que permitem colher as necessidades do mercado consumidor, da capacidade de projeto, da fabricação, da montagem, da embalagem, da armazenagem, do transporte, da compra, vendas e marketing, do uso, da função, da manutenção, da reciclagem e do descarte (ZARDO; BARBISAN; BERTICELLI, 2016).

A fase de projeto conceitual é onde ocorre a concepção do produto, por meio da busca, criação, representação e seleção de soluções (ROZENFELD *et al.*, 2006). Esta é a fase com maior potencial de otimização de retorno do investimento, representando baixo custo e alto benefício (BAXTER, 2000). O objetivo desta fase é gerar soluções capazes de satisfazer as necessidades dos clientes e proporcionar base para o projeto detalhado do produto por meio das respostas às questões por quê? onde? quando? e como? atingir estas necessidades (PUGH, 1991; OTTOSSON, 2004).

Nessa fase primeiramente define-se a função global do produto que, em seguida, é desdobrada em várias funções para posteriormente ser definida a melhor função para o produto (REIS, 2003). Cada função desdobrada recebe um princípio de solução através da utilização de métodos de criatividade, permitindo criar alternativas de solução que dão origem às concepções.

Ocorre então a escolha de uma concepção que melhor atende as especificações-meta, ou seja, será definido a forma e o princípio de funcionamento do produto para satisfazer as necessidades dos clientes (PAHL; BEITZ, 1996; BACK *et al.*, 2008).

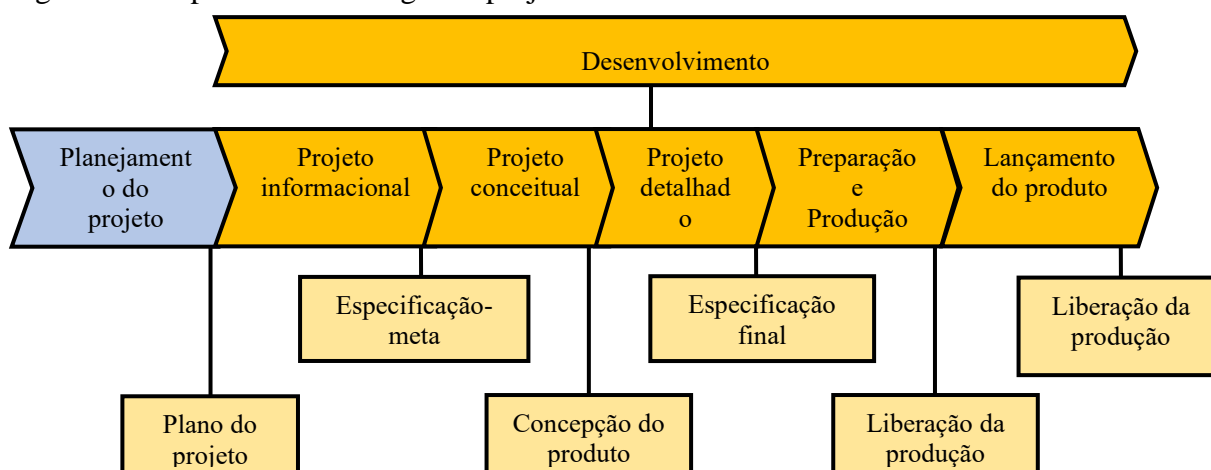
Na fase de concepção de um novo produto, diversas metodologias podem ser utilizadas para gerar ideias (BAXTER, 2000; ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK *et al.*, 2008). Segundo Reis (2003) a busca por princípios de solução pode ser dividida, por questões didáticas, em discursivos (estudo sistemático de sistemas técnicos, matriz morfológica), intuitivos (brainstorming, analogia direta) e convencionais (pesquisa bibliográfica, análise de sistemas naturais, análise de sistemas técnicos existentes, analogias).

Na fase do projeto detalhado o modelo do produto evolui da concepção ao leiaute definitivo (FORCELLINI, 2002). De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), o projeto detalhado, muitas vezes, está bastante integrado ao conceito do produto, pois os sistemas, subsistemas e componentes gerados no projeto conceitual são avaliados separadamente e depois o todo, ou seja, o conjunto é analisado para chegar à definição de um produto que seja viável para produção. Para Back *et al.* (2008) o projeto detalhado tem como objetivo a aprovação do produto, finalização das especificações dos seus componentes e o detalhamento do plano de manufatura, dentre outros.

3 METODOLOGIA DO PROJETO

Para a execução do desenvolvimento do desenvolvimento do projeto montou-se uma equipe composta por docentes e discentes do Instituto Federal de Ensino Básico e Tecnológico do Ceará (IFCE), Campus de Limoeiro do Norte e do Laboratório de Investigação em Acidentes de Máquinas Agrícolas (LIMA) da Universidade Federal do Ceará. Para isso, utilizou-se a metodologia do processo de desenvolvimento do produto (PDP) proposta por Rozenfeld *et al.* (2006), considerando as fases de planejamento do produto e desenvolvimento do produto (FIGURA 5). As demais etapas da metodologia não foram abordadas, pois não estão englobadas na proposta inicial do estudo. As fases iniciais não sofrem alterações na maioria das metodologias, a distribuição e a quantidade de fases podem sofrer alterações conforme a complexidade do projeto e o autor da metodologia escolhida.

Figura 5 – Etapas da metodologia de projeto



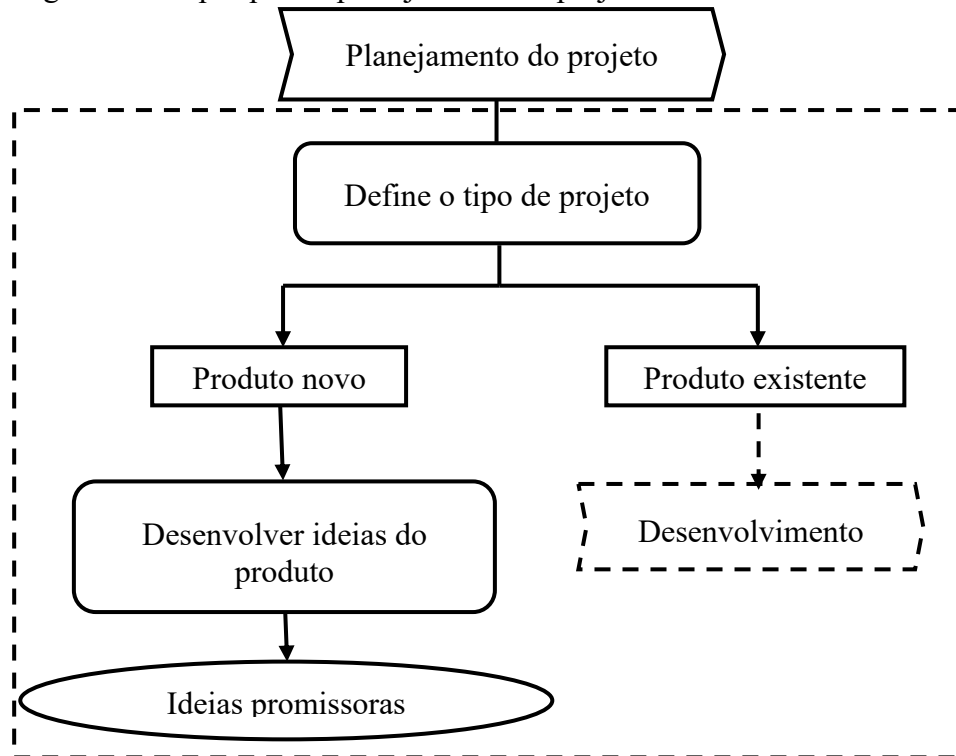
Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006).

3.1 Planejamento do produto

O objetivo do planejamento do projeto é a elaboração do plano de projeto para o desenvolvimento das ideias para o produto selecionado (FIGURA 6). Para isso foi necessário definir o tipo de projeto a ser desenvolvido (produto novo ou produto existente), pessoal envolvido, principais atividades, orçamento, recursos, duração, prazo, entre outros. Orçamento. Tratando-se de um produto novo, partiu-se para o desenvolvimento das ideias do produto, para isso, foram necessárias as informações que motivaram o desenvolvimento do projeto (análise de mercados, utilização dos métodos de geração de concepções, ideias do projetista e do

consumidor). Tratando-se de um produto existente, seguiu-se para a próxima fase (desenvolvimento).

Figura 6 – Etapas para o planejamento do projeto



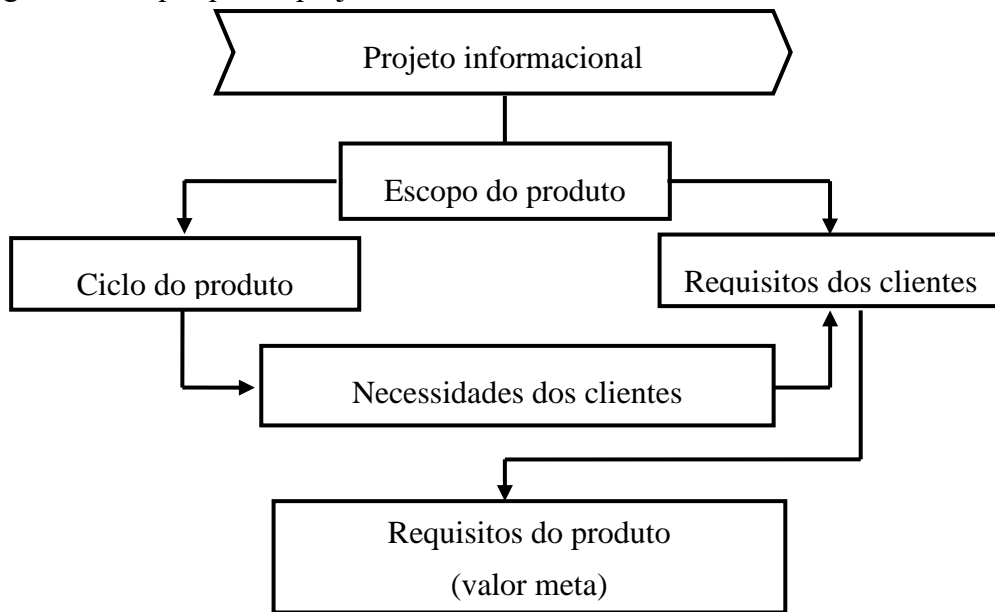
Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006).

A pesquisa por informação que motivaram o desenvolvimento do produto foi realizada em artigos de revistas, internet, congressos, teses e dissertações relacionadas com o projeto e patentes desenvolvidas do produto. As informações obtidas foram ordenadas e detalhadas em tabelas que permitia manter a clareza das informações obtidas (custos, características, funcionalidades, disponibilidade dos componentes, etc.).

3.2 Desenvolvimento do produto

Essa fase compreende um número maior de atividades relacionadas com o projeto do produto, podendo ser dividida em quatro etapas. No projeto informacional é feita a aquisição de informações junto ao cliente (necessidades e desejos) sobre o projeto em questão e sua posterior interpretação (FIGURA 7). Nessa fase é realizado uma descrição inicial do produto, da forma mais detalhada possível, no qual contém uma primeira versão de requisitos do produto e outros detalhes relativos às especificações-meta

Figura 7 – Etapas para o projeto informacional



Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006).

Na fase de projeto conceitual com base nas informações obtidas na fase anterior, é proposto o conceito a ser adotado pelo produto. É realizada, uma síntese da estrutura de funções a ser desempenhada pelo produto, a fim de atender às necessidades do consumidor. Na fase de projeto detalhado, conhecendo-se o conceito e a estrutura funcional do produto pode-se dimensioná-lo, selecionando-se materiais, formas, componentes, processos de fabricação e montagem, entre outras. Nessa fase final de projeto, a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias dos componentes são finalmente fixadas. Com todos os recursos em mãos, realiza-se então o lançamento oficial do produto.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Como previamente tratado, o trabalho propõe a criação de uma pista modular para uso na agricultura, mais precisamente, em ensaios de vibração de máquinas agrícolas, constituídas de blocos de madeira. A construção desses blocos vem sendo realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Tabuleiro do Norte, especificamente no laboratório de construção mecânica. Parte das atividades de fabricação dos blocos vem sendo realizadas por alunos e envolvem diversos processos mecânicos como: metrologia, corte de chapas e barras de aço, soldagem, furação, montagem, confecção de roscas, tratamento de superfície, pintura, desbastes, dentre outros.

O processo de montagem da pista nas dependências do Instituto Federal de Ensino Básico e Tecnológico do Ceará (IFCE), campus de Tabuleiro do Norte que vem acontecendo todas as quartas e sextas-feiras, dias dedicados a estágios de alunos juntamente com o professor titular do trabalho (Alessandro Marques Maia). Os demais dias da semana, são dedicados à logística de materiais como: compra de cantoneiras, barras de aço, parafusos, soldas, lixas, tintas, carregamento, transporte e descarregamento dos pedaços de madeiras (Limoeiro/Tabuleiro do Norte) e o transporte de blocos acabados (Tabuleiro/Limoeiro do Norte).

Esta dinâmica de atividades possibilitou compor (15) quinze blocos de dois metros prontos, representando 42% da produção total ou trinta metros de pista linear, restam ainda a produção de 20 blocos, que representam 58% do projeto final. Os blocos foram confeccionados aleatoriamente em sequência numérica e disposição dos lados (direito/esquerdo). As produções dos blocos ocorreram em função das madeiras disponíveis.

4.1 Etapas para o desenvolvimento do projeto

Para retratar as atividades de construção acima foi feito um descritivo dos principais métodos e processos mecânicos que estão envolvidos neste trabalho, tendo o cuidado de descrever e comprovar com fotos as principais ações que estão em andamento.

4.1.1 Idealização do projeto

A proposta de idealização de um projeto surge em atender uma necessidade do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA) da Universidade

Federal do Ceará. O referido campus não dispõe de uma pista de vibração segundo a ABNT NBR 5008 (2015) para máquinas agrícolas, a falta desta, impossibilita a realização de alguns ensaios de vibração em máquinas agrícolas e o não desenvolvimento de novas pesquisas nesta área.

Diante desta circunstância, houve várias reuniões com o professor orientador e o orientando para idealizar um modelo de pista de vibração. Os projetistas costumam se referir às fases iniciais de projeto como sendo os momentos em que tudo é pensado ao mesmo tempo.

Pensou-se em um projeto que pudesse ser realizado com os recursos disponíveis, recurso limitado no quesito financeiro, matéria prima, operacional dentre outros. Para a construção da pista, a norma preconiza que a mesma deva consistir em duas faixas paralelas adequadamente espaçadas para a bitola das rodas do trator. A superfície de cada faixa deve ser de concreto bem liso ou formado por pedaços de madeira, aço ou concreto, assentados firmemente em uma estrutura de base.

Segundo a descrição acima é observado a necessidade de um espaço físico específico com estrutura de base firme e nivelada, capaz de suportar uma carga de aproximadamente 5 toneladas (peso do trator) para construção da pista. Diante da falta de recurso para construção da pista em um local específico, surge a ideia de confeccionar uma pista que pudesse ser montada sobre a pista de concreto existente na universidade (pista lisa de concreto) aproveitando sua estrutura de base, nivelamento e espaço físico. Assim, nasce a ideia de uma Pista Modular de Vibração segundo ABNT ISO 5008 (2015).

4.1.2 Estudo da norma ABNT NBR ISO 5008 possibilitando ao projetista conhecer e atender suas determinações

Para o desenvolvimento do projeto foi realizado um estudo abrangente da ABNT NBR ISO 5008 (2015), objetivando conhecer todas as determinações e exigências referentes à pista artificial de vibração. A norma menciona duas possibilidades de pista de vibração, uma com 100 m de comprimento (menos rugosa) e a outra uma pista de 35 m de extensão (mais rugosa) sendo esta o objeto de estudo e construção.

Cada pista é constituída de duas faixas paralelas adequadamente espaçadas para a bitola dos rodados do trator. As faixas devem estar firmemente situadas no nível do solo e, em cada ponto ao longo do seu comprimento, deve haver uma variação insignificante em toda a sua largura, que deve ser suficiente para que as rodas do trator sejam totalmente apoiadas.

A superfície de cada faixa deve ser de madeira, em forma de paralelepípedo,

assentados firmemente em uma estrutura de base. A superfície de cada faixa da pista deve ser definida pelas ordenadas de elevação em relação a uma base nivelada, listada na Tabela 1 da ABNT NBRISO 5008:2015 (APÊNDICE A). Para a pista mais rugosa, a elevação deve ser definida em intervalos de 80 mm ao longo de cada faixa. O Quadro 2 mostra, de forma parcial, as variações de elevação dos blocos de madeira em função da cota e lado (direito e esquerdo) que cada unidade ocupa ao longo de sua extensão.

Quadro 2 - Pista mais rugosa (ordenadas de elevação em relação a uma linha de base) segundo a ABNT NBR 5008 (2015)

D m	L mm	R mm	D m	L mm	R mm	D m	L mm	R mm	D m	L mm	R mm
0	180	90	4,24	85	90	8,48	125	110	12,72	100	75
0,08	180	115	4,32	85	90	8,56	115	115	12,8	90	95
0,16	165	140	4,4	115	75	8,64	125	110	12,88	85	75
0,24	155	135	4,48	145	55	8,72	140	100	12,96	75	55
0,32	135	135	4,56	150	55	8,8	125	95	13,04	85	65
0,4	135	115	4,64	125	50	8,88	115	90	13,12	90	70
0,48	140	100	4,72	110	55	8,96	110	75	13,2	95	55
0,56	145	95	4,8	90	55	9,04	110	70	13,28	100	50
0,64	150	90	4,88	75	65	9,12	100	45	13,36	115	50
0,72	140	85	4,96	50	50	9,2	100	25	13,44	135	50
0,8	135	75	5,04	50	50	9,28	100	5	13,52	140	65
0,88	135	90	5,12	55	40	9,36	85	40	13,6	145	75
0,96	135	100	5,2	55	20	9,44	65	50	13,68	150	90
1,04	125	95	5,28	55	20	9,52	65	65	13,76	140	85
1,12	120	95	5,36	55	20	9,6	70	75	13,84	115	75
1,2	120	95	5,44	50	25	9,68	70	85	13,92	100	90
1,28	115	95	5,52	45	25	9,76	75	90	14	95	100
1,36	120	100	5,6	45	25	9,84	75	75	14,08	90	95
1,44	125	110	5,68	50	30	9,92	85	75	14,16	85	90
1,52	135	100	5,76	45	40	10	100	75	14,24	90	70
1,6	115	90	5,84	45	50	10,08	115	75	14,32	95	50
1,68	90	95	5,92	45	45	10,16	115	75	14,4	55	45
1,76	70	95	6	40	40	10,24	115	75	14,48	25	40
1,84	50	90	6,08	55	30	10,32	120	90	14,56	40	30
1,92	50	75	6,16	90	25	10,4	125	100	14,64	50	25
2	55	65	6,24	100	30	10,48	125	90	14,72	55	45
2,08	70	50	6,32	100	40	10,56	135	75	14,8	55	45
2,16	85	40	6,4	95	50	10,64	90	95	14,88	75	55

Legenda: D - Distância de partida, L - Ordenada da faixa esquerda, R - Ordenada da faixa direita.

4.1.3 Quantificação dos números de madeira com alturas iguais

Para obter uma visão macro do projeto, relacionado a quantidades de pedaços de madeira e seus respectivos volumes necessários à sua realização, foi utilizado o Microsoft Excel. O Excel é basicamente um editor de planilhas, com diversos campos e colunas, é possível

fazer cálculos, gráficos e muitas outras construções matemáticas que facilitam a compreensão das informações. Os campos do programa, linhas e colunas do Excel foram alimentados manualmente, seguindo de forma criteriosa a ordem e a sequência determinada por norma.

Parte desta norma encontra-se disposto no Quadro 3 deste trabalho, o qual expõe a distância sequenciada que cada pedaço de madeira ocupa, assim como suas respectivas cotas de elevação, tanto do lado esquerdo quanto do lado direito da pista de vibração. Após alimentar todos os campos do programa com os valores de distâncias e cotas de elevação, foi possível fazer a separação dos pedaços de madeira que tivessem valores de elevações iguais, esta separação possibilitou vislumbrar quantos pedaços de madeira seriam necessários para uma dada elevação (QUADRO 2).

Quadro 3 - Quantificação dos pedaços de madeira de mesma elevação para a pista mais rugosa segundo a ABNT NBR 5008(2015)

			(continua)
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (mm)	Quantidade (unid)
1,00	0,08	5	1
1,00	0,08	15	4
1,00	0,08	20	5
1,00	0,08	25	10
1,00	0,08	30	13
1,00	0,08	35	1
1,00	0,08	40	22
1,00	0,08	45	24
1,00	0,08	50	27
1,00	0,08	55	30
1,00	0,08	65	26
1,00	0,08	70	25
1,00	0,08	75	57
1,00	0,08	80	5
1,00	0,08	85	30
1,00	0,08	90	48
1,00	0,08	95	36
1,00	0,08	100	68
1,00	0,08	105	6
1,00	0,08	110	41
1,00	0,08	115	52
1,00	0,08	120	26
1,00	0,08	125	46
1,00	0,08	130	7
1,00	0,08	130	7

			(conclusão)
1,00	0,08	135	37
1,00	0,08	140	27
1,00	0,08	145	24
1,00	0,08	150	32
1,00	0,08	155	5
1,00	0,08	160	28
1,00	0,08	165	21
1,00	0,08	170	4
1,00	0,08	175	3
1,00	0,08	180	4
1,00	0,08	185	5
1,00	0,08	190	8
1,00	0,08	195	3
1,00	0,08	200	2
1,00	0,08	205	1
1,00	0,08	210	2
1,00	0,08	215	4
1,00	0,08	220	3
1,00	0,08	225	6
1,00	0,08	230	4
1,00	0,08	235	9
1,00	0,08	240	4
1,00	0,08	245	3
1,00	0,08	250	3
1,00	0,08	255	6
1,00	0,08	260	3
1,00	0,08	265	6
1,00	0,08	270	3
1,00	0,08	275	2
1,00	0,08	280	2
1,00	0,08	285	4
Total			878

Fonte: Adaptado da Norma ABNT 5008 (2015).

O programa possibilitou fazer cálculos matemáticos, assim, foi possível quantificar o volume de madeira necessário para construção da pista. Como cada pedaço de madeira possui a forma geométrica de um paralelepípedo, com comprimento fixo e largura fixa (1 m x 0,080 m) e altura variada, uma instrução foi realizada no programa, permitindo que fossem calculados o volume de madeira necessário tanto do lado esquerdo (4,26 m³) quanto do lado direito (3,65 m³) para a realização do projeto. O volume de madeira mencionado refere-se a pedaços de

madeira com acabamento em suas dimensões.

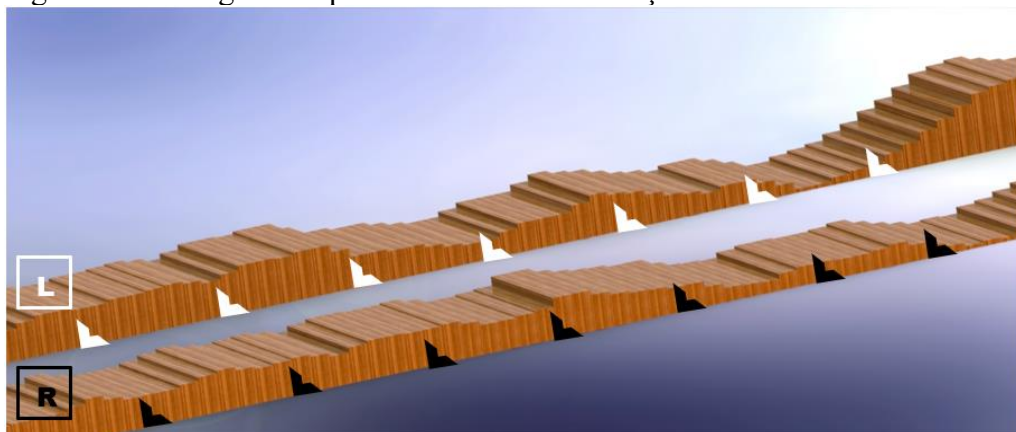
De posse do volume de madeira, calculou-se a massa total da pista de vibração em função de sua densidade. A densidade foi obtida através da relação entre a massa de um pedaço de madeira que compõe a pista, pesado em uma balança digital (4,80 kg) dividido pelo volume (m^3) desse pedaço. O pedaço de madeira possui dimensões (1,00 m x 0,08 m x 0,08 m) e volume de $0,0064 m^3$. Assim, obteve-se a densidade do pedaço de madeira ($750 kg.m^{-3}$) e a massa em madeiras da pista de vibração (5.938,20 kg) do lado direito e esquerdo em toda sua extensão.

4.1.4 Idealização e desenho do projeto em blocos atendendo às especificações da norma

Após a idealização conceitual do projeto, o próximo passo foi ordenar todas as ideias e montar os croquis. Os croquis são desenhos realizados à mão livre, com traços rápidos e contínuos em folhas de papéis, não apresentam compromisso com a escala e nem a pretensão de serem perfeitos até chegar à versão aceita para execução. A versão aceita foi desenhada em computador, utilizando os softwares AutoCAD e SOLIDWORKS com o objetivo de expor uma imagem geral e detalhada do projeto, de forma que todos os colaboradores envolvidos na execução sejam capazes de interpretá-lo. Esse tipo de desenho segue normas técnicas e é usado principalmente na confecção de projetos.

O desenho expõe uma visão geral dos dois lados da pista de vibração (direito e esquerdo) em toda sua extensão (35,04 m) segundo a norma. O lado direito designado no desenho pela letra “R” de *right* é identificado na cor preta pelos fixadores de blocos e o lado esquerdo pela letra “L” de *left* é identificado pela cor branca dos fixadores de blocos (FIGURA 8). A distância entre os dois lados da pista é determinada pela bitola do trator a ser ensaiado.

Figura 8 - Visão geral da pista com suas identificações



Fonte: Joan Carlos da Silva (2020).

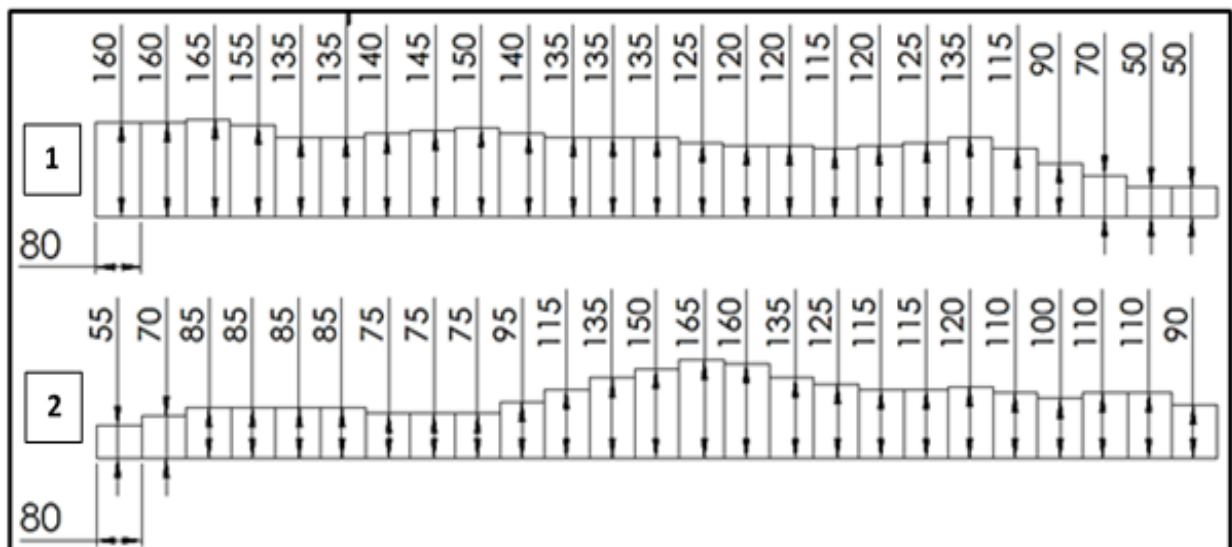
Cada lado da pista em toda sua extensão foi dividido em módulos de 1 e 2 m. Os módulos de 2 m são compostos por 25 pedaços de madeira e cada pedaço tem a forma geométrica de um paralelepípedo (0,08 m de largura x 1 m de comprimento x altura variada). Os 25 pedaços de madeira dispostos lateralmente (0,08 m) uns dos outros compõem um módulo de 2m de comprimento.

A pista, em sua totalidade, é composta por 17,5 módulos de 2 m para cada lado (direito e esquerdo); dispostos de forma sequenciada e ordenada segundo a norma, totalizando 35 módulos de 2 m ou 875 pedaços de madeira individuais em forma de paralelepípedo e dimensões definidas.

O desenho técnico é uma ferramenta indispensável para a interpretação e representação de um projeto. Por ser o meio de comunicação entre a equipe de criação e a de fabricação, ao colocar as ideias no papel, o profissional descomplica, expõe e representa tal ideia por meio de regras e métodos. O projeto para execução da pista modular expõe uma vista lateral dos módulos desenhados em AutoCAD que deverão ser seguidos em uma dada sequência.

Cada módulo é composto por 25 peças de madeira montadas de forma sequenciadas conforme a Norma ISO 5008 (2015) em função da posição e elevação que os mesmos ocupam no projeto (FIGURA 9). Os pequenos retângulos representados em cada módulo referem-se aos pedaços de madeira de cada um e os números que acompanham cada retângulo diz respeito às cotas de elevação, essas cotas obedecem a transcrição fiel da Norma ISO 5008 (2015).

Figura 9 - Vista de dois módulos sequenciados segundo a ABNT NBR 5008 (2015)



Fonte: Joan Carlos da Silva (2020).

Os módulos de cada lado da pista estão desenhados de forma ordenada, uns abaixo dos outros, o módulo superior representa o primeiro de um dos lados (direito ou esquerdo), o imediato inferior representa o segundo e assim sucessivamente. Os módulos têm seu início no 1º pedaço de madeira a contar da esquerda para direita, o 25º pedaço de madeira demarca a posição final de um módulo, este final, unido com o início de outro módulo e, assim, sucessivamente com os demais, formam uma espécie de “esteira” que compõem um dos lados da pista em toda sua extensão.

4.1.5 Identificar os fornecedores da matéria prima em nossa região (toras de madeira)

A pesquisa por fornecedores foi realizada por meio da pesquisa pela internet e redes sociais como forma de identificar os principais fornecedores de madeira da região. Na cidade de Limoeiro do Norte e em cidades vizinhas, poucas madeireiras foram encontradas, possivelmente em função da informalidade já que se trata de cidades do interior do estado do Ceará. Após o sistema de busca ter localizado as principais madeireiras da região, uma visita foi realizada em cada uma, objetivando identificar as madeiras disponíveis pelo fornecedor, que atendessem alguns quesitos como: disponibilidade de fornecimento, resistência mecânica considerada, dimensões geométricas que atendessem a norma e suas cotas de elevação em alturas, custo financeiro que atendessem uma dada receita prevista em projeto.

Todas as madeireiras pesquisadas não conseguiam atender o quesito dimensões geométricas e custo financeiro. As dimensões geométricas não eram atendidas em função de uma padronização volumétrica comercial local, tratando-se de maçaranduba, espécie de madeira predominante local, mas oriunda do estado do Pará, são comercializadas com as dimensões definidas. As dimensões padronizadas existentes não atendem à largura padrão de 0,08 m e às variações de altura exigidas por norma, inviabilizando a utilização desta.

Quanto ao custo financeiro das madeiras foi feito um orçamento nas madeireiras locais cotando a maçaranduba, esta apresentou um valor mais alto (300%) do que a previsão de receita para execução de todo projeto. O cálculo do custo da maçaranduba foi feito pelo volume total de madeira. Para a realização do projeto, esse custo foi determinado pelo volume (7,91 m³) de madeira acabada e dimensões definidas conforme a Norma ABNT ISO 5008 (2015).

As pesquisas iniciais sinalizam a inviabilidade de realização do projeto em função da disponibilidade de matéria prima que atendessem aos quesitos necessários, citamos os principais, preço e dimensões geométricas das madeiras. Estas dificuldades motivaram a investigar outras soluções, com isso, foi feita uma procura regional de madeira que pudessem

atender aos quesitos mencionados, esta, chegou aos madeireiros que trabalham por conta própria no corte de árvores, principalmente o Nim (*Azadirachta indica*), madeira pouco disponível, atualmente, em nossa região, mas que atendem grande parte dos requisitos necessários.

O Nim vislumbrou a possibilidade de realização do projeto. Diversos lenhadores foram contactados para o abastecimento da matéria prima, as toras, de no mínimo um metro de comprimento e diâmetro considerado foram compradas dos mesmos. O fornecimento das toras vem acontecendo de forma interrupta em função da indisponibilidade do produto na região. O volume de madeira disponibilizado por cada lenhador não é suficiente para demanda que o projeto exige. Este fato ocasiona a descontinuidade da produção da pista de vibração e necessita de maior tempo para produção.

Um acontecimento atípico que impulsionou as atividades de construção da pista foi a doação de uma quantidade significativa de árvores Nim, localizada na chapada do Apodi do município de Limoeiro do Norte-CE. A derruba das árvores foi realizada por um lenhador que operava motosserra, própria. As árvores, após o corte, renderam aproximadamente 30 toras com diâmetros variados e comprimento de um metro (FIGURA 10).

Figura 10 - Derrubada e corte de árvores com motosserra



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Após o corte das toras, ainda no local de origem, houve o carregamento e transporte das madeiras (Figura 11A e 11B). O carregamento foi realizado por voluntários com o auxílio de equipamento hidráulico para fazer o levante das toras até a altura do assoalho do caminhão, em seguida, as toras foram transportadas (FIGURA 11C) e descarregadas em uma serraria para o processo de corte em filetes.

Figura 11 - Carregamento no local de extração



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.6 Desdobramento das toras em pedaços de madeira

O desdobramento das toras de madeira serrada compreende o processamento de peças de seção circular ou elíptica em peças de seção retangular. A principal operação do desdobro é a serragem que consiste em cortes longitudinais das toras em toda sua extensão. Antecedendo o processo de serragem, as toras passam inicialmente pela plaina, dispositivo que tira as irregularidades de um material, nivelando e conformando uma superfície plana de referência em cada tora necessário ao corte. A plaina desempenadeira do fabricante Mazutti com acionamento elétrico e regulação manual (FIGURA 12) é constituída de corpo de metal, com mesa plana que sustenta uma lâmina de aço, ajustada manualmente de modo a ficar exposta em relação à base, permitindo que a madeira seja desbastada e trabalhada.

Figura 12 - Plaina desempenadeira



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

As toras, após o processo de plaina e a superfície de referência conformada em seu dorso, foram submetidas ao corte. O processo consiste em vários cortes retos feitos na tora em sentido longitudinal para formação dos pedaços de madeira que irão compor a pista de vibração. Os pedaços formados são semiacabados com dimensões maiores do que o produto final. Para a realização dos cortes foi utilizado uma serra de fita vertical do fabricante Raimann com regulagem de altura. A regulagem acontece manualmente pelo cabeçote de apoio da fita que proporciona o corte de madeiras em diferentes espessuras (FIGURA 13). A serra de fita foi utilizada como corte primário, já que a fita, por ser flexível proporciona pequeno desvio durante a operação comprometendo o acabamento.

Figura 13 - Serra de fita vertical



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para o processo de corte com acabamento final dos pedaços de madeira foi utilizado uma serra circular esquadrejadeira do fabricante Verry. Composto por uma superfície plana e disco de corte que fica projetado sobre a mesma, o disco tem seu acionamento elétrico e trabalha com a rotação constante. A máquina realiza cortes retos e transversais dos pedaços de madeira com maior precisão, graças às guias que possuem (FIGURA 14). Cada pedaço de madeira semiacabado foi fixado em um carro de serra circular esquadrejadeira para serem seccionadas suas extremidades. Foi garantindo o comprimento acabado de um metro para cada pedaço. Em seguida, foi realizado o corte longitudinal em toda extensão nas faces laterais de cada pedaço de madeira, assegurando as medidas das larguras (0,80 m) conforme a ABNT NBR 5008 (2015).

Figura 14 - Serra circular esquadrejadeira



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para contemplar o acabamento final da altura de cada pedaço de madeira definido em norma foi utilizado uma plaina desgrossadeira do fabricante MKSIWA e modelo PD 400/3 com três facas de atuação (FIGURA 15). A função básica da plaina é desbastar a madeira, reduzindo-a as dimensões desejadas. São usadas também para retirar irregularidades de superfícies da madeira, tornando-as mais lisas.

Figura 15 - Plaina desgrossadeira



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A máquina em questão possui regulagem de altura da mesa que segundo o manual do fabricante consegue desbastar até 5 mm de madeira. Esta profundidade de corte mencionada depende da largura da peça a ser desbastada e das propriedades mecânicas de cada madeira. Dependendo da operação anterior, o corte, houve a necessidade de mais de uma passada na máquina para que os pedaços de madeira atingissem a altura recomendada. Um fator laborioso nesta operação foi a necessidade de uma nova regulagem em altura da mesa para cada pedaço de madeira. Já que os pedaços tinham elevação diferente uns dos outros. Durante o processo de corte das toras de madeira, existe um desperdício da ordem de 30% e deste modo as sobras foram doadas para confecção de caixotes para criação de abelhas pelos apicultores da região. Reforça ainda, a importância de entender que uma das principais tarefas da gerência de empresa moderna trata-se da detecção e eliminação dos gastos e perdas ocorridos durante suas atividades.

4.1.7 Tratamento superficial dos pedaços de madeira em óleo

O tratamento dos pedaços de madeira deve ser realizado para prevenir sua deterioração, ampliando assim sua vida útil. O tratamento normalmente utilizado é o químico, no qual ocorre a fixação de elementos na madeira, tornando-a mais resistente à ação de fungos e insetos (brocas e cupins), principalmente se a madeira ficar em contato direto com a água, solo ou sol.

Dentre os diversos tratamentos químicos existentes para madeira, o banho em óleo a frio por imersão foi o processo utilizado neste trabalho para tratar os pedaços de madeira (Figura 16). Composto por uma mistura de óleo diesel (20%) e (80%) de óleo lubrificante automotivo que depois de retirado do motor ou equipamento passa a ser um resíduo chamado óleo lubrificante usado ou contaminado, conhecido popularmente como “óleo queimado”.

O óleo diesel por ser um composto menos viscoso atua como diluente do óleo lubrificante formando uma solução (diesel mais lubrificante) com maior poder de penetração. O óleo lubrificante usado por ser um produto de descarte tem seu custo reduzido e fácil aquisição em nossa região. Após o tratamento em óleo dos pedaços de madeira, as mesmas deverão permanecer em repouso por dois dias, garantindo a secagem total, isto facilita o manuseio das madeiras no processo de marcação.

Figura 16 - Imersão em mistura de óleo Diesel e lubrificante automotivo



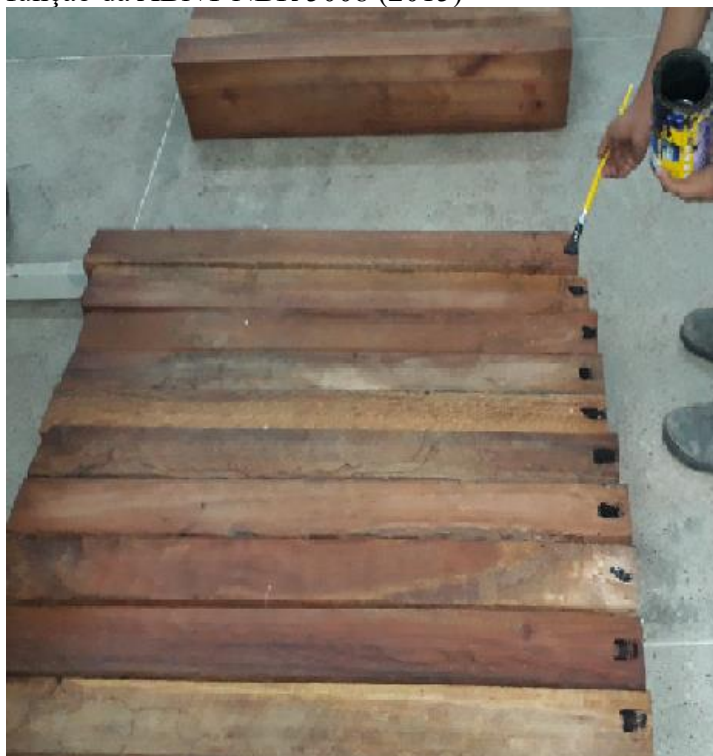
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.8 Seleção sequenciada da madeira em função da altura segundo a norma

A seleção qualitativa dos pedaços de madeira garante que as peças de melhor acabamento superficial fiquem voltadas para a parte superior da pista de vibração. A marcação com tinta branca (lado esquerdo) ou preta (lado direito) em cada pedaço de madeira garante uma posição pré-definido de montagem, evitando possíveis inversões de posições caso haja necessidade de locomoção de algum elemento para realização de outra operação.

Os pedaços de madeira após a secagem seguirão para um ambiente de solo plano e limpo para serem ordenados uns após os outros. Cada pedaço de madeira será ordenado de forma perpendicular em relação ao comprimento do módulo a ser construído. A sequência das madeiras seguirá uma dada ordem em função de suas alturas, as alturas, obedecem restritamente à sequência preconizada pela norma. O número de madeira limita-se a formação de um módulo, composto por no máximo 25 pedaços de madeira (FIGURA 17).

Figura 17 - Seleção de alturas e posição de madeira em função da ABNT NBR 5008 (2015)



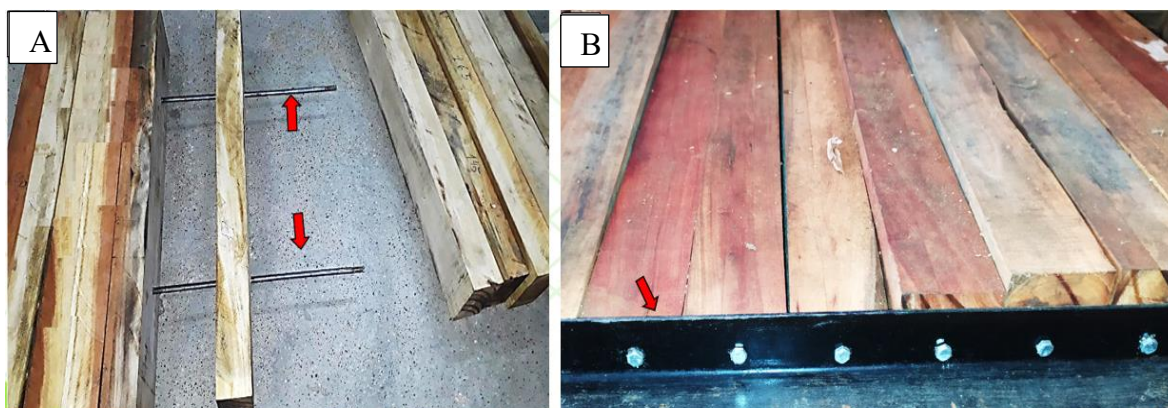
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.9 Barras de sustentação circular e lateral

As barras de sustentação são estruturas metálicas contidas em cada módulo da pista de vibração, elas garantem a rigidez mecânica e estrutural de cada módulo. Composto por duas ou mais barras de aço carbono, elas podem ter o formato da secção arredondada ou em forma da letra (L). Dispostas uma ao lado da outra, elas fazem a fixação sequenciadas e ordenadas de todos os pedaços de madeiras que compõem um módulo de dois metros da pista de vibração. O número de barras por módulo varia em função do peso que as mesmas deverão suportar.

As barras de sustentação possibilitam duas configurações de montagem para os módulos de dois metros que compõem a pista de vibração em sua totalidade, montagem com barras de sustentação circular ou montagem com barras de sustentação lateral. O fator que define a montagem dos módulos são as elevações dos pedaços de madeiras, caso haja um ou mais pedaços de madeiras em um módulo com elevação inferior a 50 mm faz-se necessário que a montagem do módulo seja feita com barras de sustentação lateral. Módulos contendo todos os pedaços de madeiras no qual a elevação em altura seja igual ou superior a 50 mm pode ser montado com barras de sustentação circular, já que existe elevação suficiente para introduzir as barras de aço circular no interior de cada pedaço de madeira (FIGURA 18).

Figura 18 – Módulo montado com barras de sustentação circular (A) e lateral (B)



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

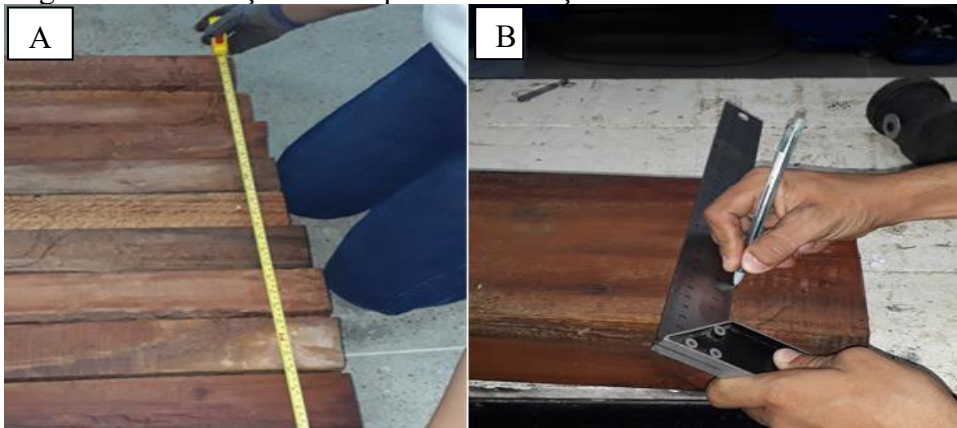
4.1.10 Construção de um módulo pelo processo de barra de sustentação circular

O fator determinante para a montagem de um módulo de 2 m da pista de vibração com barras de sustentação circular é a elevação dos pedaços de madeiras. Pedaços iguais ou superiores a 50 mm serão montados pelo processo de barras de sustentação circular. A montagem de um módulo com barras de sustentação circular demanda diversos processos de construção. Os processos serão descritos de forma detalhada, seguindo a ordem cronológica de montagem de um módulo de 2 m. Dentre os processos podemos citar: medição e marcação dos pedaços de madeira; rebaixo e furação; processo de rosqueamento das barras de sustentação circular; montagem de um módulo; fabricação dos fixadores de módulo e identificação do módulo.

4.1.10.1 Processo de medição e marcação em pedaços de madeira

O processo de medição e marcação em madeira consiste em definir o exato local a serem furadas. Medir e marcar corretamente são de fundamental importância para a qualidade do produto. Uma marcação incorreta, por pequena que seja, vai se somando durante o projeto e pode prejudicar o produto final, gerando perda de material. A realização das medições na madeira foi executada com instrumentos manuais, como a trena em aço de 3 m e um esquadro de carpinteiro com cabo de alumínio e lâmina de aço inox (300 mm) (FIGURA 19A). Para as marcações do local a ser furado foi utilizado caneta esferográfica e pincel para quadro branco (FIGURA 19B).

Figura 19 - Marcação de um ponto em relação a linha de base



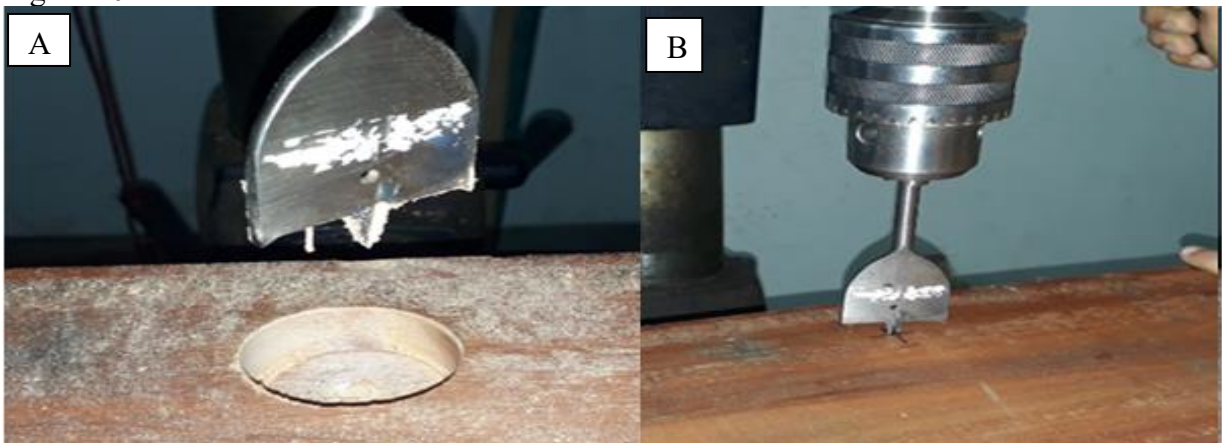
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A marcação do ponto tomou como referência uma reta horizontal no sentido longitudinal do pedaço de madeira com distância de 0,25 m em relação à linha de base. Duas linhas perpendiculares à linha de base foram traçadas a partir do centro de cada pedaço de madeira em relação a seu comprimento, 0,25 m para o lado esquerdo e 0,25 m para o lado direito. O ponto de intercessão das linhas definiu o local para marcação dos furos.

4.1.10.2 Processo de rebaixos e furações em madeira

Após a marcação dos dois pontos em cada pedaço de madeira, o processo de rebaixo em madeiras, antes da furação e somente nas madeiras das extremidades de cada módulo é necessário. O rebaixo circular em madeiras tem a finalidade de alojar a porca de fixação do módulo, garantindo assim o contato face a face de um módulo com o outro sem nenhuma interferência (FIGURAS 20A e 20B).

Figura 20 - Rebaixo em madeira



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para o processo de rebaixo nos pedaços de madeira foi utilizado uma furadeira de coluna e uma broca chata. A furadeira de coluna do fabricante Schultz composto por um motor elétrico monofásico de potência (1 cv) tem sua rotação selecionada no eixo de saída através de pares de polias motoras e movidas, como meio de transmissão uma correia trapezoidal. O avanço do eixo principal da máquina é realizado manualmente, o qual, depende exclusivamente do operador.

Foi realizado dois rebaiços circular nas madeiras com diâmetro de $1\frac{1}{8}$ in e 25 mm de profundidade, somente no pedaço de madeira inicial e final de cada bloco. Para realização do processo utilizou-se de broca chata para madeiras, brocas que apresentam a forma plana composta por arestas cortantes, haste de fixação e ponta guia que serve para furar e estabilizar o processo. Nesta operação a ferramenta trabalha com rotação fixa 500 rpm e avanço de penetração moderado.

O avanço de penetração foi realizado de forma manual, no qual a velocidade de penetração depende da habilidade do operador. Diversos parâmetros podem influenciar no avanço de penetração como: propriedades mecânicas das madeiras, qualidade da ferramenta de corte, rotação de trabalho dentre outros. Um avanço lento pode superaquecer a broca e danificar o fio de corte, já um avanço rápido pode desprender pedaços de madeira, furos desuniformes e ruptura da broca. Um avanço regular é perceptível pelo operador pela suavidade de corte e uniformidade do cavaco (em forma de pó) evidenciado pela boa qualidade do furo.

O processo de furação foi realizado com a furadeira de coluna citado acima e uma broca circular de aço cromo para madeira. A broca possui diâmetro de 14 mm e comprimento de 100 mm trabalhando na mesma rotação que foi utilizada para o rebaixo (500 rpm) e avanço de profundidade manual. O furo passante e concêntrico com o rebaixo atravessa a madeira de um lado ao outro. Todos os pedaços de madeira que compõem um módulo foram furados em dois pontos, permitindo que a barra de sustentação passe pelo seu interior.

4.1.10.3 Construção das barras de sustentação circular

As barras de sustentação e secção circular tem o comprimento de 2 m em extensão (FIGURA 21). São montadas de forma embutida, passando pelo interior de cada furo composto em cada pedaço de madeira que formam um módulo.

Figura 21 - Duas barras de sustentação para um módulo da pista de vibração



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

As quantidades de barras variam em função da massa de cada módulo, existem módulos com 2, 3 e 4 barras (FIGURA 22). As barras de sustentação têm como matéria prima o aço carbono SAE 1045 que têm como características mecânicas, boa resistência e boa usinabilidade para esta atividade, comercializado em “varas” de 6 m de comprimento e bitola comercial de ½ polegada ou 12,7 mm de diâmetro externo e peso aproximado de 0,994 kg m⁻¹.

Figura 22 - Quatro barras de sustentação para um módulo da pista de vibração

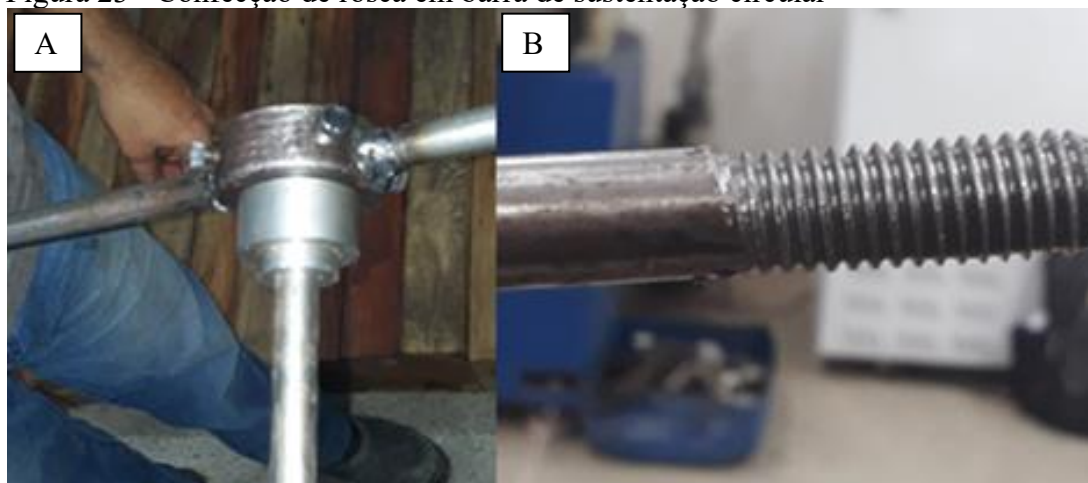


Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A barra de aço carbono de 6 m foi seccionada em tamanhos de 2 m de comprimento, mesmo comprimento de um módulo da pista de vibração. Para esta atividade de corte utilizou-se de uma esmerilhadeira manual angular de pequeno porte com potência de aproximadamente 700 W e tensão de alimentação de 220 V.

Cada barra de sustentação é composta por uma rosca externa em uma de suas extremidades, utilizada para finalizar e fixar o último pedaço de madeira aos demais que compõem um módulo da pista. A rosca da barra de sustentação foi confeccionada pelo processo de rosqueamento manual no qual foi utilizado um cossinete específico para aço carbono $\frac{1}{2}$ - 13 (diâmetro externo de $\frac{1}{2}$ in com 13 fios/in) (FIGURAS 23A e 23B). A rosca na extremidade da barra possibilita que uma porca metálica seja rosqueada, garantindo um torque específico em todos os pedaços de madeira que compõem um módulo da pista.

Figura 23 - Confeção de rosca em barra de sustentação circular

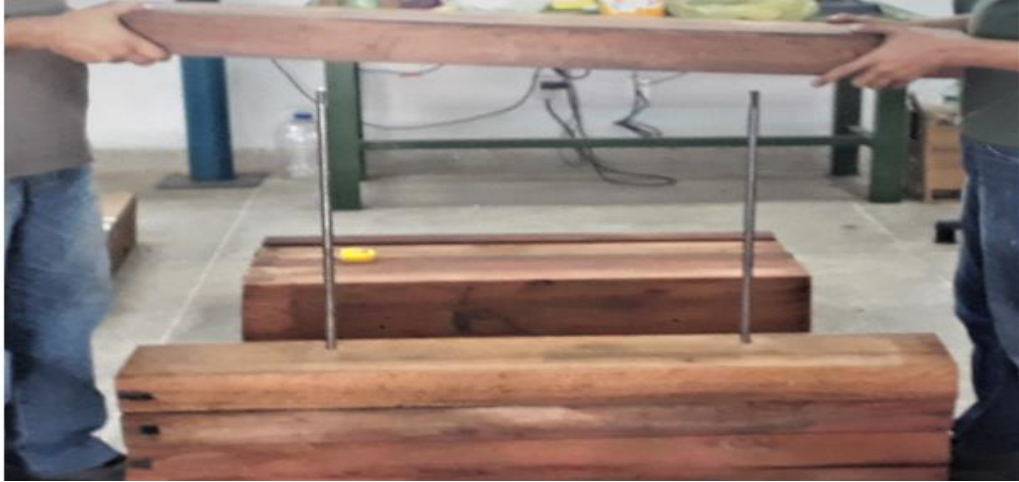


Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.10.4 Montagem de um módulo com barras de sustentação circular

Para que um módulo seja montado pelo processo de barra de sustentação circular, as barras deverão posicionar-se verticalmente em relação ao plano de trabalho (FIGURA 24). Elas passaram pelo interior dos furos contidos em cada pedaço de madeira, espécie de guia. Todos os pedaços de madeira foram empilhados uns sobre os outros de forma manual, face lateral de um com a face lateral do outro, de forma sequenciada dito em norma. O módulo cresce verticalmente até o 25º pedaço de madeira quando completa 2 m de extensão, o último pedaço de madeira possui dois ou mais rebaxos na face frontal destinado a guardar as porcas de fixação de um módulo.

Figura 24 – Montagem de um módulo pelo processo de barra de sustentação circular



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Concluído a montagem dos pedaços de madeira que compõem um módulo, o mesmo foi posicionado de forma horizontal em relação ao plano de trabalho para a montagem dos fixadores de módulos, 6 fixadores, 2 na extrema lateral direita, 2 na extrema lateral esquerda e 2 nas laterais intermediária do módulo. Foram utilizados três parafusos para madeira 5/16 in x 60 mm para a montagem de cada fixador de módulo, totalizando de 16 a 18 parafusos/módulo.

4.1.10.5 Processo de fabricação dos fixadores de módulos

Os fixadores de módulos são estruturas metálicas fixadas lateralmente e nas extremidades de cada módulo da pista de vibração, permite a fixação sequenciada de um módulo ao outro, os fixadores de módulo anterior serão aparafusados nos fixadores do módulo subsequente por meios de parafusos metálicos, garantindo assim a montagem sequenciada de todos os módulos que compõem um lado da pista de vibração (FIGURA 25).

Figura 25 - Fixadores de módulos

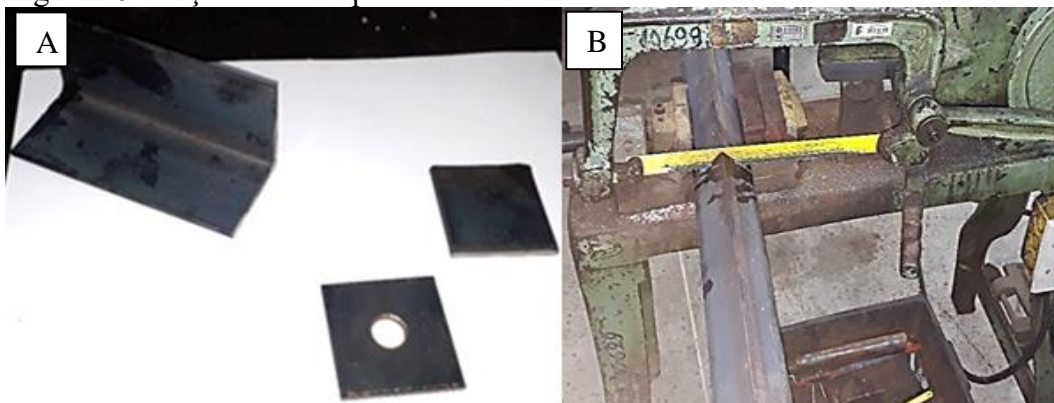


Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Cada fixador de módulo dispõe de um furo de 14 mm de diâmetro em sua extremidade, este, além de permitir a passagem do parafuso de fixação, possibilita fazer o levante e locomoção dos módulos por meio de ferramentas especiais. Cada módulo da pista é composto por quatro fixadores de módulos, dois em cada lado de suas extremidades. Esta configuração acontece somente nos módulos que são montados com barras de sustentação circular. Para os módulos que são montados com barras de sustentação lateral, a mesma exerce essa função, já que a barra de sustentação lateral termina em sua extremidade com o furo de 14 mm de diâmetro, possibilitando fixar um módulo ao outro e fazer o levante e a locomoção dos módulos da pista de vibração.

Para o processo de fabricação dos fixadores de módulos foi utilizado como matéria prima os mesmos componentes que foram empregados no processo de fabricação das barras de sustentação lateral como: cantoneira de aço carbono em forma da letra (L) e abas de 2 in de largura, espessura de $\frac{1}{8}$ e $\frac{1}{4}$ in e chapas plana de aço na mesma espessura (FIGURA 26A). As cantoneiras foram cortadas de forma perpendicular em relação a sua extensão, formando pedaços de 120 mm (FIGURA 26B).

Figura 26 - Peças cortadas para os fixadores de módulos



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para o processo de corte foi utilizado serra elétrica horizontal alternativa semiautomática, esta necessita que todos os pedaços de cantoneiras a serem cortados sejam posicionados e fixados manualmente na máquina, já o movimento de corte acontece de forma automática. O mesmo processo foi utilizado para cortar as barras planas de aço, que formaram quadrados de 2 in x 2 in, estes, foram utilizados para fazer o fechamento de uma das extremidades dos fixadores de módulos e o reforço superior do mesmo.

As três partes que compõem o fixador de módulos como: pedaço de cantoneira de 120 mm. chapa de aço quadrada com furo de 14 mm e chapa de aço quadrada de apoio superior,

tiveram que ser dispostos em um gabarito de construção própria. Objetivando garantir o correto posicionamento dos três elementos para o processo de soldagem, o gabarito de aço carbono em forma de (V) e com uma inclinação de 45° para trás em relação ao plano horizontal de apoio, asseguram que todas as peças metálicas sejam mantidas em contato umas com as outras pela força gravitacional.

4.1.10.6 Soldagem dos fixadores

Após o posicionamento das peças que compõem o fixador de módulos por meio do gabarito, todas elas foram unidas umas nas outras pelo processo de soldagem com eletrodo revestido (FIGURA 27). Foi utilizada uma inversora de solda 180 amperes para eletrodo revestido, e tensão de 220 V que é ideal para soldagem com eletrodos de até 3,25 mm.

Figura 27 - Peças dos fixadores de módulos posicionadas no gabarito para soldagem



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para a realização do processo de soldagem é de fundamental importância a utilização de equipamento individual de trabalho (EPI) como: máscara de solda, aventais, mangotes, luvas em couro, botas, entre outros. Nesta atividade, foi utilizado eletrodo revestido de aço carbono com diâmetro de 2,5 mm.

Concluído o processo de soldagem, os fixadores de módulos passam pelo processo de resfriamento natural. Este processo consiste em deixar a peça em “repouso” ao ar livre e em local seguro aguardando que a mesma atinja a temperatura ambiente, o processo dura aproximadamente de 3 a 4 horas. Atingindo a temperatura ambiente, foram feitos três furos de 6 mm de diâmetro em cada fixador de módulo (FIGURA 28), os furos permitem a fixação dos mesmos nos módulos a serem montados.

Figura 28 - Conformação mecânica dos fixadores de blocos



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O processo de desbaste mecânico foi realizado objetivando diminuir a elevação do cordão de solda para que se possa obter um melhor acabamento da peça conformada. Para este processo, foi utilizada uma esmerilhadeira manual, citada anteriormente, com discos específicos para desbaste e acabamento. Este último imprime menos ranhuras na superfície da peça trabalhada, proporcionando melhor acabamento no processo de pintura.

4.1.11 Processo de pinturas das partes metálicas

O processo de pintura destina-se a aplicação de tinta apropriada nas partes metálicas objetivando a proteção das mesmas, já que estas estruturas sofrem deterioração pelo tempo principalmente pelo processo de oxidação. A pintura, além do efeito estético que traz ao projeto, identifica através das cores a qual lado (direito/esquerdo) os módulos pertencem. Os componentes na cor preta identificam que o módulo pertence ao lado direito da pista de vibração e os na cor branca no lado esquerdo. Os principais elementos metálicos destinados ao processo de pintura são os fixadores de módulos e as barras de sustentação lateral.

Antes de aplicar a tinta líquida nas peças metálicas da pista de vibração, elas passaram pelo processo de preparação de superfície, destaca-se nesta etapa o desengraxar e o lixar das peças a serem trabalhadas. O desengraxar consiste em limpar a peça com um solvente, pincel e pano para remover graxas, sujeiras e gorduras que possam comprometer a fixação da tinta na superfície. Esta atividade foi realizada antes e após o processo de lixamento das superfícies. O trabalho com lixa consiste em eliminar eventuais oxidações contidas nas superfícies e aumentar a aderência da peça a ser pintada, para isso, utilizou-se lixa para ferro com granulação 100 destinado ao nivelamento da superfície e a remoção de pequenas escórias do processo de soldagem.

Os componentes a serem pintados foram realizados de forma manual, com tinta esmalte sintético ao ar livre, na cor branca ou preta. A tinta foi adicionada aguarrás em 10% como diluente, esta proporção foi indicada pelo fabricante da tinta para pinturas realizadas com pincel ou rolos de espuma (FIGURA 29). A solução foi homogeneizada na própria embalagem com movimentos circulares, utilizando-se espátulas de madeira até atingir uma consistência uniforme. Foram necessárias duas demãos de tinta para que as imperfeições fossem eliminadas e a qualidade melhorada.

Figura 29 – Pintura manual do fixador de módulo



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para a realização do processo de pintura foi observada às informações de segurança e meio ambiente contido na embalagem do fabricante de tinta esmalte sintético. Tratando-se de um produto inflamável, tóxico e de fortes odores, todos os cuidados foram mantidos para evitar acidentes pessoais e ambientais. Desde o manuseio, aplicação do produto, secagem e descarte, as informações contidas na embalagem foram divulgadas com todos os colaboradores que estavam envolvidos no processo. Após o processo de pintura em toda parte metálica externa, que constituem um módulo da pista de vibração, os fixadores de módulos foram aparafusados, seguindo a disposição mencionada anteriormente, lados direito, esquerdo e intermediário de cada extremidade de um módulo da pista de vibração (FIGURA 30).

Figura 30 – Módulo montado com barras de sustentação circular



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.12 Construção de um módulo pelo processo de barras de sustentação lateral

Conforme foi mencionado anteriormente, os módulos de 2 m são compostos por 25 pedaços de madeira, dentre os 25 pedaços, caso haja um ou mais pedaços com elevação inferior a 50 mm em altura, é necessário que a montagem do módulo seja feita com barras de sustentação lateral. Este processo apesar de ter um custo mais elevado, permite a fixação de pedaços de madeira extremamente baixos. Dentre os pedaços de madeira citados em norma, existem pedaços com até 5 mm de elevação.

As barras de sustentação lateral consistem em duas barras de aço carbono com o perfil em (L) dispostas lateralmente, uma em cada módulo da pista de 2 m (FIGURA 31). Com a mesma finalidade das barras de sustentação circular, pode-se destacar como finalidade principal das barras de sustentação lateral a fixação sequenciada de todos os pedaços de madeira, que compõem um módulo da pista e a rigidez mecânica dessa estrutura.

Figura 31 - Módulo montado com barras de sustentação lateral



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

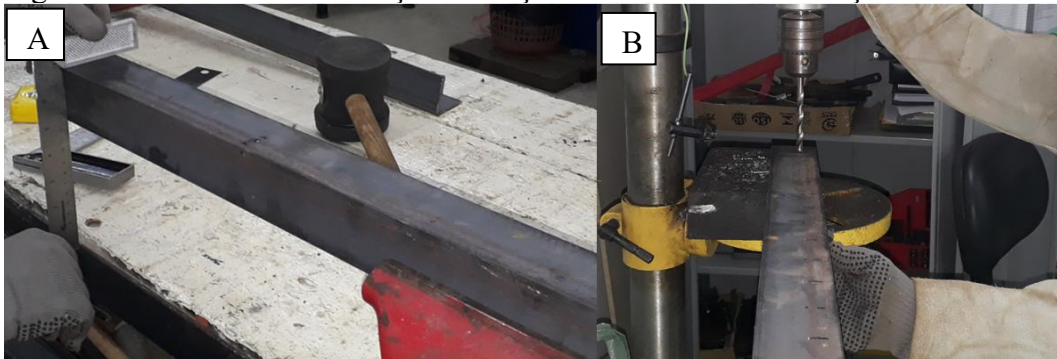
As barras de sustentação lateral têm o seu tamanho em extensão de 20 mm menor do que o comprimento do módulo de dois metros ficando assim com 1.980 mm. Este recuo tem como finalidade evitar a interferência mecânica da barra de sustentação de um módulo com a barra de sustentação do módulo seguinte. O recuo garante o contato face a face do último pedaço de madeira, de um módulo com o primeiro pedaço de madeira do próximo módulo.

Para o processo de fabricação das barras de sustentação lateral foi utilizado cantoneira de aço carbono com abas iguais de 2 in de largura para cada aba. A cantoneira tem forma geométrica em (L) e espessura de $\frac{1}{8}$ e $\frac{1}{4}$ in e peso nominal de $2,46 \text{ kg m}^{-1}$ e $4,74 \text{ kg m}^{-1}$, respectivamente. A seleção da espessura da cantoneira varia em função do peso que cada cantoneira poderá suportar. A cantoneira é normalmente comercializada em extensão de 6 m.

4.1.13 Marcação e furação lateral das cantoneiras

Após o processo de corte da cantoneira em pedaços de 1.980 mm em extensão, a mesma passa pelo processo de marcação e furação lateral em cada cantoneira. Para isso foi realizado 50 marcações e 50 furos de 6 mm de diâmetro em duas cantoneiras, 25 em cada lado, direito e esquerdo para cada módulo de pista. Todos os furos equidistantes e com espaçamento de 80 mm um do outro no sentido longitudinal (FIGURAS 32A e 32B). Para este processo foi utilizado uma furadeira (700 rpm) de bancada manual e uma broca de aço rápido. Houve a necessidade de utilizar líquido arrefecedor no processo para evitar desgaste prematuro da broca.

Figura 32 - Processo de marcação e furação das barras de sustentação lateral



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Após o processo de furação, 4 chapas de aço, com mesmas dimensões da cantoneira e furo de 14 mm de diâmetro no centro de cada uma, faz o fechamento das extremidades de cada cantoneira (2 chapas/cantoneira). A fixação das chapas foi realizada pelo processo de soldagem com eletrodo revestido. Uma esmerilhadeira manual de pequeno porte com disco de desbaste foi utilizado para remover eventual excesso do cordão de solda depositada no material oferecendo melhor acabamento na peça e nos materiais utilizados. As barras de sustentação lateral são finalizadas após o processo de pintura e secagem (FIGURA 33).

Figura 33 - Processo de pintura em barra de sustentação lateral



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.14 Montagem de um módulo pelo processo de barras de sustentação lateral

A montagem dos módulos pelo processo de barras de sustentação lateral consiste em selecionar todos os pedaços de madeiras de forma sequenciada e na posição de trabalho, ou seja, paralelo ao plano horizontal de trabalho. Seguindo o projeto, todos os pedaços de madeira de um módulo foram dispostos uns após os outros (FIGURA 34). Uma cinta foi utilizada para assegurar que todos os pedaços de madeira permanecessem imóveis. Em seguida, foram feitos dois furos nas extremidades de cada pedaço de madeira, de 3,5 mm de diâmetro, sendo 25 furos em cada um dos lados, totalizando 50 furos por módulo. Para a fixação da barra de sustentação lateral, utilizou-se 50 parafusos 1/16 x 60 mm, auxiliado por uma parafusadeira elétrica.

Figura 34 – Montagem de um módulo com barras de sustentação lateral



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.15 Identificação dos módulos da pista de vibração

Os módulos que foram montados são identificados por um código alfanumérico, composto por um número seguido de letra, possuem sua marcação gravada na parte superior do

primeiro pedaço de madeira de cada módulo. Os números indicam a sequência que o módulo ocupa segundo o projeto. A letra identifica o lado ao qual o módulo pertence, a letra (R) indica que o módulo pertence ao lado direito da pista de vibração; Já a letra (L) indica que pertence ao lado esquerdo (FIGURA 35). Para fazer a marcação alfanumérica foram utilizados moldes, estes foram postos sobre a parte superior da madeira a ser gravada, tiveram seus espaços vazios, preenchidos com tinta sintética. A coloração da tinta utilizada em todas as marcações foi padronizada na cor branca, esta contribui com o seu efeito visual.

Figura 35 - Identificação do módulo



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

4.1.16 Dispositivo para a mobilidade dos módulos

Após a construção dos módulos, houve a necessidade de fazer a movimentação do mesmo, mudando de um local para o outro ou modificando a sua posição de origem. Para suprir esta demanda, um dispositivo que permitisse a mobilidade do módulo foi idealizado e construído. Composto por tubos e barras de aço, três dispositivos foram fabricados para que quatro ou seis pessoas conseguissem movimentar de forma manual um módulo da pista de vibração ou fazer o levante da mesma para um possível carregamento.

O dispositivo para a mobilidade de módulos contém dois “grampos” em forma de (U), cada “grampo” encaixe em um furo do fixador de módulo, cada dispositivo foi acoplado em dois fixadores de módulos que estão dispostos um ao lado do outro, de forma paralela ao longo de um módulo da pista de vibração, dois na parte dianteira, dois na parte intermediária e dois na parte anterior de um módulo (FIGURA 36).

Figura 36 – Dispositivo para mobilidade dos módulos



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Com o dispositivo para a mobilidade, foi possível carregar, transportar e descarregar módulos acabados em uma prancha (FIGURA 37).

Figura 37 – Transporte de módulo acabado



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto proposto ainda está em fase de desenvolvimento, contudo, apresenta uma configuração física e funcional preliminar que satisfaz as condições impostas ao projeto e satisfaz as expectativas dos usuários. As ferramentas de suporte empregadas foram adequadas, fornecendo elementos para tomadas de decisão em cada etapa do projeto.

Diante disso, como sugestão para trabalhos futuros, pretende-se:

- Avaliar a pista modular de vibração em relação a uma pista fixa para fazer os comparativos dos valores de vibrações coletadas;
- Para que a avaliação seja realizada, faz-se necessário tornar fixa a pista modular de vibração, isso será realizado através de fixadores inseridos em suas laterais, após essa fixação, avaliam-se novamente os níveis de vibração, e se efetivam os comparativos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 5008: tratores agrícolas de rodas e máquinas de campo: medição da vibração transmitida ao corpo inteiro do operador**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ADAM, S. A.; JALIL, A. A. Vertical suspension seat transmissibility and seat values for seated person exposed to whole-body vibration in agricultural tractor preliminary study. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 170, n. 1, p. 435–442, 2017.
- BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 389p.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, C.; SILVA, J. C. Projeto **integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. Editora Manole, 2008. 648p.
- BARGER, E. L.; LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**. São Paulo: Edgard Blucher, 1966. 398p.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 – Anexo 8: vibrações**. Brasília, 1978. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14CDC9C6FC1/NR-15%20%28Anexo%20n.%C2%BA%2008%29%20Vibra%C3%A7%C3%B5es%20%282014%29.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2000. 272p.
- COLAURO, R.D.; BEUREN, I.M.; ROCHA, W. O custeio variável e o custeio-alvo como suportes às decisões de investimento no desenvolvimento de novos produtos. **Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, v.1, n.2, p. 33-42, 2004.
- CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, p. 348-355, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; SOUZA, C. M. A. de. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. Chile. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 25-34, 2012.
- CUTINI, M.; COSTA, C.; BISAGLIA, C. Development of a simplified method for evaluating agricultural tractor's operator whole body vibration. **Journal of Terramechanics**, v. 63, n. 2, p. 23–32, 2016.
- DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; WILLES, J. A. Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 779-784, 2004.
- DEBOLI, R.; CALVO, A.; PRETI, C. Comparison between ISO 5008 and field whole body vibration tractor values. **Journal of Agricultural Engineering**, Italy, v. 43, n. 8, p. 49-54, 2012.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Boletim Informativo: Balança Comercial Brasileira do Agronegócio. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/balanca-comercial/>. Acesso em: 25 abr. 2019.

FORCELLINI, F. A. **Projeto Conceitual**. EMC/UFSC, 2002. Apostila do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

FIGLIARESE, D. A.; SANDI, J.; MARASCA, I.; FERREIRS, F. M.; SPADIM, E. R.; LANÇAS, K. P. Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 9, p. 903-909, 2015.

HAUCK, Mathias. **Geregelte A Dämpfung für Traktor-fahrersitze**. 2001. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade de Berlin, Berlin, 2001.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. de M. **Ergonomia: projeto e produção**, 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016. 845p.

JESUINO, Paulo Roberto. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo**. 2007. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2007.

LANGER, T. H.; EBBESEN, M. K.; KORDESTANI, A. Experimental analysis of Occupational whole body-vibration exposure of agricultural tractor with large square baler. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Elsevier, v. 47, n.1, p. 79–83, 2015.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; OLIVEIRA, R. B. de. Avaliação de alguns fatores ergonômicos nos tratores feller-buncher e skidder utilizado na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 291-298, 2005.

MATTAR, D. M. P.; DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F.; DORNELLES, M. E. Conformidade de acessos e de saídas de postos de operação em tratores agrícolas segundo norma NBR/ISO 4252. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 74-81, 2010.

MARSILI, A.; RAGNI, L.; SANTORO, G.; SERVADIO, P.; VASSALINI, G. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. **Biosystems Engineering**, v. 81, n. 1, p. 35–47, 2002.

MÁRQUEZ, L. **Tractores agrícolas: tecnología y utilización**. 1. ed. Madrid: B&H, 2012,

MENDES, G. H. S.; TOLEDO, J. C. Gestão do pré-desenvolvimento de produto: estudo de casos na indústria de equipamentos médico-hospitalares. **Produção**, São Paulo, v. 22, n.1, p. 391-40, 2012.

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. 289p.

MONTEIRO, Leonardo de Almeida. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma EOCD – CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em**

pista concreto e solo agrícola. 2011. 85f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2011.

NIETIEDT, G. H.; RIBAS, RODRIGO L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; CASALI, A. L.; UHRY, D. Distribuição dos comandos de operação em tratores agrícolas nacionais com até 55 kW de potência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 690–695, 2012.

OLIVEIRA, Paulo Afonso Coppi Aquino de. **Modelagem da dinâmica vertical de coxins elastoméricos de motor através de métodos de redes neurais.** 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica de Máquinas e sistemas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OTTOSSON, S. Dynamic product development – DPD. **Technovation**, Elsevier, v.24, n.3, p. 207-217, 2004.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: A systematic approach.** 2.ed. London: Springer Verlag, 1996. 579p.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN J.; GROTE, K-H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos; métodos de aplicações.** São Paulo: Edgar Blucher, 2005. 411p.

PUGH, S. **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering.** Harlow: Addison-Wesley Publishing, 1991. 278p.

RAO, S. S. **Mechanical Vibrations.** Upper Saddle River: Pearson Education, Inc; 5. ed. 2011. 1105p.

ROMANO, Leonardo Nabaes. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Capítulo I, 2003, p. 4-10.

ROSSI, M. A; SANTOS, J. E. G. dos; SILVA, A. L. da. Conformidade ergonômica dos controles no posto de trabalho do operador de trator: Estudo de Caso Nh 7630. **Revista Científica de Design**, v. 2, n. 1, p. 152-157, 2011.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. de.; SILVA, S. L da.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

ROZIN, D.; SCHLOSSER, J. F.; WERNER, V. P.; GISMAEL F.; SANTOS, P. M. dos. Conformidade dos comandos de operação de tratores agrícolas nacionais com a norma NBR ISO 4253. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 1014-1019, 2010.

SALIBA, T. M. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional.** 3. ed. São Paulo: LTr, 2013. 496p.

SANDI, Jefferson. **Vibração incidente sobre o corpo inteiro do operador de trator agrícola ensaiado em pista de vibração com diferentes lastros, velocidade e pressão de**

inflação dos pneus. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

SANDI, J.; LANÇAS, K.P.; SANTOS, E. G.; SARTORI, M. M. P.; SILVA, R. L. Vibração mecânica em um trator agrícola ensaiado em pista padronizada. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 3, p. 215-222, 2016.

SANDI, Jefferson. **Avaliação da vibração incidente sobre o operador de trator agrícola em pista de ensaio padronizada, em pista de concreto e em condições de campo.** 2018. 44 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2018.

SANTOS FILHO, Paulo Fernando dos. **Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automáticos de dados.** 2002. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2002.

SANTOS FILHO, P. F.; FERNANDES, H. C.; QUEIRO, D. M.; SOUZA, A. P.; CAMILO, A. J. Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automáticos de dados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.

SANTOS, P. M.; SCHLOSSER, J. F.; ROMANO, L. N.; ROZIN, D.; TURATTI, J. C.; WITTER, M. Prioridades de requisitos para projeto de postos de operação de tratores quanto à ergonomia e segurança. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 869- 877, 2008.

SANTOS, Viviane Castro dos. **Vibração ocupacional em trator 4x2 TDA em função da pressão interna dos pneus e da superfície de rolamento.** 2016. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SCARLETT, A. J.; PRICE, J. S.; STAYNER, R. M. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. **Journal of Terramechanics**, Elsevier, v. 44, n. 1, p. 65-73. 2007.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, N. P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. **Biosystems Engineering**, Elsevier, v. 97, n. 2, p. 171-180, 2007.

SILVA, A. C.; C.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; RIBEIRO, L. C.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, R. R. D. Ruído e vibração no posto de operação de um trator agrícola em função da pressão dos pneus e velocidade operacional. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 454-458, 2017.

SILVEIRA, G. M.; SIERRA, J. G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 32-38, 2010.

SOBRAL, Graziela Ribeiro. **Evolução da indústria de tratores agrícolas no Brasil: estrutura de mercado e competitividade no período 1994 – 2008.** 2010. 122f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Econômicas), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.

SOEIRO, Newton Sure. Vibrações e o corpo humano: uma avaliação ocupacional. *In: Workshop de Vibrações e Acústica da Região Norte*, Tucuruí/PA, 2011, 10p.

VARANDAS JÚNIOR, A.; MIGUEL, P. A. C. Análise do processo de preparação da produção no desenvolvimento de novos produtos por meio de um estudo de caso em uma empresa do setor siderúrgico. **Produção**, Santa Catarina, v.22, n.2, p.185-200, 2012.

WALBER, Márcio. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais análise e modificação projetual**. 2009. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2009.

ZARDO, C. R.; BARBISAN, A. O.; BERTICELLI, N. Como desenvolver rapidamente produtos. **Revista Científica Metodológica**, São Paulo, v.5, n.2, p.41-53, 2016.

**APÊNDICE A - PISTA MAIS RUGOSA (ORDENADAS DE ELEVÇÃO EM
RELAÇÃO A UMA LINHA DE BASE)**

(continua)

D m	L mm	R mm	D m	L mm	R mm	D m	L mm	R mm	D m	L mm	R mm
0	160	90	4,24	85	90	8,48	125	110	12,72	100	75
0,08	160	115	4,32	85	90	8,56	115	115	12,8	90	95
0,16	165	140	4,4	115	75	8,64	125	110	12,88	85	75
0,24	155	135	4,48	145	55	8,72	140	100	12,96	75	55
0,32	135	135	4,56	150	55	8,8	125	95	13,04	85	65
0,4	135	115	4,64	125	50	8,88	115	90	13,12	90	70
0,48	140	100	4,72	110	55	8,96	110	75	13,2	95	55
0,56	145	95	4,8	90	55	9,04	110	70	13,28	100	50
0,64	150	90	4,88	75	65	9,12	100	45	13,36	115	50
0,72	140	85	4,96	50	50	9,2	100	25	13,44	135	50
0,8	135	75	5,04	50	50	9,28	100	5	13,52	140	65
0,88	135	90	5,12	55	40	9,36	85	40	13,6	145	75
0,96	135	100	5,2	55	20	9,44	65	50	13,68	150	90
1,04	125	95	5,28	55	20	9,52	65	65	13,76	140	85
1,12	120	95	5,36	55	20	9,6	70	75	13,84	115	75
1,2	120	95	5,44	50	25	9,68	70	85	13,92	100	90
1,28	115	95	5,52	45	25	9,76	75	90	14	95	100
1,36	120	100	5,6	45	25	9,84	75	75	14,08	90	95
1,44	125	110	5,68	50	30	9,92	85	75	14,16	85	90
1,52	135	100	5,76	45	40	10	100	75	14,24	90	70
1,6	115	90	5,84	45	50	10,08	115	75	14,32	95	50
1,68	90	95	5,92	45	45	10,16	115	75	14,4	55	45
1,76	70	95	6	40	40	10,24	115	75	14,48	25	40
1,84	50	90	6,08	55	30	10,32	120	90	14,56	40	30
1,92	50	75	6,16	90	25	10,4	125	100	14,64	50	25
2	55	65	6,24	100	30	10,48	125	90	14,72	55	45
2,08	70	50	6,32	100	40	10,56	135	75	14,8	55	45
2,16	85	40	6,4	95	50	10,64	90	95	14,88	75	55
2,24	85	45	6,48	85	70	10,72	45	125	14,96	90	70
2,32	85	55	6,56	70	90	10,8	45	135	15,04	110	75
2,4	85	55	6,64	50	110	10,88	45	125	15,12	135	90
2,48	75	55	6,72	40	125	10,96	45	115	15,2	120	95
2,56	75	65	6,8	40	110	11,04	45	85	15,28	100	100
2,64	75	75	6,88	30	90	11,12	50	55	15,36	95	100
2,72	95	85	6,96	30	65	11,2	65	50	15,44	100	85
2,8	115	90	7,04	25	45	11,28	75	40	15,52	115	65
2,88	135	75	7,12	25	40	11,36	95	70	15,6	110	50
2,96	150	65	7,2	30	20	11,44	115	95	15,68	100	40
3,04	165	70	7,28	50	25	11,52	150	120	15,76	100	65
3,12	160	75	7,36	65	30	11,6	190	145	15,84	110	90
3,2	135	75	7,44	75	40	11,68	170	125	15,92	115	85
3,28	125	55	7,52	85	45	11,76	150	115	16	120	75
3,36	115	40	7,6	75	65	11,84	125	95	16,08	125	90
3,44	115	45	7,68	75	90	11,92	100	75	16,16	140	100
3,52	120	50	7,76	70	100	12	100	70	16,24	125	90
3,6	110	55	7,84	90	95	12,08	100	65	16,32	115	75
3,68	100	70	7,92	100	95	12,16	90	55	16,4	110	90
3,76	110	75	8	115	110	12,24	95	55	16,48	100	100
3,84	110	75	8,08	125	115	12,32	115	65	16,56	100	95
3,92	90	65	8,16	135	115	12,4	110	70	16,64	95	85
4	75	55	8,24	135	115	12,48	100	70	16,72	115	115
4,08	75	75	8,32	125	110	12,56	110	65	16,8	145	140
4,16	75	90	8,4	125	100	12,64	115	65	16,88	150	150
16,96	160	145	21,28	135	100	25,6	100	70	29,92	210	235

(conclusão)

16,96	160	145	21,28	135	100	25,6	100	70	29,92	210	235
17,04	160	145	21,36	140	100	25,68	90	70	30	200	220
17,12	150	125	21,44	145	110	25,76	75	75	30,08	190	195
17,2	145	100	21,52	160	115	25,84	90	85	30,16	205	215
17,28	150	110	21,6	170	115	25,92	90	65	30,24	175	190
17,36	160	135	21,68	165	120	26	70	45	30,32	150	185
17,44	160	140	21,76	165	120	26,08	45	30	30,4	130	175
17,52	165	145	21,84	160	120	26,16	15	15	30,48	130	175
17,6	160	150	21,92	150	115	26,24	15	20	30,56	140	165
17,68	135	165	22	150	120	26,32	30	15	30,64	165	160
17,76	135	150	22,08	145	125	26,4	40	40	30,72	165	145
17,84	135	145	22,16	150	125	26,48	50	50	30,8	145	140
17,92	125	145	22,24	150	125	26,56	75	70	30,88	155	140
18	115	140	22,32	140	140	26,64	100	90	30,96	145	140
18,08	115	135	22,4	125	160	26,72	135	120	31,04	150	140
18,16	120	135	22,48	135	140	26,8	165	150	31,12	135	135
18,24	125	120	22,56	140	125	26,88	200	160	31,2	130	125
18,32	140	100	22,64	135	125	26,96	240	165	31,28	120	110
18,4	160	100	22,72	125	125	27,04	265	165	31,36	100	110
18,48	145	100	22,8	145	135	27,12	265	160	31,44	85	110
18,56	135	100	22,88	160	150	27,2	245	155	31,52	85	100
18,64	125	95	22,96	160	160	27,28	225	160	31,6	100	100
18,72	125	90	23,04	150	145	27,36	215	165	31,68	100	95
18,8	115	85	23,12	150	135	27,44	220	180	31,76	110	100
18,88	95	85	23,2	160	140	27,52	225	190	31,84	135	100
18,96	100	90	23,28	160	145	27,6	245	190	31,92	155	105
19,04	110	115	23,36	165	135	27,68	255	190	32	165	105
19,12	110	100	23,44	170	120	27,76	255	185	32,08	160	105
19,2	115	95	23,52	160	140	27,84	265	185	32,16	160	110
19,28	125	85	23,6	145	150	27,92	265	195	32,24	130	120
19,36	140	75	23,68	165	150	28	250	195	32,32	105	125
19,44	150	85	23,76	185	145	28,08	270	210	32,4	90	125
19,52	165	90	23,84	185	145	28,16	260	215	32,48	80	130
19,6	165	90	23,92	180	150	28,24	265	235	32,56	75	125
19,68	165	95	24	190	135	28,32	270	250	32,64	75	135
19,76	125	100	24,08	190	115	28,4	260	260	32,72	90	125
19,84	100	110	24,16	160	115	28,48	255	275	32,8	100	115
Linha L	13360		11830		16235		11875				
Linha R	10560		10005		13660		11445				

numero de peças	linhas	colunas	L x C
	109	4	
	1	3	3
Somatório das linhas			439
Somatório de L + R			878

A tabela é composta por 110 linhas, onde são 109 linhas com 4 colunas de dados para L e R, e 1 linha com 3 colunas de dados para L e R.