

DENIS EDUARDO CLAUDINO DE AZEVEDO

**Análise de processo de fabricação de bicicletas e aplicação de melhorias para redução de estoques**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do diploma de Engenheiro de Produção.

SÃO PAULO

2019



DENIS EDUARDO CLAUDINO DE AZEVEDO

**Análise de processo de fabricação de bicicletas e aplicação de melhorias para redução de estoques**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do diploma de  
Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Paulino Graciano  
Francischini

SÃO PAULO

2019



Dedicado a meus familiares, a meus amigos e  
àqueles com quem gostaria de ter convivido  
por mais tempo em vida e não tive a  
oportunidade: meus avós paternos, Romualdo  
(in memoriam) e Therezinha (in memoriam),  
e meu amigo Tiago (in memoriam).



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Angélica e Ramiro, por terem me proporcionado excelentes condições de vida e de formação e por seu amor incondicional a mim, além de todo o suporte oferecido ao longo de todos os anos de formação na Graduação.

Ao meu padrasto, Jair, por todos os anos de convívio, de ensinamentos e de oferecimento de oportunidades que me fizeram ser humano mais ético, respeitoso e cosmopolita. Às suas filhas Paula e Flora, que cumpriram o dever de irmãs com amor, diversão, carinho e respeito mútuo ao longo de toda a vida.

À minha madrastra Karen, por trazer alegrias com seu espírito jovial que não esperava experimentar e que foi um acréscimo positivo que recebi para o núcleo familiar nos anos recentes.

À minha família materna, em especial aos meus avós, Rivone e Valdecy, por dividirem seu grande conhecimento advindo de experiências de vida, por me apresentarem e fazerem amar a cultura e a vida do Nordeste do Brasil e por juntos terem concebido nossa família tão amorosa.

À minha família paterna, em especial meus avós, Romualdo e Therezinha, por todas as lições de superação a adversidades, de verdadeira generosidade e de simplicidade enquanto ser humano, valores louváveis que transbordaram pela família que construíram.

Ao meu tio avô, João, por ter provado seu amor a mim e por ter sido um grande parceiro para todos os momentos em que estive em Teresina. Também a ele e a meu avô Valdecy, por serem trabalhadores exemplares mesmo com as dificuldades que a idade lhes gera e por oferecerem a mim um vasto conhecimento de empreendedorismo na trajetória de vida em que construíram seus negócios.

Aos Diretores da Houston Bike, João Júnior e Virgínia, por terem apoiado a execução do projeto desde os primórdios e por terem oferecido enorme apoio e dedicação a mim, apresentando-me primorosamente o negócio.

A todos os colaboradores da Houston Bike, que fazem juntos um grande laboratório de Engenharia e uma fábrica de se impressionar em um local escasso de recursos para tornar este sonho possível.

Às equipes de Planejamento, Engenharia, Manutenção e do setor de Rodas da Houston Bike, por terem estado tão próximos a mim e por oferecerem seu tempo e conhecimento para me fazerem aprender a executar a Engenharia de Produção na prática. Em especial àqueles que mostraram grande solicitude na troca de informações, in loco e à distância: Rui, Edilson, Valdez e José Luiz.

A todos os meus amigos, que nos momentos bons e nos momentos ruins me proporcionaram experiências marcantes em nossas histórias e que perdurarão pela eternidade como símbolo da mais genuína amizade.

Aos politécnicos Guilherme, que me acompanhou desde os primórdios na Escola até o término de nosso ciclo de Graduação e me ensinou a não desistir tão facilmente do que é difícil de ser alcançado, e todos os membros e ex-membros da Equipe Poli Racing, pelo exemplar envolvimento conjunto no projeto que me ofereceu as mais ricas lições de aplicações de Engenharia, de respeito aos recursos disponíveis e de trabalho em equipe.

A todos os docentes da Escola Politécnica que foram meus professores, por terem dedicado seu tempo a me ensinar e a me oferecerem retorno sobre o meu desempenho para que eu pudesse cumprir minha missão de me tornar Engenheiro. Em especial ao Prof. Dr. Paulino Graciano Francischini, que esteve ao meu lado na orientação deste trabalho e me ensinou desde os primeiros dias na Escola a cumprir obrigações com organização e qualidade de conteúdo.





*“Remember to look up at the stars and not  
down at your feet. Try to make sense of  
what you see and wonder about what makes  
the Universe exist. Be curious.”*

Stephen W. Hawking



## RESUMO

O estudo teve por objeto uma fábrica de bicicletas instalada no Nordeste do Brasil em que se verificaram posições de estoques médios de produto em processo e de produto acabado consideradas elevadas por suas principais lideranças. A divisão de fabricação de aros de roda é considerada crítica ao processo global em razão de sua menor responsividade a picos de demanda e aos recursos produtivos nela envolvidos. Definiu-se por objetivo a redução das posições de estoques médias de bicicletas e do componente aro enraiado. Ao longo do período de um ano foram realizadas visitas à planta produtiva para análise e descrição dos processos, definição dos recursos críticos ao desempenho planejado e compreensão de oportunidades de melhoria. Para o estágio inicial de atingimento do objetivo, foram desenvolvidos um mapeamento de fluxo de valor e um fluxograma de processo da divisão de fabricação de rodas, seguidos pela criação de novas diretrizes de manutenção autônoma e de manutenção preventiva de equipamentos críticos, de plano de capacitação de colaboradores para operações complexas, de testes sobre equipamentos inativos, de proposição de novo *layout* para redução de perdas em etapas sem agregação de valor e de plano de rotatividade de uso de máquinas e robôs em suas novas posições, objetivando ganhos de produtividade de aros enraizados e de confiabilidade do processo. Espera-se a redução dos valores verificados dos indicadores de controle objetos do estudo, bem como a replicação dos procedimentos adotados a outras divisões e processos da fábrica para obtenção dos mesmos ganhos de produtividade e confiabilidade planejados do estudo.

Palavras-chave: Manutenção Produtiva Total, Planejamento Sistemático de Layout, estoques



## **ABSTRACT**

The study aimed at a bicycle factory installed in the Northeast region of Brazil in which average work in progress and finished goods inventory levels have been verified and were considered high by its key board members. The wheel rim manufacturing division is considered critical to the overall process due to its lower responsiveness to peak demand and the productive resources involved in it. The objective was set at reducing the average inventory levels of finished bicycles and of the laced rim component. Throughout the timeframe of a year, field visits were made to the production plant for analysis and description of processes, definition of key resources to planned performance levels and for the understanding of improvement opportunities. As an initial approach to the main goal, a value stream mapping and a process flowchart of the wheel manufacturing division were developed, followed by the creation of new autonomous maintenance and critical equipment preventive maintenance guidelines, the development of a training plan for collaborators towards complex operations, the testing of inactive equipment, the creation of a new layout proposal to reducing losses in stages without value addition and of a turnover plan for the usage of machines and robots in their new positions, aiming at laced rim productivity gains and process reliability. A reduction to the verified levels of the control indicators of this study is expected to be found, as well as future replication of the adopted procedures to other divisions and processes of the factory towards obtaining the same planned productivity and reliability gains of the study.

**Keywords:** Total Productive Maintenance, Systematic Layout Planning, inventory



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Componentes de roda de bicicleta. ....	19
<b>Figura 2</b> – Sentidos de furação e distância de excentricidade normatizados. ....	20
<b>Figura 3</b> – Pilares do Total Productive Maintenance.. ....	21
<b>Figura 4</b> – Relação de itens abrangidos por cada modalidade de manutenção. ....	23
<b>Figura 5</b> – Correlação de controle de qualidade, inspeção e manutenção preventiva à taxa de falhas.....	25
<b>Figura 6</b> – Simbologia do fluxo de processo do SLP. ....	26
<b>Figura 7</b> - Convenção gráfica para a elaboração de Mapeamento de Fluxo de Valor.....	27
<b>Figura 8</b> – Certificação ISO 9001:2008 da Bike do Nordeste S/A.....	31
<b>Figura 9</b> – Instalações da Bike do Nordeste S/A e Eletro do Nordeste S/A em Teresina, Piauí. ....	32
<b>Figura 10</b> - Diagrama de Pareto da produção de aros enraiadados da Houston Bike (2018).....	33
<b>Figura 11</b> - Histórico de vendas da Houston Bike.....	35
<b>Figura 12</b> – Estoque de aros enraiadados em condição de acúmulo. ....	39
<b>Figura 13</b> – Estoque de produto acabado na divisão de expedição da Houston Bike. ....	40
<b>Figura 14</b> – Diretrizes de manutenção preventiva para robôs de pré-tensionamento, alinhamento e tensionamento de aros enraiadados.....	41
<b>Figura 15</b> – Aros enraiadados de alumínio (esq.) e de aço cromado (dir.) tamanho 26, com 36 furos.....	43
<b>Figura 16</b> – Componente roda de alumínio (esq.) e de aço cromado (dir.) tamanho 26 finalizado. ....	44
<b>Figura 17</b> – Aro enraiado de alumínio tamanho 20, com 28 furos (esq.) e roda de alumínio tamanho 20 na forma enviada à linha de montagem (dir). ....	44
<b>Figura 18</b> – Abastecimento de raios e cubos na Hub Filling Station (HFS). ....	45
<b>Figura 19</b> – Inserimento de raio no processo de preenchimento de cubo (esq.) e saída de cubos preenchidos do processo (dir.).....	46
<b>Figura 20</b> – Aros de roda em processo armazenados nas estações móveis. ....	47
<b>Figura 21</b> – Enraiadador posicionando as extremidades livres dos raios nos furos dos aros.....	48
<b>Figura 22</b> – Robô realizando o alinhamento e tensionamento de aro enraiado.....	48
<b>Figura 23</b> – Estoque de aros enraiadados em alumínio tamanho 26. ....	49
<b>Figura 24</b> – Carrossel de conjuntos aros com câmara de ar para pré-embeijamento.....	50

<b>Figura 25</b> – Monovia de teto para colocação de pares de rodas finalizados, levados à linha de montagem.....	50
<b>Figura 26</b> – Layout atual da divisão de rodas da Houston Bike separada e numerada em suas unidades. ....	51
<b>Figura 27</b> – Árvore de desdobramento de indicadores de desempenho.....	58
<b>Figura 28</b> – Mapa de fluxo de valor elaborado sobre o processo na divisão de rodas.....	61
<b>Figura 29</b> – Modelo de fluxograma de processo histórico da Houston Bike.....	64
<b>Figura 30</b> – Legenda adotada para fluxograma de processo da divisão de rodas.....	65
<b>Figura 31</b> – Fluxograma de processo da divisão de rodas. ....	66
<b>Figura 32</b> – Selos de especificação de aros de fabricação interna. ....	67
<b>Figura 33</b> – Embalagens de perfil de alumínio de origem chinesa (esq.) e nacional (c.). ....	68
<b>Figura 34</b> – Cubo de roda de 36 furos dianteiro (esq.), pinos de fechamento de aro (c. esq.), niple de fixação de raios nos aros (c. dir.) e raios de roda dos modelos de aro 20 e aro 26 (dir.). .....	69
<b>Figura 35</b> – Fitas de aro (esq.) e câmaras de ar (c.) dos tamanhos 20 (internas) e 26 (externas) e pneus (dir.) dos tamanhos 20 (interno), 26 para o aro de alumínio (externo) e 26 para o aro de aço cromado (abaixo).....	70
<b>Figura 36</b> – Aro de aço cromado tamanho 26 importado. ....	70
<b>Figura 37</b> - Robô HFS preenchedor de cubos de roda. ....	73
<b>Figura 38</b> – Máquinas de enraimento dos modelos CL (esq.) e ISL (dir.).....	74
<b>Figura 39</b> – Robôs DF-A (esq.) e DC-F (dir.), posicionados em série na Houston Bike. ....	75
<b>Figura 40</b> – Robôs DC-C (esq.), DC (c.) e DA (dir.) de operação automatizada de alinhamento e de tensionamento.....	76
<b>Figura 41</b> – Modelo de instruções de trabalho afixado junto ao maquinário operado por colaboradores. ....	77
<b>Figura 42</b> – Modelo desenvolvido de diretrizes de manutenção autônoma.....	79
<b>Figura 43</b> – Distribuição de atividades de capacitação no cronograma. ....	81
<b>Figura 44</b> – Modelo de preenchimento de informações da etapa de experiência supervisionada. .....	82
<b>Figura 45</b> – Modelo de preenchimento informações da etapa de experiência sem supervisão. .....	83
<b>Figura 46</b> – Modelo de página da documentação desenvolvida para a capacitação de enraidores. ....	84
<b>Figura 47</b> – Especificações do agente lubrificante utilizado na Houston Bike.....	86



<b>Figura 48</b> – Modelo de diretrizes de manutenção preventiva desenvolvido para o maquinário da fabricante Holland Mechanics presente na Houston Bike. ....	88
<b>Figura 49</b> – Layout proposto para as linhas de enraimento, alinhamento e tensionamento de aros enraizados divisão de rodas da Houston Bike. ....	93
<b>Figura 50</b> – Plano de uso e rotatividade de máquinas de enraimento de aros. ....	95
<b>Figura 51</b> – Plano de uso e rotatividade de robôs pré-tensionamento, alinhamento e tensionamento de aros enraizados. ....	97
<b>Figura 52</b> – Guia de inserimento de raios do robô HFS de fabricação interna da Houston Bike. ....	105
<b>Figura 53</b> – Vista interna de furação de aros tamanho 26 de aço cromado (esq.) importado e de alumínio (dir.) fabricado internamente. ....	108
<b>Figura 54</b> – Gabaritos de análise de alinhamento (esq.) e de empeno (dir.) de aro enraiado. ....	109



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Dados amostrais dos grupos 1 e 2 de produtos processados pelas máquinas nova e usada, respectivamente. ....	28
<b>Tabela 2</b> – Parâmetros calculados do problema. ....	29
<b>Tabela 3</b> – Tempos de alinhamento e tensionamento de rodas observados em teste no robô DA. ....	90
<b>Tabela 4</b> – Tempos de alinhamento e tensionamento de rodas coletados no robô DC. ....	90
<b>Tabela 5</b> – Tempos de alinhamento e tensionamento de rodas coletados nos robôs DC e DA. ....	91



## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

MFV – Mapeamento de fluxo de valor

JIT – *Just In Time* – (abastecimento) na hora

NBR – Norma Brasileira

RCM – Reliability-Centered Maintenance – Manutenção Centrada em Confiabilidade

SLP – Systematic Layout Planning – Planejamento Sistemático de Arranjo Físico

TPM – *Total Productive Maintenance* – Manutenção Produtiva Total



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Definição do problema de estudo .....	16
1.2. Objetivo.....	16
1.3. Justificativa .....	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1. Normas ABNT .....	18
2.1.1. NBR 6952.....	18
2.1.2. NBR 14732 .....	19
2.2. <i>Total Productive Maintenance</i> .....	20
2.3. <i>Reliability-Centered Maintenance</i> .....	22
2.4. Manutenção preventiva.....	24
2.5. 5S .....	25
2.6. <i>Systematic Layout Planning</i> .....	26
2.7. Mapeamento de Fluxo de Valor.....	27
2.8. Teste de hipóteses comparativa de médias de grupos com $\sigma$ desiguais e desconhecidos, com tamanhos de amostra distintos.....	28
<b>3. EMPRESA E SITUAÇÃO ATUAL .....</b>	<b>30</b>
3.1. Empresa.....	30
3.2. Localização .....	31
3.3. Indústria no estado do Piauí.....	32
3.4. Dados do processo atual na divisão de rodas.....	33
3.4.1. Diagrama de Pareto de aros enraçados produzidos .....	33
3.4.2. Vendas históricas e sazonalidade .....	34
3.5. Problemas recentes enfrentados .....	35
3.6. Ações corretivas implementadas.....	36
3.7. Consequências observadas.....	38
3.8. plano de manutenção preventiva em vigor .....	41
<b>4. MÉTODO .....</b>	<b>42</b>
4.1. Modelos de aro enraçado estudados .....	43
4.1.1. Aros 26 de alumínio e de aço cromado .....	43
4.1.2. Aro 20 de alumínio .....	44
4.2. Levantamento do processo da divisão de rodas e causas de estoques elevados .....	45
4.2.1. Processo de fabricação de aro enraçado.....	45

4.2.2.	Layout atual.....	50
4.2.3.	Causas de estoques elevados.....	52
4.3.	Levantamento de indicadores relevantes.....	55
4.4.	Desenho de mapa de fluxo de valor da divisão de rodas.....	59
4.5.	Definição de gargalos do processo.....	62
4.6.	Desenho de fluxograma completo da divisão de rodas.....	63
4.7.	Definição de recursos produtivos críticos da divisão de rodas.....	67
4.7.1.	Matéria-prima.....	67
4.7.2.	Recursos Humanos.....	71
4.7.3.	Equipamentos.....	71
4.8.	Reelaboração de documentação de manutenção autônoma.....	76
4.9.	Elaboração de plano de capacitação para a operação de enraimento.....	80
4.10.	Reelaboração de plano de manutenção preventiva.....	84
4.11.	Teste em robô de alinhamento desativado.....	89
4.12.	Proposição de novo layout.....	91
4.13.	Elaboração de plano de uso e rotatividade de maquinário.....	93
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO E RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>99</b>
5.1.	Limitações à produção puxada plena.....	99
5.2.	Tecnologia aplicada e matéria-prima utilizada.....	100
5.3.	Nova documentação.....	101
5.4.	Capacitação para a operação de enraimento.....	103
5.5.	Aprofundamento do nível de controle e ação em manutenção preventiva.....	104
5.6.	Teste em robô de alinhamento desativado.....	106
5.6.1.	Contexto de desativação e mudanças de produção.....	106
5.6.2.	Sujeição a maiores riscos de quebras e paradas de robôs de alinhamento.....	107
5.6.3.	Análise de resultados.....	108
5.6.4.	Consequências e limitações para retorno ao uso regular.....	110
5.7.	Layout proposto e rotatividade de maquinário.....	110
5.7.1.	Conjuntos de máquinas de enraimento e robôs de alinhamento e tensionsmento idealizados.....	110
5.7.2.	Alternância de maquinário.....	112
5.7.3.	Reduções de capacidade previstas.....	113
5.8.	Redução de custos prevista.....	113
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>115</b>
6.1.	Futuras aplicações.....	116



<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>117</b>
<b>8. APÊNDICES .....</b>	<b>121</b>
8.1. Modelo de diretrizes de manutenção autônoma para operador de robô HFS. ....	121
8.2. Modelo de diretrizes de manutenção autônoma para operador de máquina de enraçamento. ....	122
8.3. Modelo de plano de manutenção preventiva para robô HFS .....	123
8.4. Modelo de plano de manutenção preventiva para máquina de enraçamento .....	124
8.5. Modelo de plano de manutenção preventiva para robô alinhador e tensionador.....	125



## 1. INTRODUÇÃO

O mercado nacional de bicicletas sofreu retração entre 2013 e 2018, de forma que a empresa Bike do Nordeste S/A, conhecida pelo nome fantasia Houston Bike, se viu obrigada a redimensionar sua produção e desligar duas de suas três linhas de montagem no ano de 2014, além de melhorar a previsão de demanda e seu atendimento de pedidos para evitar acúmulos de estoques em processo e de produto acabado que ultrapassassem os limites de seu espaço físico. Após o replanejamento, a estrutura de sua planta de fábrica localizada em Teresina, Piauí, passou a ter capacidade de entrega de 1750 bicicletas nas linhas de montagem por turno diário.

Soma-se às mudanças de mercado a inevitável deterioração do maquinário em decorrência do tempo de uso e do local da instalação. Destaca-se o maquinário presente na divisão de fabricação de rodas, que até o fim de 2018 recebia reparos sobretudo de caráter corretivo, responsivos a maus funcionamentos ou falhas efetivas observados, em detrimento de planos de manutenção preditiva ou preventiva elaborados. A necessidade de atenção sobre a fabricação de rodas recaí sobre o fato de haver demanda dobrada deste componente em relação à demanda de bicicletas montadas com aros enraçados, haja visto que cada bicicleta leva duas rodas.

É nesta divisão, também, que se concentram as dificuldades mais latentes da empresa. Nela são realizadas as etapas de conformação e fabricação de aros, preenchimento de cubos de roda, enraçamento de aros, alinhamento e tensionamento de aros enraçados e embeijamento de aros enraçados. Há alternância entre estas etapas na condição de gargalo produtivo a depender da disponibilidade de recursos em cada uma delas, seja por paradas de máquinas ou por ausência de operadores em férias ou por faltas.

Sendo as limitações de recursos duradouras no tempo, a divisão de rodas fica sujeita ao não cumprimento de demanda interna da fábrica pelo componente roda montada, que é encaminhado para a linha, e conseqüentemente pode causar também o não atendimento da demanda externa com apenas um turno de trabalho em um dia. Como exemplo, houve em 2018 a necessidade da adoção de um segundo turno noturno de 6h, com 4 operadores de enraçamento, para que a demanda por rodas fosse atendida.

O contorno dos problemas observados no ano de 2018 foi feito a partir de mudanças na estratégia de produção definidas pela Diretoria junto à Engenharia e ao Planejamento da Houston Bike, e o plano foi implementado entre os meses de outubro de 2018 e julho de 2019. O principal objetivo era o da eliminação do trabalho noturno em 2019, tendo sido este alcançado com sucesso; como consequência da estratégia, porém, foi gerado um descompasso observável

entre as posições de estoques (tanto de produto acabado quanto de produto em processo) e a demanda sazonal do mercado que a Houston Bike atende.

Para os próximos anos de operação, a Houston Bike deseja aprimorar o controle sobre as etapas de fabricação na divisão de rodas para além do patamar atingido com a implementação do plano mais recente, e adotar novas medidas que possam refletir em maior produtividade. A Diretoria também compreende a necessidade de se trabalhar com maior giro estoques ao longo do ano e assim o deseja, o que implica mudanças na estratégia de produção constante, definida para 2018 e 2019, para outra, com reduções e aumentos na capacidade da planta em maior sintonia com a demanda prevista pelo Planejamento e dentro de margens de segurança de estoques.

### **1.1. Definição do problema de estudo**

Em decorrência das medidas tomadas em 2018 e 2019, os problemas antes existentes na Houston Bike foram sanados sob ponto de vista de cumprimento dos objetivos então estabelecidos. O resultado delas, porém, gerou como consequência o problema que será o objeto do estudo é o de **excessos de estoques de aros enraçados e de bicicletas para expedição**.

### **1.2. Objetivo**

O objetivo decorrente do problema a ser tratado é o de se **reduzir níveis de estoques médios de produto em processo do setor de rodas (aro enraçado) e de produto acabado para expedição (bicicletas)**.

Destaca-se, porém, que seu atingimento pleno é dependente de outras ações a ocorrerem em outras divisões da fábrica da Houston Bike, bem como de decisões estratégicas, comerciais e mercadológicas não compreendidas neste estudo.

### **1.3. Justificativa**

Com relação à operação da fábrica, mudanças implementadas que visem a diminuição de estoques médios de produto em processos e de produto acabado servem à redução de 4 dos 7 desperdícios do *lean manufacturing*:

- Estoques;
- Superprodução;

- Transportes;
- Movimentação

As consequências esperadas seriam a de melhoria da eficiência produtiva e a de redução de custos para a empresa. Sob o ponto de vista de negócio, a maior eficiência costuma ser acompanhada por uma melhora no resultado do exercício da empresa. A Diretoria manifesta preocupação com a divisão de rodas baseada não apenas nas atuais deficiências do processo, mas em última instância na sua condição crítica dentro da fábrica para a reversão em lucros e em competitividade da Houston Bike no mercado de bicicletas do Brasil.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Normas ABNT**

Existem normas definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que regularam a terminologia utilizada e que padronizam resultados de inspeção por amostragem para aros de bicicleta no Brasil.

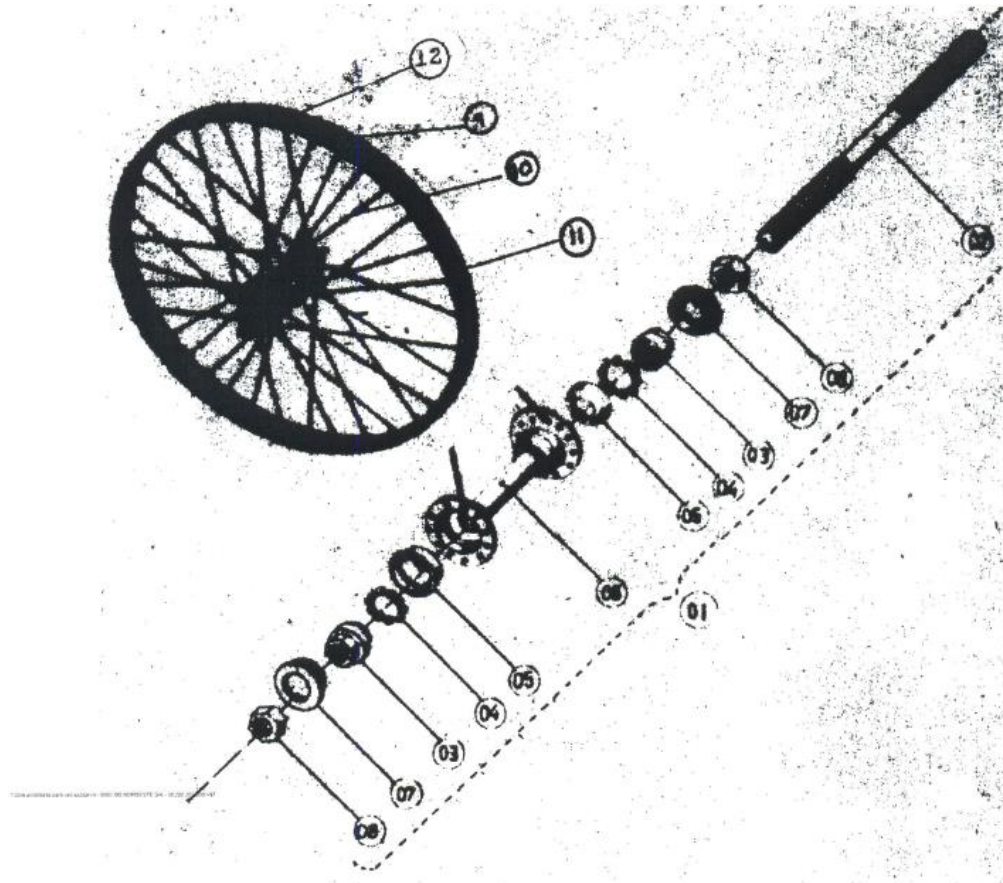
#### **2.1.1. NBR 6952**

A Norma Brasileira (NBR) 6952 versa sobre a terminologia envolvida na manufatura de bicicletas no Brasil, além de definir o equipamento como sendo um “veículo de propulsão humana dotado de no mínimo duas rodas, cujo condutor dirige em posição montada” (ABNT, 1981). O item 2.2.6 da norma especifica a nomenclatura padrão dos itens componentes das rodas de bicicletas, destacando-se dentre eles:

1. Cubo;
2. Niple;
3. Raio;
4. Aro;
5. Protetor da câmara de ar.

Não se encontra prevista na norma a nomenclatura adotada para as rodas plásticas, utilizadas em modelos de bicicleta infantis e produzidas por processos de injeção de plástico. A Figura 1 ilustra os componentes de roda de bicicleta dianteira e uma vista explodida de um cubo, além de expor a nomenclatura completa envolvendo os itens supracitados e os componentes internos do cubo destacados.

**Figura 1** – Componentes de roda de bicicleta.



- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1 - Cubo                     | 7 - Protetor do rolamento     |
| 2 - Eixo                     | 8 - Contraporca               |
| 3 - Cone do cubo             | 9 - Niple                     |
| 4 - Esferas                  | 10 - Raio                     |
| 5 - Caixa de esferas do cubo | 11 - Aro                      |
| 6 - Corpo do cubo            | 12 - Protetor da câmara de ar |

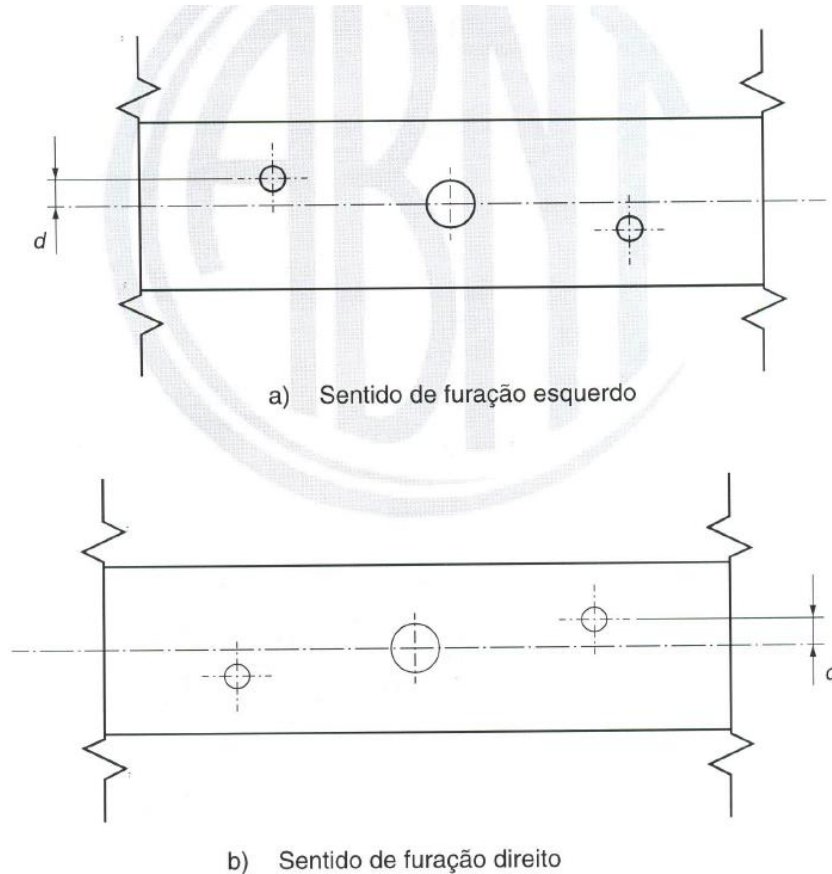
Fonte: ABNT (1981).

### 2.1.2. NBR 14732

A NBR 14732 define parâmetros de furação, empeno, diâmetro e resistência a aplicação de cargas do aro enraiado que devem ser verificados para que sua qualidade seja atestada. Em relação à furação, destaca-se a recomendação pela produção de aros cujos furos para raios seguidos entre si, ao longo da volta do aro, se alternem em posições em relação a seu plano central, tendo seus pontos centrais separados deste por ao menos 0,4 mm cada. A Figura 2 mostra as modalidades de furação esquerda e direita em relação ao furo da válvula da câmara

de ar ilustra a alternância de posição de furos e a distância  $d$ , utilizada como medida da excentricidade normatizada.

**Figura 2** – Sentidos de furação e distância de excentricidade normatizados.



Fonte: ABNT (2013).

## ***2.2. Total Productive Maintenance***

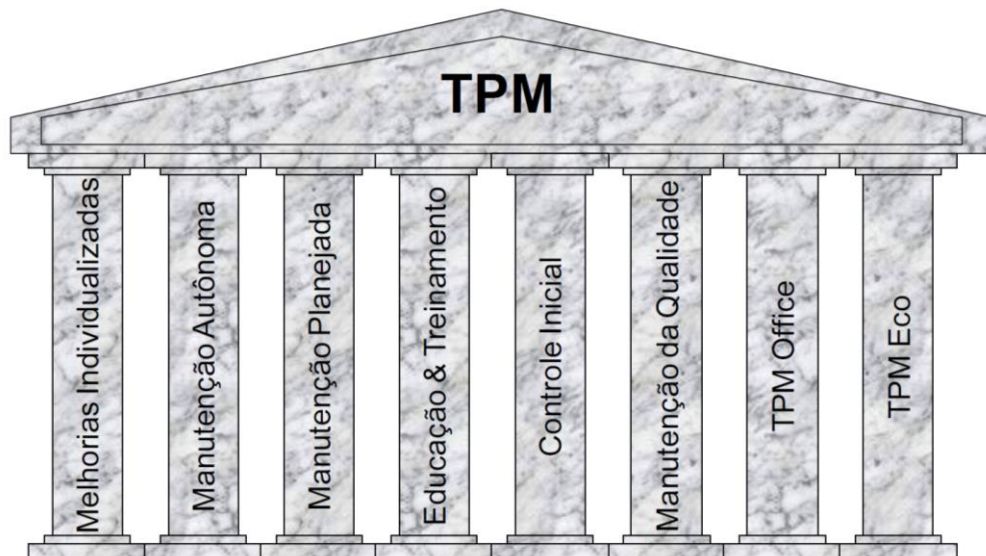
Conforme descrito por Francischini (2017), o programa de Manutenção Produtiva Total (TPM) envolve a participação coletiva de todos os níveis da empresa no cuidado com os bens de produção, promovendo sua manutenção em caráter respeitoso e abrangente no sentido de não se resumir à responsabilidade exclusiva de uma divisão particular no ambiente produtivo, geralmente nomeado por Manutenção. Caracteriza-se pela estruturação e aplicação de medidas que objetivam cinco pontos:



1. Alcance de taxas de falha zero;
2. Alcance de taxas de acidentes zero;
3. Alcance de taxas de poluição zero;
4. Integração entre a produção e a manutenção;
5. Maximização da produtividade da empresa

A Figura 3 ilustra a representação visual dos pilares do programa, desenvolvido por Nakajima (1971).

**Figura 3** – Pilares do Total Productive Maintenance..



Fonte: Francischini (2017).

O programa é sustentado por 8 pilares, que podem ser resumidos por:

1. Melhorias individualizadas: alterações no processo que gerem mudança para melhor, sob metodologia proposta a partir da palavra japonesa 'kaizen' de mesmo significado, com análise de problemas e causas-raiz seguidas de implementações que os eliminem ou reduzam.
2. Manutenção autônoma: atribuição de responsabilidade paternal do operador sobre a máquina com que trabalha, de forma que execute sua limpeza, sua lubrificação e sua inspeção de forma padronizada e internalizada, com frequência definida.

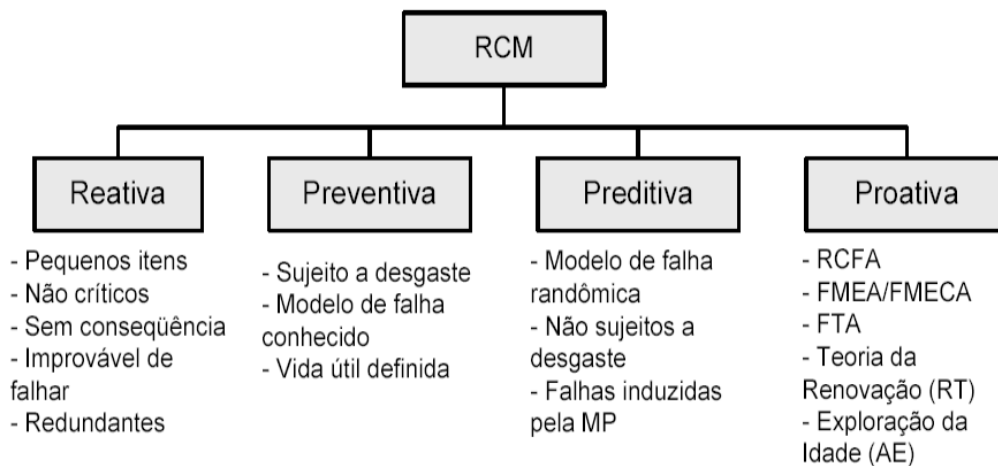
3. Manutenção planejada: adoção de práticas que promovam o aumento de serviços de manutenção definidos por cronograma em substituição à necessidade de atuação corretiva, de modo que esta se torne infrequente ou inexistente, em cenário ideal.
4. Educação e treinamento: promoção de meios e ferramentas planejados de capacitação e treinamento para atividades específicas dentro do processo produtivo, de forma a se explorar todo o potencial dos conjuntos de máquina e operador existentes para ganhos de produtividade.
5. Controle inicial: aplicação de conhecimento adquirido com a implementação de atividades voltadas ao TPM para a melhoria na seleção e no projeto de equipamentos necessários à produção, comunicando eventuais necessidades de alterações em componentes aos fabricantes.
6. Manutenção da qualidade: meios de se assegurar o padrão desejado para o produto que envolvam diretamente a qualidade do equipamento utilizado, a qualidade da mão de obra executora do processo, a qualidade do material utilizado e beneficiado e a qualidade do processo em si.
7. TPM Office: redução de atividades ligadas à coleta e uso de informações em atividades administrativas que não agreguem valor aos processos executados e adoção de práticas aplicadas no ambiente produtivo que sejam adaptáveis ao ambiente de gestão do negócio.
8. TPM Eco: utilização de ferramentas, equipamentos e padrões de execução de operações que garantam a segurança do trabalho e a saúde do operador, bem como de outras partes envolvidas no processo, de forma a se atingir os objetivos de acidentes zero e de poluição zero.

### ***2.3. Reliability-Centered Maintenance***

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) elaborada por Nowland e Heap (1978) visa o encontro dos melhores meios de se manter determinado equipamento em funcionamento em seu ambiente de operação. Os autores propõem a identificação inicial da função do equipamento analisado no sistema, seguida de uma análise de seus modos de falha com uso das ferramentas Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) e Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) para que se chegue, ao final, aos efeitos da falha e às suas consequências negativas sobre a operação do equipamento.

Seixas (200-) aponta que, sob a modalidade do RCM, o conjunto de atividades de manutenção corretiva ou reativa, preventiva, preditiva e proativa atua em conjunto e tem o fim de se atingir melhores níveis de produtividade e a redução de custos de operação de equipamentos. A Figura 4 apresenta os principais tipos de itens a serem cobertos sob cada modo de manutenção levantado.

**Figura 4** – Relação de itens abrangidos por cada modalidade de manutenção.



Fonte: Seixas (200-).

O autor destaca que uma estruturação adequada de RCM deve se propor a responder uma seqüência de sete questionamentos com o objetivo de se atingir o conhecimento completo das falhas ocorridas e de suas consequências e seus níveis de criticidade para o processo. As perguntas representativas destes pontos a serem respondidos se dão por:

1. Quais as funções do sistema/equipamento e os padrões de desempenho associados?
2. Como o sistema pode falhar ao realizar essas funções?
3. O que pode causar a falha funcional?
4. O que acontece quando uma falha ocorre?
5. Quais podem ser as consequências quando da ocorrência da falha?
6. O que pode ser feito para detectar e prevenir a ocorrência da falha?
7. O que deverá ser feito se uma tarefa de manutenção não pode ser identificada?

As ferramentas FMEA e FMECA são úteis à descoberta das informações questionadas nas perguntas 1, 2, 3, 4 e 5, enquanto a criação de um fluxograma de tomadas de decisão sob a metodologia do RCM elaborado para a avaliação do equipamento avaliado pode responder os questionamentos 6 e 7 (SEIXAS, 200-).

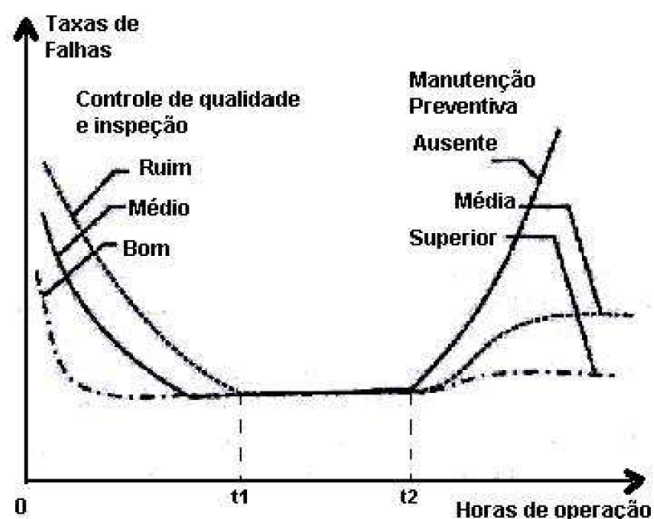
#### **2.4. Manutenção preventiva**

A modalidade de manutenção em caráter preventivo visa a não exposição do equipamento a uma condição de operação em que há probabilidade calculável crescente na taxa de falhas de seus componentes críticos à operação. Lafraia (2001) identifica a aderência de dados de falha no tempo coletados em campo a uma distribuição de Weibull, de forma a se possibilitar o cálculo da taxa de falha probabilística de componentes em função do tempo decorrido desde sua instalação no equipamento sob esta distribuição. Com isto, o tempo  $t$  de operação é observável em três fases distintas, em função do parâmetro de forma da curva (LAFRAIA, 2001):

1.  $0 < t \leq t_1$ : parâmetro de forma  $< 1$  – fase de falhas prematuras;
2.  $t_1 < t \leq t_2$ : parâmetro de forma  $= 1$  – fase de maturidade;
3.  $t > t_2$ : parâmetro de forma  $> 1$  – fase de desgaste.

Para a fase de falhas prematuras, o autor sugere a atuação sob estratégia de manutenção corretiva; para a fase de maturidade, a estratégia julgada mais apropriada é a de combinação entre a manutenção preditiva e a gestão de boas práticas aplicadas à manutenção. A manutenção preventiva é entendida como mais adequada ao cenário da fase de desgaste dos equipamentos, acima de um tempo  $t_2$  em que se verifica mudança no padrão de forma da curva para uma orientação crescente. Lafraia (2001) aponta que cronogramas de manutenção preventiva são habitualmente produzidos pela interpretação de dados e instruções provenientes dos manuais fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, unidos a relatos de experiência prática de competências de divisões de Manutenção nas empresas. A Figura 5 relaciona os níveis de manutenção preventiva, bem como os de controle de qualidade e inspeção, e a seus efeitos sobre a taxa de falhas observáveis em formato de curva da banheira.

**Figura 5** – Correlação de controle de qualidade, inspeção e manutenção preventiva à taxa de falhas.



Fonte: Lafraia (2001).

## 2.5. 5S

A filosofia 5S preza pela atitude voltada à preservação do ambiente de trabalho por parte dos operador e dos demais agentes manutentores do espaço de produção. Francischini (2017) também aponta como objetivos do 5S a melhora em produtividade, a identificação visual de inconformidades, a colaboração entre partes, a redução de acidentes de trabalho, a elevação do moral dos colaboradores e a redução de custos em última instância. Oriunda de 5 palavras japonesas na composição de sua sigla, o 5S pode ser resumido pelas ideias (FRANCISCHINI, 2017):

1. Seiri – Senso de utilização: separação entre o útil e o inútil;
2. Seiton – Senso de organização: designação de locais para cada objeto e sua correta disposição a todo tempo;
3. Seiso – Senso de limpeza: manutenção do local de trabalho limpo;
4. Seiketsu – Senso de higiene e padronização: ausência de improvisos e com limpeza das áreas comuns
5. Shitsuke – Senso de disciplina: preservação de bons hábitos de limpeza, higiene e ordem.

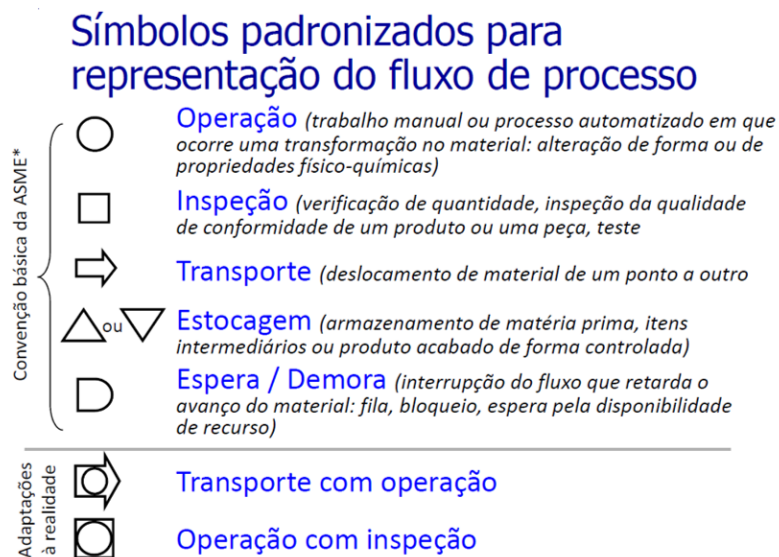
## 2.6. Systematic Layout Planning

A ferramenta de Planejamento Sistemático de *Layout* (SLP) foi desenvolvida para se produzir arranjos físicos que ofereçam maior eficiência produtiva e maior agregação de valor relativa ao tempo de processamento total do material beneficiado nas operações envolvidas. Algumas informações relativas ao processo devem servir de dados de entrada ao SLP (MIYAKE, 2016):

1. Produto;
2. Quantidade;
3. Roteiro;
4. Serviços de Suporte;
5. Tempo.

Como etapa inicial, o SLP tem definida a análise de fluxo de pessoas no espaço físico, de fluxo de materiais consumidos no processo e de fluxo de informações. Em relação ao fluxo de processo, convencionou-se a utilização de simbologia representativa dos possíveis estados do produto em processo e a ser sequenciada em modelos de fluxogramas verticalizados. Estes são definidas por operação, inspeção, transporte, estoque e espera, podendo também haver sobreposição entre transporte e operação ou entre inspeção e operação em cenários reais de produção. A Figura 6 demonstra a simbologia padronizada e descritiva das atividades e estados do material em processo

**Figura 6** – Simbologia do fluxo de processo do SLP.

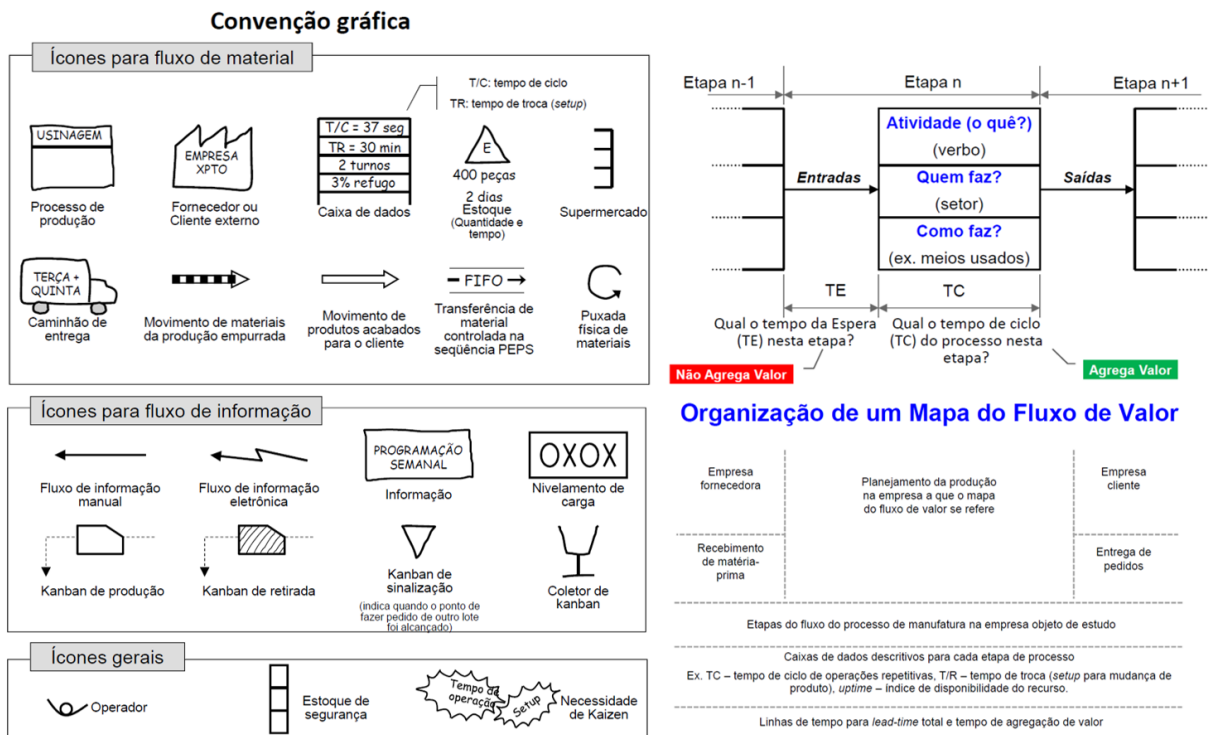


Fonte: Miyake (2016).

## 2.7. Mapeamento de Fluxo de Valor

A ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) serve à análise de tempo de atravessamento de matéria-prima e de tempo de valor agregado ao produto processado no local de sua produção, em um dado momento selecionado para elaboração do modelo (MIYAKE, 2017). Utiliza-se, para tanto, a convenção gráfica de Rother e Shook (1999) e apresentada resumidamente pela Figura 7.

Figura 7 - Convenção gráfica para a elaboração de Mapeamento de Fluxo de Valor.



Fonte: adaptado de Miyake (2017).

A utilização da ferramenta serve à descrição do estado de produção de uma determinada família de produtos tomada para análise, em um dado momento do tempo, e a elaboração de um estado futuro desejado do sistema para comparação com o estado verificado e tomado por base. Para o desenvolvimento completo, propõe-se seu desenvolvimento em 6 etapas:

1. Definição do objeto do estudo;
2. Coleta de dados relativos ao momento da análise no fluxo;
3. Desenho do mapa de fluxo de valor de momento e segmentação entre etapas com agregação de valor e sem agregação de valor;

4. Formulação de ideias para resolução com respeito à demanda e takt time a serem cumpridos, para cada modelo;
5. Elaboração de mapa de fluxo de valor de estado futuro, com destaque para metas voltadas à produção enxuta;
6. Criação de planos de ação com melhorias para atingimento do estado futuro pretendido.

### 2.8. Teste de hipóteses comparativa de médias de grupos com $\sigma$ desiguais e desconhecidos, com tamanhos de amostra distintos

Moraes (2015) formula uma análise de médias de dois grupos de amostras, de tamanhos distintos, em contexto de produção industrial. O autor realiza uma avaliação comparativa de desempenho entre duas máquinas beneficiadoras do mesmo produto, uma nova e outra usada, ao valor de  $p < 0,05$  e com uso da distribuição t de Student para os dados do problema. As amostras utilizadas se dividem por:

- Massa de enchimento (kg) da máquina 1 (nova):  
0,82 0,83 0,79 0,81 0,81 0,80
- Massa de enchimento (kg) da máquina 2 (usada):  
0,79 0,82 0,73 0,74 0,77 0,75 0,84 0,78

A formulação do teste de hipóteses para se analisar a diferença entre valores médios  $\mu_1$  e  $\mu_2$  dos grupos foi feita sob no modelo bicaudal, sob as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \\ H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \end{cases}$$

Os dados amostrais de ambos os grupos encontram-se resumidos pela Tabela 1.

**Tabela 1** – Dados amostrais dos grupos 1 e 2 de produtos processados pelas máquinas nova e usada, respectivamente.

$n_1$	6	$n_2$	9
$\bar{x}_1$	0,81	$\bar{x}_2$	0,78
$s_1$	0,014	$s_2$	0,036



$$\frac{s_1^2 \quad 0,00020 \quad s_2^2 \quad 0,00135}{\quad}$$

Fonte: Moraes (2015)

O cálculo dos parâmetros  $w_1$ ,  $w_2$ , dos graus de liberdade e de  $t_{calc}$  são feitos por:

$$w_1 = \frac{s_1^2}{n_1} \quad ; \quad w_2 = \frac{s_2^2}{n_2} \quad ; \quad \nu = \frac{(w_1 + w_2)^2}{w_1^2/(n_1+1) + w_2^2/(n_2+1)} - 2 \quad \text{e} \quad t_{calc} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2)^2}{\sqrt{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}}$$

Os resultados calculados para os parâmetros são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Parâmetros calculados do problema.

$w_1$	0,000033
$w_2$	0,000015
$\nu_{calc}$	11,95
$t_{calc}$	2,216

Fonte: Moraes (2015)

Para  $\alpha = 5\%$  a ser testado no teste bicaudal, o valor correspondente de  $t$  na tabela  $t$  de Student para  $\nu = 12$ , corrigido a partir do valor de  $\nu_{calc}$ , foi de  $t_{12; 2,5\%} = 2,216$ . Uma vez que se verificou que  $t_{12; 2,5\%} < t_{calc}$ , a conclusão do autor foi, portanto, de rejeição da hipótese nula ao valor de  $p < 0,05$  e aceitação que a máquina usada produz o bem com massa de enchimento média inferior à da máquina nova.

### **3. EMPRESA E SITUAÇÃO ATUAL**

#### **3.1. Empresa**

A Houston Bike surgiu no ano de 1993 a partir do desejo do Grupo Claudino de investir no mercado de bicicletas, expandindo suas atividades para além dos setores em que já atuava. Em uma fábrica de dimensões reduzidas, a empresa produziu volumes pequenos e criou protótipos que mais tarde viriam a ser produzidos em larga escala.

Em 2000 ocorreu a mudança das instalações para os galpões em que atualmente se encontra, e com isso houve o início da consolidação da estrutura e da marca hoje conhecida. No ano em que 10 anos de operação na planta atual foram completados, a Houston Bike celebrou a marca de 5 milhões de bicicletas produzidas, atingida durante o auge de sua produção então dimensionada para o triplo da capacidade atual de entrega de bicicletas. Além do aproveitamento quase pleno dos recursos da planta de fábrica, a empresa também fez parte de trabalhos de reinserção social de presidiários, enviando-lhes materiais para trabalho remunerado na execução de etapas de produção de bicicletas, dentre elas algumas voltadas à fabricação de rodas.

A empresa conta hoje com 515 funcionários em seu quadro, distribuídos entre a fábrica de bicicletas em Teresina-PI e o centro de distribuição em Jundiaí-SP. Na planta de fábrica estudada são realizados os processos de fabricação de quadros, garfos e rodas a partir de matéria-prima nacional e importada, além de etapas de lavagem e pintura de quadros. Ao final, produtos em processo pré-fabricados e componentes adquiridos de terceiros são combinados na linha de montagem para a entrega de bicicletas completas, estas sendo o produto acabado da Houston Bike para expedição. Observa-se infraestrutura e organização do ambiente de produção acima da média no ramo industrial da região Nordeste do Brasil, porém há questões que inviabilizaram a manutenção do padrão de trabalho desejado pela Diretoria, pelo Planejamento e pela Engenharia da empresa com o passar dos anos.

Seu portfólio apresenta 38 modelos. A empresa atende todo o mercado nacional e faz uso de suas instalações de Jundiaí para auxílio logístico envolvendo entregas destinadas às regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

A Bike do Nordeste S/A conta com certificação ISO 9001:2008 sob o registro BR013965-1 de 28/05/2012. A Figura 8 apresenta o certificado afixado em mural do galpão de linha de montagem da Houston Bike.

**Figura 8** – Certificação ISO 9001:2008 da Bike do Nordeste S/A.



Fonte: autor.

### 3.2. Localização

A planta de fábrica sobre a qual é realizado o estudo se encontra no Distrito Industrial da cidade de Teresina, no estado do Piauí. Conta com área construída de 40.000 m<sup>2</sup> dedicada exclusivamente à produção e armazenagem de bicicletas e componentes. O terreno também conta com o galpão destinado às atividades da Eletro do Nordeste S/A e de injeção de plástico para a produção de componentes da Houston Bike. O endereço das empresas está registrado em Rua Dona Francisca Claudino 785/S – Distrito Industrial – Teresina, PI – CEP 64027-455.

A Figura 9 traz uma fotografia de satélite das instalações da Bike no Nordeste S/A e da Eletro do Nordeste S/A, disponível na plataforma Google Maps.

**Figura 9** – Instalações da Bike do Nordeste S/A e Eletro do Nordeste S/A em Teresina, Piauí.



Fonte: Google Maps.

### 3.3. Indústria no estado do Piauí

A atividade industrial do Piauí é pouco representativa do montante produzido pelo setor no país. PIB industrial do estado é de R\$ 4,7 bilhões, o que representa 0,4% da composição do PIB industrial nacional e 12,7% da composição de todo o PIB do Piauí (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2016).

O fornecimento de matéria-prima para o Piauí é altamente dependente de outras regiões do Brasil, sobretudo do Sudeste e, no caso específico da Houston Bike, do estado de São Paulo para a matéria-prima de origem nacional. O estado, no entanto, é deficitário na infraestrutura rodoviária, sem que haja ligações entre a capital Teresina e outras regiões do estado ou a outras capitais por rodovias duplicadas. O Piauí apresenta o menor índice estadual de rodovias duplicadas, com apenas 0,4% (CNT, 2014).

Ainda que haja fornecedores nos estados do Piauí e do Ceará, a qualidade do produto, as melhores condições para compras em volume e o cumprimento de prazos mais assertivo dos concorrentes mais distantes são ganhadores de pedido e compensam o frete mais elevado das encomendas para garantir as operações da fábrica no entendimento da empresa. Os prazos de entrega de matéria-prima nacional variam entre 15 e 45 dias. Há também a importação de componentes para montagem das bicicletas da Houston Bike, concentradas em fornecedores da China. A chegada do material importado ocorre pelo porto de Fortaleza-CE e o prazo entre a aprovação de um pedido e a chegada às dependências da fábrica é de aproximadamente 120 dias.

A relação custo-benefício da mão-de-obra disponível na região de Teresina-PI, Timon-MA e outras localidades em um raio de 40 km é tida pela Houston Bike como menos vantajosa na

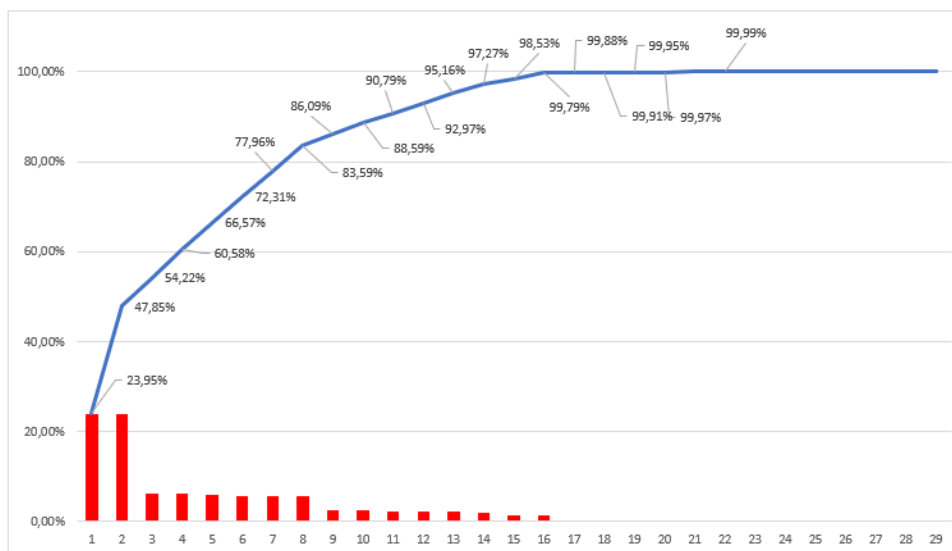
comparação com outras localidades do Brasil em que as holdings Grupo Claudino e SOCIC, acionistas da empresa, praticam ou praticaram atividades industriais no passado, como as regiões de Manaus-AM e do interior do estado de SP. A Diretoria da empresa atribui esta percepção ao que identifica como uma ausência de cultura industrial na região.

### 3.4. Dados do processo atual na divisão de rodas

#### 3.4.1. Diagrama de Pareto de aros enraizados produzidos

Para definição e visualização dos modelos mais representativos de vendas da Houston Bike, elaborou-se um Diagrama de Pareto com base no histórico de produção de aro enraizado do ano de 2018. Foi registrada, neste ano, a produção de 29 modelos de aro enraizado diferentes que se encontra representado na Figura 10:

**Figura 10** - Diagrama de Pareto da produção de aros enraizados da Houston Bike (2018).



Fonte: autor.

Ao todo foram produzidos 576.771 aros enraizados no ano em questão (HOUSTON BIKE, 2019), divididos entre modelos de tamanho 20, 24, 26 e 29 polegadas e 700 mm de diâmetro do aro. Dentre os 29 modelos, 8 compõem o conjunto dos 80% mais produzidos pela empresa sob a seguinte ordem decrescente de produção:

- Aro 26, 36 furos, natural (dianteiro): 138.129 (23,95%)
- Aro 26, 36 furos, natural (traseiro): 137.845 (23,90%)
- Aro 20, 28 furos, preto (traseiro): 36.731 (6,37%)
- Aro 20, 28 furos, preto (dianteiro): 36.729 (6,37%)
- Aro 20, 28 furos, natural (traseiro): 34.511 (5,98%)
- Aro 20, 28 furos, natural (dianteiro): 33.119 (5,74%)
- Aro 26, 36 furos, preto (traseiro): 32.567 (5,65%)
- Aro 26, 36 furos, preto (dianteiro): 32.505 (5,64%)

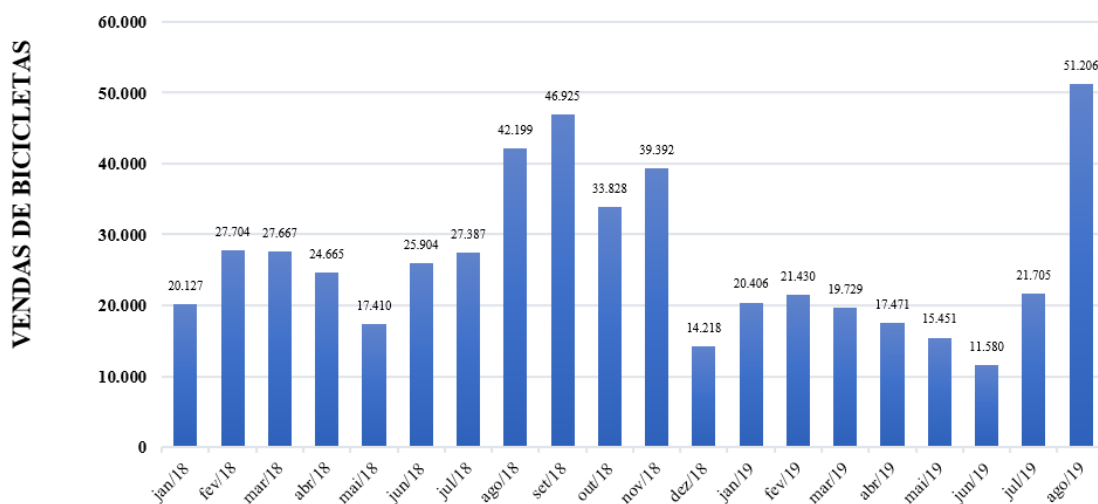
A soma da produção verificada deste conjunto foi de 482.136 aros enraizados, que representam 83,59% do volume total de produção de aros do período. O número de bicicletas produzidas no ano de 2018 totalizou 342.488 (HOUSTON BIKE, 2018), estando segmentadas entre bicicletas juvenis e adultas, que levam aros enraizados, e bicicletas infantis, compostas por rodas de plástico produzidas por processo de injeção, na seguinte proporção:

- Modelos com aro enraizado: 285.308 (83,30%)
- Modelos com roda plástica: 57.180 (16,70%)

Ainda que o número de aros enraizados que equipam as 285.308 bicicletas produzidas seja inferior ao volume total produzido de aros enraizados, pode-se inferir que conjunto dos 8 modelos de aros descrito equipou um volume da ordem de 70% do total de bicicletas produzidas no ano.

### **3.4.2. Vendas históricas e sazonalidade**

A Houston Bike verifica, com base em seu histórico de vendas e no histórico do mercado nacional de bicicletas, que a demanda de seu produto acabado sofre efeitos de sazonalidade anualmente, de modo que as vendas se mostrem menos expressivas nos meses do 2º trimestre do ano e cresçam no mês de agosto, permanecendo elevadas até o mês de novembro a cada ano e retornando a um patamar intermediário no mês de dezembro. A Figura 11 mostra o histórico de vendas, mês a mês, observado no período compreendido entre janeiro de 2018 e agosto de 2019, em que é possível de se observar o comportamento sazonal relatado pela empresa com vendas concentradas em meses de segundo semestre.

**Figura 11** - Histórico de vendas da Houston Bike.

Fonte: autor.

Na comparação com os meses de fevereiro a junho de 2018, os correspondentes do ano de 2019 apresentaram, cada um, um volume vendas inferior ao do ano anterior, porém sob a mesma tendência decrescente de vendas. Houve em 2018, também, uma retomada de crescimento de vendas já no mês de junho, o que se verificou apenas em julho no ano de 2019. Os dados coletados se resumiram a agosto de 2019, em mês em que se verificou um crescimento de vendas em 135,91% na comparação com julho de 2019. O crescimento no período observado em 2018 foi de 54,08%, o que aliado às baixas vendas de junho de 2019 sugere que os meses de julho e agosto de 2019 acabaram por absorver alguns dos pedidos anuais ocorridos habitualmente em junho e julho, conforme ocorreu no ano anterior.

### 3.5. Problemas recentes enfrentados

O ano de 2018 evidenciou pontos falhos da operação da Houston Bike até então. Apesar de contar com espaço de fábrica planejado, processos de fabricação definidos e consolidados e dispor de estrutura industrial incomum à região em que se instala, a divisão de rodas, considerada crítica e representativa de entraves à vazão diária desejada de bicicletas por conter os processos que se alternam como gargalos produtivos, sofreu com deficiências no plano de manutenção preditiva e preventiva dos equipamentos mais onerosos e de maior produtividade em comparação à mão de obra humana substituta. A sequência de operações consecutivas de preenchimento de cubos de roda, de enraimentamento de aros e de alinhamento e tensionamento de

aros enraizados, a serem detalhadas no curso do trabalho, concentrou as ocorrências da divisão entre os meses de julho e novembro de 2018.

Em função das deficiências de manutenção, um de dois robôs preenchedores de cubos de roda existentes na divisão de rodas, a serem descritos adiante no desenvolvimento do trabalho, foi desativado entre julho e outubro de 2018 por falha em componente importado indisponível no almoxarifado da Houston Bike; para a entrega do equivalente de seu trabalho diário respeitando a demanda da época, 6 operadores tiveram de ser realocados de outras divisões da fábrica para realizarem temporariamente a operação manual de preenchimento de cubos de roda. Também em função da manutenção preventiva e preditiva insuficiente foram registradas paradas por quebra ou desconfiguração em uso dos robôs alinhadores e tensionadores, tendo sido estas menos críticas que a do exemplo anterior por haver 9 linhas paralelas de robôs em operação e pela maior possibilidade de fabricação interna de componentes mais solicitados, além de haver maior número de peças de reposição importadas no almoxarifado do que para os robôs preenchedores de cubos de roda.

Houve também uma redução de capacidade por desativação simultânea de 3 posições de enraimento das 11 disponíveis, todas ocasionadas por falhas em componentes importados das máquinas enraideiras e cuja aquisição para composição de almoxarifado não havia sido feita. Esta operação, realizada pelo conjunto operador e máquina no Houston Bike, nunca é feita manualmente nas dependências da fábrica em função da grande discrepância de produtividade entre o trabalho combinado e o trabalho inteiramente manual. Como medida emergencial, a Houston Bike fez uso de um turno noturno de 6h com 4 enraidores e um supervisor de trabalho, também responsável por alimentar e monitorar o funcionamento do robô preenchedor de cubos de roda, que também operou no turno, entre os meses de agosto e outubro de 2018.

Por fim, teve contribuição negativa à produtividade da divisão de rodas o planejamento indevido nas linhas de enraimento, alinhamento e tensionamento, o que acarretava paradas desnecessárias de aproximadamente 3 minutos para setup diariamente nas linhas.

### **3.6. Ações corretivas implementadas**

Visando aumentar a produtividade da divisão de rodas, a Diretoria da Houston Bike trabalhou em conjunto com a Engenharia e o Planejamento para implementar mudanças na operação e na manutenção a partir de outubro de 2018.



A primeira delas foi redução de setup nas linhas de enraçamento, alinhamento e tensionamento de aros enraçados e a retomada de duas posições de enraçamento anteriormente desativadas. Para tanto, a Houston Bike passou a trabalhar com 7 linhas ativas diariamente, sendo:

- 1 linha exclusivamente dedicada aos modelos de aro de alumínio de 26 polegadas e 36 furos dianteiros;
- 1 linha exclusivamente dedicada aos modelos de aro de alumínio de 26 polegadas e 36 furos traseiros;
- 1 linha exclusivamente dedicada aos modelos de aro de alumínio de 20 polegadas e 28 furos dianteiros;
- 1 linha exclusivamente dedicada aos modelos de aro de alumínio de 20 polegadas e 28 furos traseiros;
- 1 linha dedicada aos aros de alumínio de 26 polegadas e 36 furos, com alternância de produção de aros dianteiros e traseiros conforme a posição de estoque;
- 2 linhas dedicadas aos demais modelos produzidos.

Também para atuação sobre as linhas e mais especificamente sobre os robôs alinhadores e tensionadores dos aros enraçados foi realizada uma revisão das tolerâncias dos parâmetros inseridas nos painéis de comando junto ao Controle de Qualidade. O objetivo da medida era exigir menos tempo de trabalho de cada robô para a passagem de um aro enraçado à etapa seguinte ou sua entrega como produto em processo. Era necessário garantir, no entanto, que os padrões de alinhamento e de “embuchamento” do aro enraçado esperados pelo Controle de Qualidade em inspeção por amostragem fossem respeitados. Após acréscimos graduais às margens de tolerância nos comandos para cada modelo produzido foi possível atingir novos valores adequados para cada modelo produzido na Houston Bike sem comprometimento à qualidade desejada do componente.

A documentação do plano de manutenção preventiva de máquinas da divisão de rodas foi revisada e reelaborada para uma nova versão. O foco se deu sobre o aprimoramento do plano para o maquinário da fabricante holandesa Holland Mechanics, de maior valor, mais crítico à produção e dependente de componentes importados, sem substitutos no mercado nacional, para funcionamento. O restante do maquinário, avaliado como menos crítico para se manter a fluidez da produção da Houston Bike, também teve seu plano de manutenção preventiva revisado ou criado para os casos em que não havia documentação previamente elaborada.

Por fim, a estratégia adotada a partir de fevereiro de 2019 foi a de produção constante, tendo por objetivo a geração de estoques de produto em processo (aros enraizados) e produto acabado para que não se incorresse no risco de necessitar da contratação de um turno noturno de trabalho a partir do início do segundo semestre, como feito em 2018. Isto foi possível com a reativação de um robô preenchedor de cubos de roda, ainda desativado em janeiro de 2019 por falta de componentes no almoxarifado, com a utilização de 10 das 11 posições de enraimento existentes e com o trabalho dos 10 operadores capacitados e contratualmente aptos a exercer a função existentes na Houston Bike à época assumindo essas posições.

### **3.7. Consequências observadas**

As mudanças implementadas se mostraram eficazes para o alcance do objetivo principal estabelecido pela Diretoria para o ano de 2019 na divisão de rodas. Entre setembro de 2018 e dezembro de 2018, período de pico na sazonalidade da Houston Bike e já com a medida de redução de setups em curso, houve consumo de estoque de aros enraizados em ritmo maior que a produção do período. Os números relativos à posição de estoque de aros enraizados ao término dos meses do período ilustram a saída do componente:

- 30/09/2018: 35.733 aros enraizados compondo o estoque de produto em processo;
- 31/10/2018: 28.066 aros enraizados compondo o estoque de produto em processo;
- 30/11/2018: 21.064 aros enraizados compondo o estoque de produto em processo;
- 14/12/2018: 15.078 aros enraizados compondo o estoque de produto em processo;

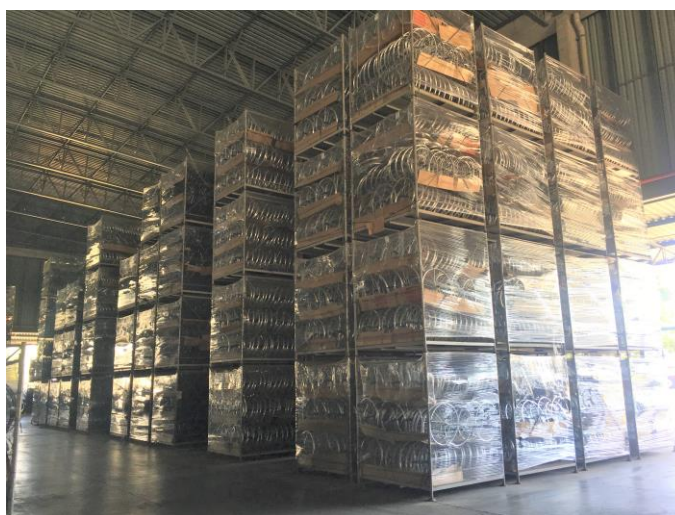
Após a parada anual programada da segunda quinzena de dezembro, na qual ocorre a preparação do ambiente da Houston Bike para o ano seguinte envolvendo reparos da infraestrutura, revisão, limpeza e pintura dos ambientes e das coberturas de máquinas e estruturas, o plano de produção constante entrou em vigor a partir de janeiro de 2019. Em relação a sua condição observada a partir de fevereiro, houve a diferença de existir no primeiro mês a realocação temporária de 2 operadores da fábrica para a realização do trabalho manual de preenchimento de cubos de roda em substituição a um dos robôs executores do trabalho, que permaneceu desativado por falta de componentes no almoxarifado. Outros 4 operadores estavam designados para o trabalho e assim permaneceram por se dedicarem ao preenchimento de modelos de cubos de roda não produzidos pelos robôs, a fim de se evitar setups.

Com o retorno do robô preenchedor de cubos de roda fora de operação a partir de fevereiro de 2019 foi possível definir e dividir a execução do trabalho de preenchimento de cubos de roda entre os recursos disponíveis e desejáveis para o ano. Adotou-se assim:

- 1 robô preenchedor de cubos de roda exclusivamente dedicado aos modelos de 36 furos dianteiros;
- 1 robô preenchedor de cubos de roda exclusivamente dedicado aos modelos de 36 furos traseiros;
- 4 operadores para preenchimento manual de cubos de roda dos demais modelos (28 furos e 32 furos);

A posição de estoque de aros enraçados mostrou-se sempre crescente no período de aplicação da estratégia de produção constante, ocorrido entre os meses de janeiro e julho. O registro tomado ao fim de cada mês do período saltou de 17.162 unidades ao fim de janeiro para a marca de 66.363 unidades ao fim de julho. A Figura 12 ilustra com fotografia do mês de agosto de 2019 a condição do estoque do componente em épocas de acúmulo.

**Figura 12** – Estoque de aros enraçados em condição de acúmulo.



Fonte: autor.

Houve reflexo da estratégia adotada também sobre a divisão de expedição, que assim como a divisão de rodas operou em 2019 com posição de estoque de produto acabado crescente entre janeiro e julho. A Figura 13 demonstra a elevada posição de estoque de produto acabado

atingida evidenciada pelo empilhamento de embalagens de bicicletas em 4 níveis e em pilhas completas, de forma semelhante ao que se fez com os aros enraizados em processo.

**Figura 13** – Estoque de produto acabado na divisão de expedição da Houston Bike.



Fonte: autor.

Em função da posição atingida ao fim do mês de julho, a Diretoria compreendeu que seria possível atender a demanda do ano sem necessitar da contratação do turno noturno, de modo que o objetivo da estratégia adotada, combinada às medidas implementadas sobre a divisão a partir de outubro de 2018, foi julgado então alcançado. A consequência, porém, foi a necessidade de se consumir o estoque ao longo do restante do ano em ritmo maior que o da produção do setor de rodas.

Ainda que o segundo semestre historicamente apresente mais vendas e maiores que as do primeiro semestre, a produção constante observada no ano terminaria por levar a posição de estoque além do desejável para o término do exercício de 2019. A decisão da Diretoria foi então pela redução da produção de aros enraizados a partir do mês de agosto; a medida tomada nesse sentido foi a de redução da capacidade da linha nas posições de enraçamento, com a desativação de 3 das 10 em funcionamento para que apenas 7 ou menos conjuntos de operadores de enraçamento e máquinas enraçadoras se mantivessem ativos até o fim do ano (salvo em caso de vendas além das previstas para os meses restantes). A mudança trouxe uma redução da posição de estoque de agosto em comparação com a registrada em julho, de maneira que ao fim do mês se verificou a posição de estoque de 60.983 unidade de aros enraizados.

### 3.8. Plano de manutenção preventiva em vigor

Criou-se em 2018 o atual plano de manutenção preventiva de todo maquinário existente na divisão de rodas da Houston Bike. Em relação às máquinas e robôs de maior complexidade e criticidade da fabricante Holland Mechanics, descritas nos itens anteriores, o plano de manutenção foi dividido por máquinas e robôs em grupos de funções das operações que realizam. Para cada grupo, existe uma listagem das máquinas ou robôs envolvidos, um descritivo da função realizada, uma definição temporal do ciclo de manutenção preventiva, um nível de criticidade atribuído entre A (mais crítico) e C (menos crítico) e os procedimentos a serem realizados no trabalho de manutenção preventiva. A Figura 14 exibe o modelo de diretrizes adotado para os robôs de pré-tensionamento, alinhamento e tensionamento de aros enraizados.

**Figura 14** – Diretrizes de manutenção preventiva para robôs de pré-tensionamento, alinhamento e tensionamento de aros enraizados.

BNT0361	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0363	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0364	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0365	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0366	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0367	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0368	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0369	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0370	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0371	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO
BNT0372	MÁQUINA DE ROSQUEAR E ALINHAR O RAO

**FUNÇÃO:** Tensionar e/ou alinhar roda

**CICLO:** 12 semanas

**CRITICIDADE:** B

**PROCEDIMENTOS:**

- Verificar vazamentos de ar;
- Verificar as válvulas;
- Verificar as conexões e reguladores de fluxo;
- Verificar as garras;
- Verificar os sensores;
- Reajustar os parafusos do painel da máquina;
- Realizar limpeza na máquina.

Fonte: Houston Bike (2019).

#### 4. MÉTODO

O estudo se deu por meio de idas presenciais à fábrica da Houston Bike em Teresina – PI, que totalizaram 180h, e por meio de desenvolvimento à distância a partir Jundiaí – SP, local do centro de distribuição da Houston Bike de onde foram realizadas teleconferências internas com colaboradores em Teresina, que totalizaram 5h, e de São Paulo – SP, com uso de ferramentas de comunicação digital.

As idas presenciais à fábrica tiveram por objetivo, além da possibilidade de tornar o problema de estudo tangível para análise, a viabilização da comunicação direta com colaboradores de todas as divisões da fábrica e ocupantes de funções em níveis hierárquicos distintos para a obtenção de diferentes compreensões do problema.

Ao longo do desenvolvimento se sucederam as atividades listadas, em ordem cronológica:

1. Definição de modelos de aro para estudo
2. Levantamento do processo da divisão de rodas e das causas de estoques elevados
3. Levantamento de indicadores relevantes
4. Desenho de mapa de fluxo de valor
5. Definição de gargalos do processo
6. Desenho de fluxograma completo da divisão de rodas
7. Definição de recursos produtivos críticos
8. Reelaboração de documentação de manutenção autônoma
9. Elaboração de plano de capacitação para a operação de enraimento
10. Reelaboração de plano de manutenção preventiva
11. Teste em robô de alinhamento desativado
12. Proposição de novo layout
13. Elaboração de plano de uso e rotatividade de maquinário

Os itens 4.1 a 4.13 descrevem, em sequência, cada uma das atividades relacionadas.

## 4.1. Modelos de aro enraiado estudados

### 4.1.1. Aros 26 de alumínio e de aço cromado

Os modelos de maior volume de produção anual da Houston Bike são os aros de alumínio de 26 polegadas de diâmetro, com 36 furos. Entre modelos dianteiros e traseiros, nas colorações natural e preto, um percentual da ordem de 59% de aros enraiaados produzidos anualmente na Houston Bike está representado. São utilizados em 13 modelos de bicicleta do atual portfólio da Houston Bike. Dentre os modelos de aro enraiado que não são fabricados em sua totalidade pela empresa está o aro de aço cromado de 26 polegadas de diâmetro com 36 furos. O aro fechado e furado é um componente importado da China, de forma que é apenas enraiado, alinhado e tensionado na fábrica para se tornar um aro enraiado. Os modelos dianteiro e traseiro em coloração única representam um percentual de cerca de 5% da produção anual. A Figura 15 ilustram os aros enraiaados tamanho 26, em sua forma contabilizada em estoque como produtos em processo.

**Figura 15** – Aros enraiaados de alumínio (esq.) e de aço cromado (dir.) tamanho 26, com 36 furos.



Fonte: autor.

O aro enraiado na condição observada, sobretudo o aro 26 de alumínio, é o componente utilizado como estoque regulador pela produção entre a divisão de rodas e a linha de montagem. Em função da demanda existente, este modelo não tem sua produção interrompida ao longo do ano. Os setups atualmente utilizados na fábrica mencionados no item 3.6 buscaram privilegiar a vazão do modelo na linha. Antes da saída da divisão de rodas, o aro enraiado é deslocado diretamente do processo de alinhamento e tensionamento ou do estoque regulador à áreas de montagem, em que se finaliza o componente para entrega à linha de montagem. A Figura 16 ilustra as rodas de aro 26 em alumínio e em aço cromado prontas para incorporação às bicicletas.



**Figura 16** – Componente roda de alumínio (esq.) e de aço cromado (dir.) tamanho 26 finalizado.



Fonte: autor.

#### **4.1.2. Aro 20 de alumínio**

O segundo modelo mais representativo sobre o percentual de fabricação anual de aros enraçados na Houston Bike é o de alumínio de 20 polegadas de diâmetro com 28 furos; contabiliza uma parcela de aproximadamente 24% da produção anual, quando somadas as variantes dianteiras e traseiras de coloração natural e preta, e é incorporado a 3 modelos de bicicleta juvenil do portfólio da Houston Bike. A Figura 17 ilustra o aro enraçado 20 em sua forma contabilizada em estoque e a roda de alumínio com o aro 20 para montagem na linha.

**Figura 17** – Aro enraçado de alumínio tamanho 20, com 28 furos (esq.) e roda de alumínio tamanho 20 na forma enviada à linha de montagem (dir).



Fonte: autor



## 4.2. Levantamento do processo da divisão de rodas e causas de estoques elevados

### 4.2.1. Processo de fabricação de aro enraiado

A fabricação de rodas na Houston Bike tem início com dois processos paralelos. O primeiro deles é o de preenchimento de cubos de roda, que na sua execução automatizada aplicada aos modelos de aros tamanho 26 é realizado por dois robôs Hub Filling Station (HFS) da fabricante Holland Mechanics. Os robôs são abastecidos com cubos de roda em sua esteira de entrada para coleta automatizada pelo robô e com raios de roda em quatro reservatórios no topo, cada um destinado a um de seus quatro inseridores de raio no cubo. A Figura 18 mostram os raios de roda sendo elevados por correias de borracha nos reservatórios até os inseridores e os cubos de roda enfileirados sobre a esteira de entrada, respectivamente.

**Figura 18** – Abastecimento de raios e cubos na Hub Filling Station (HFS).

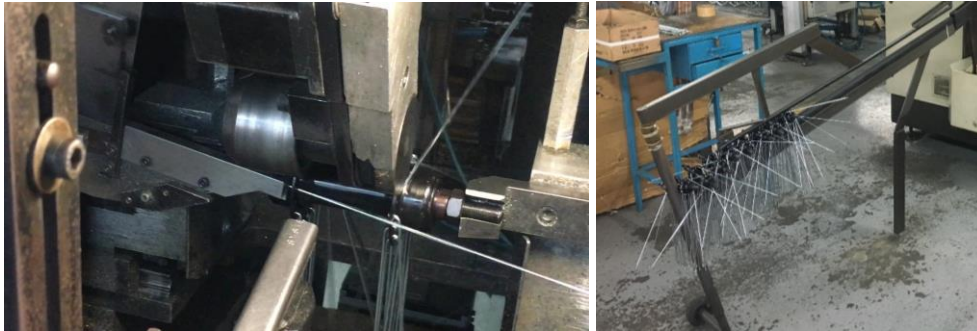


Fonte: autor.

Os quatro inseridores atuam em momentos diferentes para o inserimento de raios nos 36 furos do cubo de roda traseiros ou dianteiros e respeitam a sequência de acionamento determinada em sua programação. Ao término do preenchimento de cubo, a HFS destrava o conjunto do cubo preenchido das garras de fixação e rotação do cubo de roda e empurra-o para a esteira de saída, onde passa aguardar o preparo para armazenagem ou movimentação por operadores.

A Figura 19 ilustra a atuação de um inseridor sobre o cubo de roda e a disposição dos cubos preenchidos na esteira ao término do processo..

**Figura 19** – Inserimento de raio no processo de preenchimento de cubo (esq.) e saída de cubos preenchidos do processo (dir.).



Fonte: autor.

A produção dos dois robôs HFS é complementada por um número variável de operadores que realizam o preenchimento manual de cubos de roda de 28 furos. Por vezes é também necessário que estes produzam cubos de 36 furos em situações de alta demanda, geralmente sem que o número de operadores que estejam preenchendo cubos de 28 furos seja alterado; nestes cenários, há remanejamento da equipe disponível na divisão de rodas para a função, aumentando a capacidade na operação, e também na equipe de preenchedores de cubos manuais, de forma a aproveitar os operadores mais habituados a preencher cubos de 28 furos para o preenchimento de cubos de 36 furos, que requerem a mesma habilidade replicada a mais furos em um único cubo, com o intuito de se ganhar produtividade.

Paralelamente ao processo de preenchimento de cubos é realizada a fabricação dos aros de alumínio e aço nos tamanhos (polegadas) de 20; 26; 27,5; 29. A matéria-prima do aro é adquirida pela empresa em forma de perfis de comprimento 6350 mm (barras com seção transversal em “U”), que rendem 3 aros 26 cada e geram aproximadamente 126 mm de sucata de alumínio. Esta é posteriormente revendida pela empresa, de forma a se reduzir desperdícios do material adquirido.

Após passar pelas etapas de conformação, serragem, inserção de pinos de travamento, fechamento do aro e furação, o produto em processo resultante é o aro de roda. A Figura 20 mostra estações de armazenamento de aros de roda.

**Figura 20** – Aros de roda em processo armazenados nas estações móveis.



Fonte: autor.

O processo seguinte é o de enraçamento, cuja solução implementada é também da fabricante Holland Mechanics e envolve a instalação de uma linha de enraçamento, alinhamento e tensionamento de aros enraçados. Apesar de semelhantes na finalidade, há diferenças entre os dois arranjos de linhas propostos pela fabricante adotados na Houston Bike.

O primeiro arranjo apresenta uma sequência de duas máquinas em série:

1. Uma máquina de enraçamento, que combina a ação do operador com a operação automatizada da máquina;
2. Um robô para alinhamento e tensionamento dos raios no aro.

A primeira máquina tem capacidade definida pelo fabricante entre 35 e 55 aros por hora, a depender dos componentes presentes. A segunda pode ser regulada para oferecer vazão à linha em ritmo superior ao do conjunto da máquina de enraçamento com o operador, porém se verifica capaz de entregar 48 aros enraçados de tamanho 26 por hora na Houston Bike, com índice de rejeição de peças da ordem de 5%. Ao todo, a fábrica dispõe de 7 arranjos paralelos deste tipo, estando 2 deles inativos por inatividade dos robôs alinhadores e tensionadores.

O segundo arranjo apresenta duas máquinas em paralelo na entrada, seguidas por outras duas em série:

1. Duas máquinas de enraçamento, dispostas em altura para o trabalho do operador em pé;
2. Um robô para pré-tensionamento dos raios no aro;
3. Um robô para alinhamento e finalização de tensionamento dos raios no aro.

Os robôs são capazes de entregar entre 40 e 120 aros por hora, a depender das tolerâncias desejadas, dos componentes do aro e da função cumprida pela máquina. A Houston Bike implementou dois arranjos deste tipo na divisão de rodas. A Figura 21 mostra um operador realizando o posicionamento dos raios nos furos do aro em uma máquina de enraiamento, posicionada na entrada da linha de enraiamento nos arranjos adotados.

**Figura 21** – Enraiador posicionando as extremidades livres dos raios nos furos dos aros.



Fonte: autor.

A Figura 22 mostra um aro enraiado na etapa de alinhamento e tensionamento executada por robô. As garras da máquina seguram o aro pelo eixo central do cubo de roda, impedindo o movimento nos eixos perpendiculares a ele e permitindo o movimento na direção do eixo principal do cubo de roda para que os ajustes sejam efetuados.

**Figura 22** – Robô realizando o alinhamento e tensionamento de aro enraiado.



Fonte: autor.

Ao término do enraçamento, o robô direciona o aro enraçado para o trilho de aprovados ou para o trilho de reprovados, estes que podem ser retrabalhados ou descartados. Os aros são coletados manualmente por operadores da fábrica, sendo os aprovados direcionados à unidade de montagem de roda ou ao estoque de aros enraçados (produto em processo). A Figura 23 ilustra a forma de armazenamento em racks dos estoques de aro enraçado, no exemplo em tamanho 26.

**Figura 23** – Estoque de aros enraçados em alumínio tamanho 26.



Fonte: autor.

A montagem de roda, etapa seguinte à de enraçamento de aro, começa com a preparação dos componentes do pneu a partir das embalagens de expedição. Fitas de aro, câmaras de ar e pneus são desembalados e posicionados nas estações em que serão manejados. O aro enraçado é encaminhado à estação em que as fitas de aro e as câmaras de ar são unidas a ele em preparo para o embeçamento, operação em que o conjunto é pré-montado com o pneu, que passa a ter uma de suas faces colocadas para dentro do aro enraçado. A Figura 24 apresenta conjuntos de aro com fita e câmara posicionados no carrossel, antes e depois da operação pré-embeçamento.



**Figura 24** – Carrossel de conjuntos aros com câmara de ar para pré-embeijamento.



Fonte: autor.

O embeijamento é a operação final da montagem de rodas e consiste na inflagem da câmara, seu posicionamento no interior do pneu e a passagem da face faltante do pneu para o interior do aro enraiado com auxílio de máquina. O produto em processo gerado é a roda montada; esta pode seguir para a linha de montagem, disposta em pares na monovia de teto da fábrica, ou aguardar por alguns dias pendurada também na monovia até a entrada na finalização do produto acabado (bicicleta), conforme mostrado na Figura 25.

**Figura 25** – Monovia de teto para colocação de pares de rodas finalizados, levados à linha de montagem.



Fonte: autor.

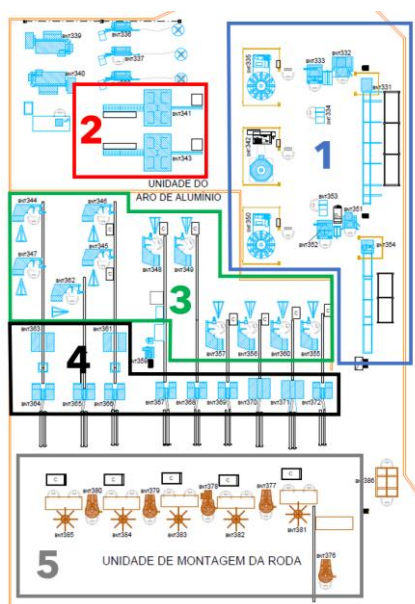
#### **4.2.2. Layout atual**

A divisão de rodas da Houston Bike é responsável pela fabricação de um total de 550.000 a 600.000 aros enraizados e rodas anualmente (HOUSTON BIKE, 2019). Os primeiros são produtos em processo contabilizados em estoque entregues pela divisão ao término das etapas

de alinhamento e tensionamento de aros enraçados executadas por robôs; os segundos são montados a partir de aros enraçados (estocados ou não), câmaras, fitas de câmaras e pneus para seguirem à linha de montagem, sem contabilização de estoques.

A Figura 26 ilustra o *layout* da divisão de rodas no interior da fábrica da Houston Bike.

**Figura 26** – *Layout* atual da divisão de rodas da Houston Bike separada e numerada em suas unidades.



Fonte: adaptado de Houston Bike (2019).

A divisão de rodas conta com 53 colaboradores, 22 máquinas e 11 robôs, além de 8 máquinas e 2 robôs desativados (HOUSTON BIKE, 2019). Respeitando a nomenclatura adotada aos ativos da fábrica, as máquinas, robôs e ferramentas dos setores recebem, cada uma, um código interno iniciado pelas letras “BNT” seguidas por três dígitos. Estes recursos encontram-se dispostos em 5 unidades ativas (numeradas de 1 a 5 na Figura 26) e 1 unidade inativa:

1. Unidade de fabricação de aros de alumínio (2 células) – 6 colaboradores e 9 máquinas;
2. Unidade de preenchimento de cubos de roda automatizado – 3 colaboradores e 2 robôs;
3. Unidade de enraçamento de aros – 10 colaboradores e 11 máquinas;
4. Unidade de alinhamento e tensionamento de aros enraçados – 11 robôs;
5. Unidade de montagem de roda – 21 colaboradores e 2 máquinas;
6. Unidade de fabricação de raios de roda (inativa) – 5 máquinas.

Entre as máquinas e robôs desativados estão:

- Unidade de alinhamento e tensionamento de aros enraçados – 2 robôs (BNT 371 e BNT 372);
- Unidade de montagem de roda – 3 máquinas (BNT376, BNT 377 e BNT 379);
- Unidade de fabricação de raios de roda (inativa) – 5 máquinas.

Para o preenchimento manual de cubos de roda há 4 operadores, e outros 4 operadores realizam funções diversas de abastecimento das unidades com matéria-prima, de recolhimento e de transporte de produtos em processo entre as unidades. A divisão de rodas conta ainda com 1 supervisor de setor, 1 supervisor de linha, 1 líder de setor, 1 operador de trator e 1 operador de empilhadeira, totalizando os 53 colaboradores. Dentre os funcionários da divisão de Manutenção, 1 líder de setor e 1 técnico de manutenção dedicam-se, na prática, exclusivamente ao setor de rodas e atendem eventuais necessidades de outras divisões da fábrica.

#### **4.2.3. Causas de estoques elevados**

O acúmulo de estoques é representativo de desperdícios sob a ótica do *lean manufacturing* e pode também ser considerado uma proteção da empresa contra a percepção externa ou interna de falhas e deficiências de seu processo produtivo. Clientes do mercado de bicicletas costumam, segundo lideranças do setor comercial da Houston Bike perceber valor na disponibilidade do produto e na capacidade das empresas de realizarem a expedição em prazos curtos, preferencialmente em caráter pronta entrega.

Desde que sua capacidade de produção foi significativamente aumentada na mudança para a localização atual da planta fabril, a Houston Bike compreendeu ser uma estratégia mais vantajosa para si a adoção de um modelo de produção empurrada como forma de mitigar os riscos envolvidos no não cumprimento de entregas ou atrasos para clientes. Este modelo é, por si só, um fator colaborador para que se acumulem estoques, sobretudo em épocas de vendas menos expressivas.

No caso da Houston Bike, soma-se a esse fato a demanda superior à atual no início dos anos 2010, que a obrigou a produzir em volume elevado e a manter o espaço físico de estoques de produto em processo e de produto acabado constantemente ocupado quase à capacidade plena. O giro de estoque, no entanto, era maior à época que os índices atualmente verificados.

Em relação ao passado recente, o acúmulo de estoques se deveu menos ao modelo de produção empurrada adotado e mais a fatores de ordem estratégica no uso da capacidade da fábrica, tanto históricas quanto responsivas aos problemas particularmente enfrentados em 2018.



#### **4.2.3.1. Redução de setups e de manutenção corretiva**

A queixa reforçada pela Diretoria da Houston Bike acerca da divisão de rodas em 2018 se dava sobre as ocorrências de paradas de máquinas e sobre a necessidade elevada de manutenção corretiva de máquinas e robôs da fabricante Holland Mechanics utilizados nas operações de preenchimento de cubos de roda, de enraimento de aros, de alinhamento e de tensionamento de aros enraçados.

Duas medidas implementadas para solucionar estas questões contribuíram diretamente para o aumento dos estoques. A primeira delas é a redução de setups nas linhas de execução das três últimas operações para a configuração descrita no item 3.6, e a segunda é a adoção das novas diretrizes de manutenção preventiva do maquinário da Holland, cuja execução foi possibilitada pela aprovação da aquisição de componentes junto à Holland Mechanics para o reparo imediato de máquinas e para a composição de almoxarifado.

O efeito destas medidas foi, segundo a Engenharia e a Manutenção da Houston Bike o aumento da disponibilidade e a redução das paradas não programadas das máquinas e robôs da Holland Mechanics na divisão de rodas. O exemplo de evolução destacado por estas divisões foi o do robô preenchedor de cubos, cujo OEE verificado saltou de índices de 44% (HOUSTON BIKE, 2018) a 76% (HOUSTON BIKE, 2019) após estudos da operação e melhorias aplicadas visando a redução de trabalhos corretivos sobre o robô.

A influência direta que isto teve sobre o acúmulo de estoques reside no fato de que não se concluíram ciclos de médio e longo prazo de substituições de componentes com menor frequência de troca destas máquinas, estes que costumam ser os disponíveis em menores quantidades ou indisponíveis no almoxarifado. Conforme se observa pela figura da curva da banheira apresentada no item 2.4, estes itens não atingiram a fase de maturidade, de forma que não deverão ser observadas falhas crescentes em cada um no momento. Soma-se a isto o fato de ter havido simultaneidade entre as trocas de componentes de diferentes equipamentos da fabricante Holland Mechanics.

Para se explorar o potencial da fábrica sem comprometimento ao desgaste e à manutenção preventiva do maquinário, porém com menor geração de estoques, algumas novas medidas são propostas no sentido de se aumentar a previsibilidade e o controle sobre o processo, em particular sobre as etapas que envolvem as máquinas críticas à produção do aro enraçado e priorizadas no plano de manutenção preventiva da Houston Bike. Dentre elas, podem ser citadas:

- Aprimoramento do plano de manutenção preventiva existente, revisando-o em relação aos componentes incluídos, aos critérios e prazos de parada definidos e à possibilidade de inclusão de novas diretrizes.
- Criação de plano de rotatividade de máquinas de mesma função para épocas de demanda reduzida, de forma a possibilitar o desgaste em maior patamar de equidade de robôs e máquinas cumpridores das mesmas funções.
- Alocação de produção do aro de aço cromado à alinhadora e tensionadora do modelo DA, atualmente desativada e potencialmente ideal para o trabalho sobre aros de aço cromado.

#### **4.2.3.2. Capacidade superior à demanda no semestre 01/2019**

Como parte da estratégia traçada para que a Houston Bike não necessitasse do segundo turno na divisão de rodas, a capacidade da fábrica para a produção de aro enraiado já melhorada pela manutenção mais eficaz pode ser aproveitada quase em sua plenitude, o que fez com que a produção superasse a demanda no primeiro semestre de 2019 em um nível mais expressivo que as diferenças verificadas em anos anteriores.

A Diretoria compreende que as posições de estoque se apresentaram além do desejável para o futuro durante o ano de 2019, pois existe necessidade de consumo de estoque para além do que já se praticou anteriormente na fábrica. De forma a se diminuir o descompasso existente entre a produção e a demanda de bicicletas e seus componentes no primeiro semestre de cada ano, algumas medidas corretivas podem ser implementadas, tais quais:

- Alteração da capacidade de produção de acordo com a demanda, diminuindo-a para o primeiro semestre e tornando-a plena ou quase plena em dado momento do ano, próximo à passagem do primeiro ao segundo semestre.
- Avaliação da utilização do banco de horas dos operadores do setor de rodas ou de alternativas de demissões e recontrações com base em critérios de custos e de riscos envolvidos.

#### **4.2.3.3. Disponibilidade de mão de obra**

O Planejamento da Houston Bike destacou o fato de ter havido suficiente disponibilidade de recursos humanos, sobretudo de operadores do enraimento, no período determinado estrategicamente pela Diretoria para produção de aros enraizados mais elevada visando composição de estoques. Nesse sentido, apontou-se que não houve comprometimento do planejamento em função de faltas e afastamentos de colaboradores que reduzissem significativamente a produção.

Apesar disso, há perigo de queda de produção diária e mensal por serem apenas 10 colaboradores capacitados na fábrica para exercer esta operação, considerada crítica conforme revela a abordagem do item 4.7.2 adiante. Lideranças da empresa responsável pela capacitação de operadores observam que, historicamente, um novo operador de enraimento se capacita após 60 dias de prática diária, porém passa a desempenhar de acordo com o padrão de trabalho e a produtividade desejados pela Houston Bike somente após 180 dias.

Para se trabalhar em favor da garantia de disponibilidade de mão de obra de enraidores na Houston Bike, uma medida direta pode ser tomada sobre a mão de obra já contratada da divisão de rodas ou de outras divisões da fábrica, sem necessidade de novas contratações ou de terceirização:

- Criação de plano de capacitação de colaboradores para a execução da operação de enraimento, dependente dos 10 operadores capacitados atualmente na Houston Bike.

#### **4.3. Levantamento de indicadores relevantes**

Conhecido o processo e as circunstâncias que levaram ao cenário recentemente enfrentado pela Houston Bike, seguiu-se a definição dos indicadores de desempenho relevantes utilizados por cada nível hierárquico da empresa para o monitoramento do processo de fabricação do produto acabado e dos semi-acabados sobre os quais o estudo é focado. Foram definidos simultaneamente o número de níveis hierárquicos para análise e as partes envolvidas de cada um, classificando-os em ordem de poder de decisão, de maior para menor, da forma:

1. Diretoria;
2. Planejamento, Compras e Contabilidade;
3. Liderança de linha de montagem e liderança de divisão de rodas;

#### 4. Operadores de preenchimento de cubos e operadores de enraimento

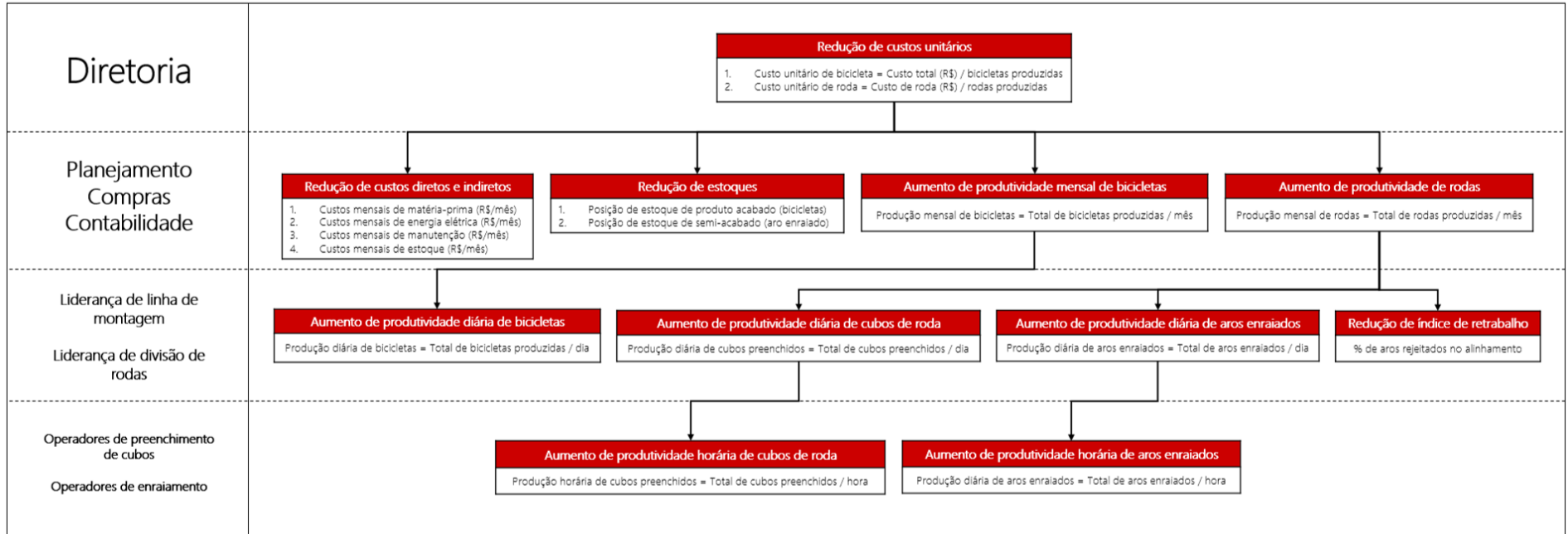
Para cada nível hierárquico, foram definidos objetivos principais de aumento e redução almejados nos valores observados dos indicadores e a relação destes indicadores utilizados no controle das etapas do processo relacionadas a estes objetivos. Foi estabelecida, com isso, a seguinte divisão:

- Diretoria
  - Redução de custos unitários
    - Custo unitário de bicicleta
    - Custo unitário de roda
  
- Planejamento, Compras e Contabilidade
  - Redução de custos diretos e indiretos (Compras e Contabilidade)
    - Custos mensais de matéria-prima
    - Custos mensais de energia elétrica
    - Custos mensais de manutenção
    - Custos mensais de estoques
  - Redução de estoques (Planejamento)
    - Posição de estoque de produto acabado
    - Posição de estoque de semi-acabado
  - Aumento de produtividade mensal de bicicletas (Planejamento)
    - Produção mensal de bicicletas
  - Aumento de produtividade mensal de rodas (Planejamento)
    - Produção mensal de rodas
  
- Lideranças de linha de montagem e de divisão de rodas
  - Aumento de produtividade diária de bicicletas (Linha de montagem)
    - Produção diária de bicicletas
  - Aumento de produtividade diária de cubos de rodas (Rodas)
    - Produção diária de cubos preenchidos
  - Aumento de produtividade diária de aros enraizados (Rodas)
    - Produção diária de aros enraizados
  - Redução de índice de retrabalho (Rodas)
    - Percentual de aros rejeitados no alinhamento

- Operadores de preenchimento de cubos e de enraimento
  - Aumento de produtividade horária de cubos de rodas (Preenchimento)
    - Produção horária de cubos preenchidos
  - Aumento de produtividade horária de aros enraizados (Enraimento)
    - Produção horária de aros enraizados

Uma vez validados junto às competências responsáveis das diferentes divisões da empresa, elaborou-se o desdobramento dos indicadores em formato de árvore, de forma a correlacioná-los no processo global e a proporcionar a visualização simultânea de todos os indicadores em seus níveis de análise e controle. A Figura 27 mostra o resultado da elaboração do desdobramento de indicadores.

Figura 27 – Árvore de desdobramento de indicadores de desempenho.



Fonte: autor.

#### 4.4. Desenho de mapa de fluxo de valor da divisão de rodas

O mapa de fluxo de valor (MFV) do estado atual da Houston Bike foi estabelecido com base em informações fornecidas pelas divisões de Planejamento e Compras da empresa sobre componentes em processo e sobre aquisição de matéria-prima, respectivamente, e em informações coletadas diretamente na divisão de rodas durante um dia de atividades da fábrica.

Dentre as informações coletadas junto às divisões, as consideradas relevantes e utilizadas para a elaboração do MFV se resumem por:

1. Realização de 3 compras anuais de matéria-prima importada do aro enraiado, dimensionadas para duração de aproximadamente 120 dias corridos;
2. Realização de compras quinzenais de perfis de aro de alumínio natural de origem nacional, dimensionadas para duração de aproximadamente 15 dias corridos;
3. Realização de programação semanal de produção de aros enraizados na divisão de rodas;
4. Realização de programação diária de expedição de bicicletas (produto acabado);
5. Realização de planejamento anual de compras baseadas no histórico das vendas do ano anterior;
6. Recebimento de pedidos mensais pelos clientes mais representativos das vendas;

As demais informações relativas à disposição de operadores e a tempos de operação e setup foram coletadas por meio de observação da produção. A disposição de operadores na fábrica aparece descrita na seção 5.2.2, enquanto os tempos de operação considerados para a elaboração do MFV foram mensurados diretamente, um a um. Foram observados os seguintes tempos de ciclo e de regulação:

- Conformação e corte de perfil de aro
  - $T_C = 15$  s / aro
  - $T_R = 30$  s (máximo de 1 setup por dia)
- Fechamento de aro
  - $T_C = 6$  s / aro
  - $T_R = 40$  s (máximo de 1 setup por dia)
- Selagem de aro
  - $T_C = 7$  s / aro
- Preenchimento de cubos
  - $T_C = 40$  s / aro
  - $T_R = 180$  s (máximo de 1 setup por dia)

- Enraimento de aro
  - $T_C = 92 \text{ s / aro}$
  - $T_R = 50 \text{ s}$  (máximo de 1 setup por dia)
- Alinhamento e tensionamento de aro enraiado
  - $T_C = 73 \text{ s / aro}$
  - $T_R = 140 \text{ s}$  (máximo de 1 setup por dia)
- Montagem de roda
  - $T_C = 17 \text{ s / aro}$
  - $T_R = 40 \text{ s}$  (máximo de 1 setup por dia)

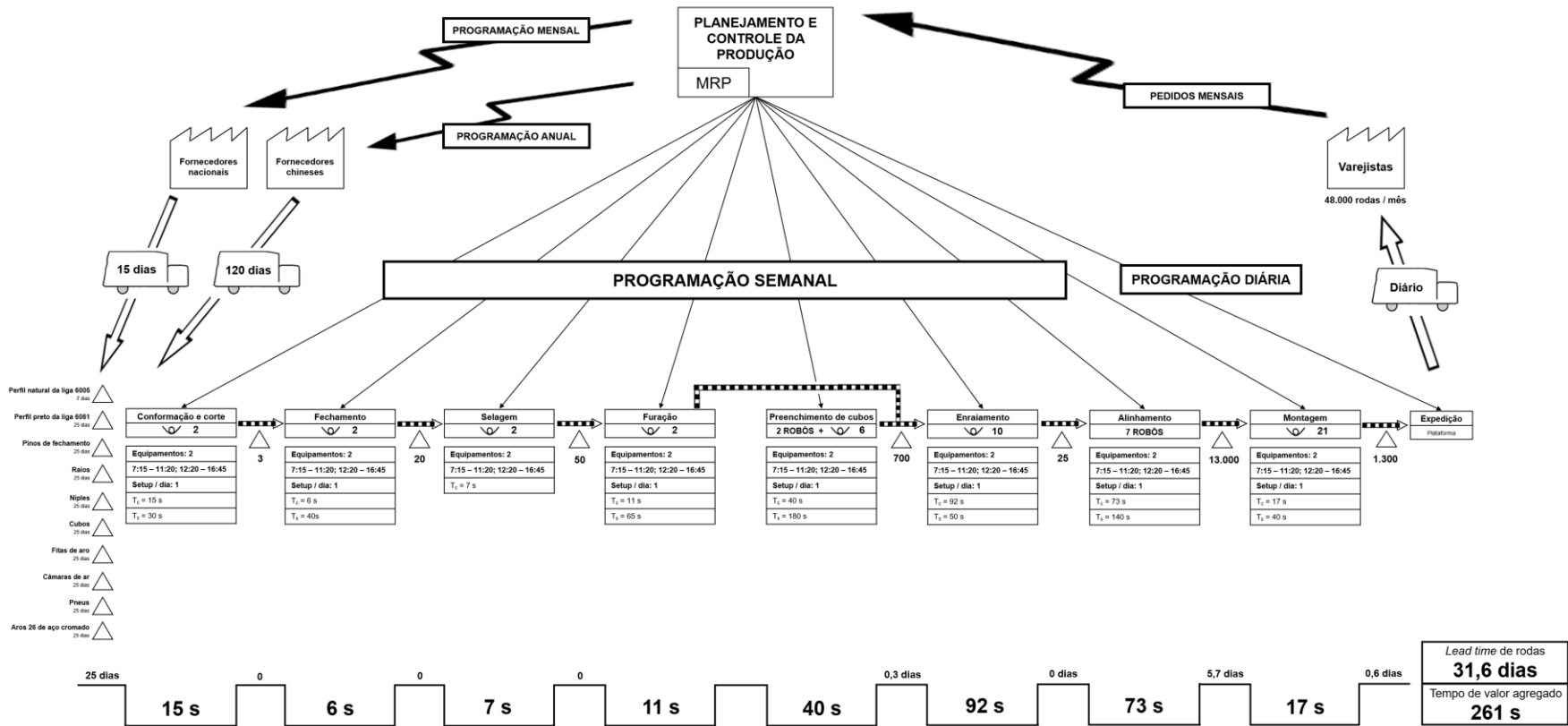
As posições dos estoques em processos foram estabelecidas com base em contagem e em estimativas de ocupação volumétrica de momento de alguns componentes, como o caso de cubos preenchidos depositados em caixas com lotação de 1000 unidades e nas rodas montadas nas monovias.

Acerca dos resultados calculados a partir dos dados coletados, obteve-se um *lead time* das rodas de 31,6 dias e um tempo de valor agregado de 261s para cada roda produzida. Os maiores estoques no momento da elaboração, em 29/08/2019, eram os de matéria-prima importada dimensionada para aproximadamente 25 dias corridos a partir da data de observação, tendo sido este prazo o maior contribuinte do *lead time* calculado.

O resultado final do MFV elaborado encontra-se ilustrado pela Figura 28.



Figura 28 – Mapa de fluxo de valor elaborado sobre o processo na divisão de rodas.



Fonte: autor.

#### 4.5. Definição de gargalos do processo

Há três operações de fabricação do aro enraiado que, além de serem consideradas críticas para o processo devido aos recursos que consomem, conforme se abordará no item 4.6, são também as que se alternam como gargalos de produção da fábrica a depender da disponibilidade de mão de obra e do planejamento do dia de produção, que ocorre com base nas posições de estoque de componentes para o aro enraiado e do próprio aro enraiado e da programação da linha de montagem de bicicletas.

A de menor capacidade da fábrica por trabalho inteiramente automatizado é a de preenchimento de cubos de roda. Operando na produção de cubos preenchidos de 36 furos, os dois robôs HFS entregam uma média de 84 cubos / h e de 762 cubos preenchidos / dia cada, totalizando 1525 cubos / dia pelo conjunto (HOUSTON BIKE, 2019). Para que a operação de preenchimento de cubos não seja um gargalo produtivo na hipótese de haver capacidade plena nas outras operações, é necessário que haja produção manual equivalente à de ao menos 6 operadores em um dia de trabalho, que produzam uma média de 230 cubos preenchidos / dia cada. A média atual de produção manual de cubos preenchidos é de 252 cubos / dia por operador (HOUSTON BIKE, 2019).

Na sequência, a operação de alinhamento e tensionamento, realizada exclusivamente por robôs na Houston Bike em sua capacidade plena, figura como gargalo sob as seguintes condições:

- Haver operação dos dois robôs preenchedores de cubos;
- Haver 7 ou mais operadores de preenchimento manual de cubos de roda atuantes;
- Haver 9 ou mais enraidores atuantes;

O conjunto de robôs processa uma média de 345 aros / h, sendo em média 301 aros / h aprovados (87,3%) sem necessidade de retrabalho. Sua capacidade total de processamento de aros enraizados é, com isso, de 2936 aros / dia e de 2562 aros / dia sem retrabalho (HOUSTON BIKE, 2019) sob estas condições atualmente verificadas.

Por fim, a operação de enraimento é potencial representativa do gargalo produtivo da divisão de rodas quando não há capacidade plena nas 11 posições de enraimento existentes, sob as condições de:

- Haver operação dos dois robôs preenchedores de cubos;
- Haver 7 ou mais operadores de preenchimento manual de cubos de roda atuantes;
- Haver operação dos 7 robôs de alinhamento e tensionamento;

- Haver 8 ou menos enraiaadores atuantes no total.

A produção média por enraiaador atual é de 39 aros / h (HOUSTON BIKE, 2019), de forma que a capacidade total teórica da operação seja de 438 aros / h e de 3724 aros / dia nas 11 posições de enraiamiento existentes. Por limitação de recursos humanos a 10 enraiaadores, no entanto, a capacidade plena atual de produção é reduzida a 398 aros / hora e 3386 aros / dia.

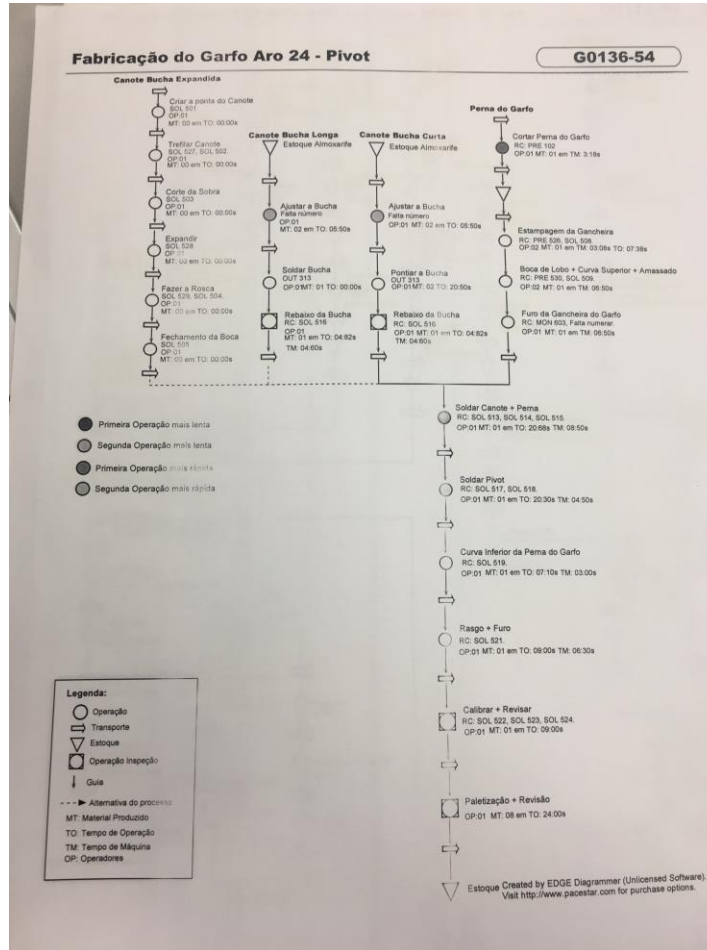
A análise levou em conta a capacidade atual da fábrica de 2 robôs de preenchimento de cubos em paralelo, 7 máquinas de alinhamento e tensionamento em paralelo e 11 máquinas de enraiamiento em paralelo.

#### **4.6. Desenho de fluxograma completo da divisão de rodas**

Apesar de ser compreendida pela Diretoria como a área de maior necessidade de atenção particularizada da fábrica na Houston Bike, a divisão de rodas não conta com uma representação de seu processo de fabricação do componente que se mostre detalhada. Para fins de auditoria, registra-se apenas por escrito alguns dos procedimentos realizados na fabricação, sem detalhamento do maquinário envolvido, das quantidades de material produzidas, do número de operadores envolvidos e dos tempos de processo.

Houve no passado, no entanto, a representação de outros processos da fábrica com base no modelo SLP, em grau mais elevado de descrição das etapas ocorridas durante o processo de fabricação. Em função da complexidade e da importância estratégica da fabricação do componente roda para as bicicletas, propôs-se a elaboração de um fluxograma descritivo do processo da divisão de rodas. Um modelo previamente utilizado, apresentado na Figura 29, foi utilizado por base e serviu à seleção das informações mínimas a serem incluídas no novo modelo descritivo da fabricação das rodas.

Figura 29 – Modelo de fluxograma de processo histórico da Houston Bike.



Fonte: Houston Bike (2006).

Não há registro da replicação deste modelo para outros processos da fábrica, de forma a demonstrar uma inconsistência de documentação da Houston Bike.

A representação do fluxo de atividades na divisão de rodas se deu também com base no modelo SLP, com verificação todas as ações que envolvessem operações ou inspeções sobre o material em processo ou seu transporte, sua espera ou sua estocagem. Assim como no modelo antigo desenvolvido para processo de fabricação de garfo, utilizou-se da simbologia padronizada da ASME na representação das etapas verificadas e buscou-se a inclusão de todas as atividades que modificam a posição ou o estado do material envolvido, seja na transformação por meio das operações sobre ele realizadas ou no seu preparo, como em casos de necessidade de desembalagem para uso do material.

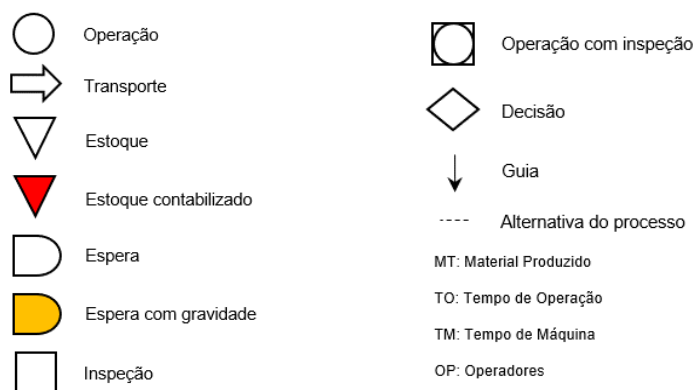
Devido a particularidades verificadas na divisão de rodas da Houston Bike, julgou-se apropriado diferenciar as esperas convencionais das esperas que ocorrem com auxílio da gravidade uma vez que, no caso das que se beneficiam da força natural, não há necessidade de transporte do material entre o local de onde parte ao local em que a operação seguinte é realizada sobre ele. Destaca-se o caso do aro enraiado levado das máquinas de enraiamento aos robôs de alinhamento e tensionamento por trilhos com diferenças de altura entre a entrada e a chegada aos robôs. Também se fez a opção por destacar os estoques contabilizados pela empresa dos demais estoques verificados no processo.

Há também cenários de decisão sobre o destino do material em processo ao término de uma atividade. Para que fossem representados no fluxograma, uma adaptação foi feita ao modelo convencional com inclusão da figura de um losango representativo destes cenários. Quando de sua ocorrência, deve haver um material entrante pelo topo do losango e ao menos dois destinos de seu envio com saídas pelas laterais ou pela extremidade inferior do losango

Combinando-se a legenda previamente utilizada às ponderações feitas sobre o cenário real observado, chegou-se a uma proposição de itens constantes no fluxograma do processo ocorrido na divisão de rodas e a uma legenda modificada, semelhante à do modelo observado na Figura X, porém com a inclusão das representações diferenciadas previamente descritas. O modelo de legenda adotado para o fluxograma da divisão de rodas é ilustrado pela Figura 30.

**Figura 30** – Legenda adotada para fluxograma de processo da divisão de rodas.

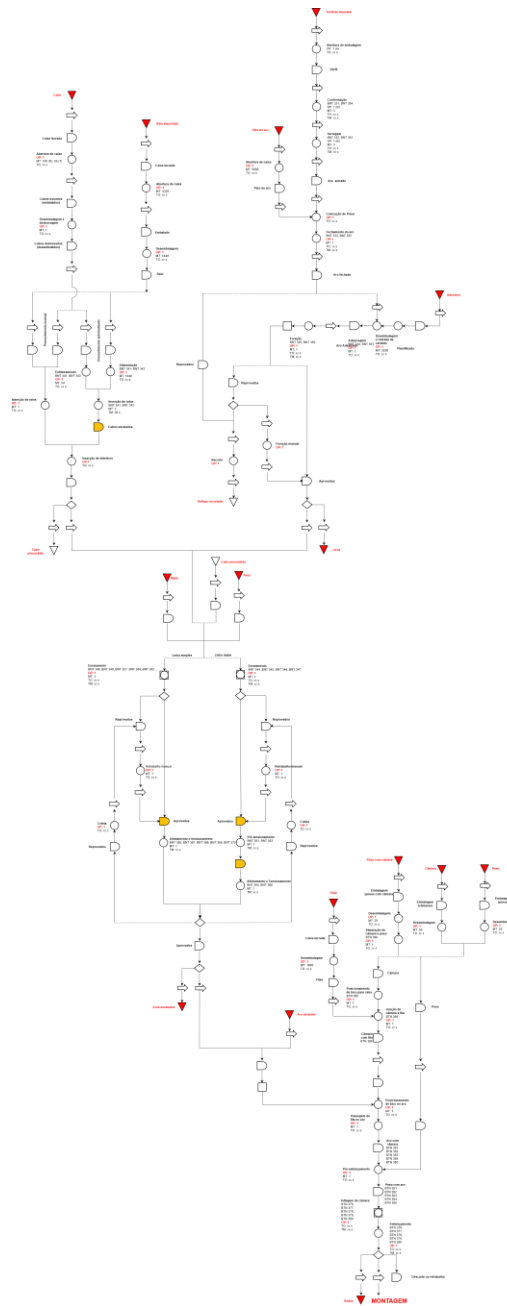
**Legenda:**



Fonte: adaptado de Houston Bike (2006).

Assim como no modelo histórico observado da Houston Bike, o modelo desenvolvido do fluxograma do processo de fabricação de aros também inclui descrições dos números de patrimônio das máquinas e robôs executores em operações não manuais. O resultado final do fluxograma, iniciado pela matéria-prima e finalizado com a estocagem da roda montada ou seu encaminhamento para a linha de montagem, encontra-se demonstrado pela Figura 31.

**Figura 31** – Fluxograma de processo da divisão de rodas.



Fonte: autor.

## 4.7. Definição de recursos produtivos críticos da divisão de rodas

### 4.7.1. Matéria-prima

A disponibilidade de matéria-prima é de importância estratégica e determinante para a execução das operações envolvidas na fabricação de bicicletas. O abastecimento de componentes e materiais para a fábrica se mostra de acordo com o planejamento realizado em conjunto pela Diretoria e pelas divisões de Engenharia, Planejamento e Compras da Houston Bike, de forma que não represente um problema considerado de grande materialidade no cotidiano da empresa.

O componente não estrutural adquirido de fornecedores de Teresina é o selo de especificação do aro de fabricação interna. São enviados em embalagens de 3200 selos nas especificações de aro tamanho 20 e de aro tamanho 26 separadamente, e são colados nos aros antes da etapa de furação. A Figura 32 ilustra selos afixados em cartelas presentes nas embalagens enviadas à fábrica.

**Figura 32** – Selos de especificação de aros de fabricação interna.



Fonte: autor.

Para a fabricação de rodas se faz uso e do perfil de alumínio de origem nacional ou do perfil importado da China, a depender da coloração do aro produzido. Os perfis de alumínio de nacionais são da liga 6005 de comprimento 6350 mm. Seguem para a Houston Bike em embalagens contendo 20 perfis cada e são utilizados na produção dos modelos de aros de alumínio dos tamanhos 20 e 26 de coloração natural estudados. No caso dos aros de coloração

preta, o material utilizado é o alumínio da liga 6061 de origem chinesa enviado também em pacotes de 20 unidades de perfil de aro com comprimento 6350 mm. A Figura 33 mostra embalagens do perfil de alumínio importado e do perfil de alumínio nacional.

**Figura 33** – Embalagens de perfil de alumínio de origem chinesa (esq.) e nacional (c.).



Fonte: autor.

Os demais componentes utilizados são de origem chinesa. Os cubos de roda são enviados para a fábrica em embalagens contendo 50 unidades de cubos traseiros ou 100 unidades de cubos dianteiros, se forem de 36 furos na coloração preta, ou em embalagens de 100 unidades, se forem dos demais modelos. São adquiridos em oito especificações diferentes:

- Dianteiros de 28 furos e de coloração preta;
- Traseiros de 28 furos e de coloração preta;
- Dianteiros de 28 furos e de coloração cromada;
- Traseiros de 28 furos e de coloração cromada;
- Dianteiros de 36 furos e de coloração preta;
- Traseiros de 36 furos e de coloração preta;
- Dianteiros de 36 furos e de coloração cromada;
- Traseiros de 36 furos e de coloração cromada;

Os pinos de fechamento de aro são utilizados em duplas em cada unidade de aro fabricado internamente. São enviados em embalagens contendo 5000 unidades para a Houston. Os niples são padronizados para todos os modelos de aros enraçados da fábrica e são enviados em



embalagens contendo 180 grosas (25920 unidades). Os raios de roda, enviados em pacotes de 10 grosas (1440 unidades) para a fábrica em quatro especificações de tamanho diferentes:

- Comprimento 187 mm para os aros dianteiros de tamanho 20;
- Comprimento 184 mm para os aros traseiros de tamanho 20;
- Comprimento 262 mm para os aros dianteiros de tamanho 26;
- Comprimento 276 mm para os aros traseiros de tamanho 27;

A Figura 34 expõe os componentes mencionados na sequência de apresentação.

**Figura 34** – Cubo de roda de 36 furos dianteiro (esq.), pinos de fechamento de aro (c. esq.), niple de fixação de raios nos aros (c. dir.) e raios de roda dos modelos de aro 20 e aro 26 (dir.).



Fonte: autor.

Há três outros componentes incorporados ao aro enraiado na montagem da roda, última etapa do processo. As fitas de aro são adquiridas nos tamanhos dos aros 20 e 26 e são enviadas em embalagens de cada modelo contendo 1600 unidades. As câmaras e pneus, também específicos de cada tamanho de aro, são enviados em conjuntos de câmara envolta pelo pneu nos modelos que compõem o aro 26 de alumínio ou separadamente nos modelos que compõem outros modelos de aro, de forma que:

- Conjuntos de câmara e pneu para o aro de alumínio tamanho 26 são enviados em embalagens contendo 25 conjuntos;
- Câmaras para o aro de alumínio tamanho 20 são enviados em embalagens contendo 50 unidades;
- Câmaras para o aro de aço cromado tamanho 26 são enviados em embalagens contendo 50 unidades;

- Pneus para o aro de alumínio tamanho 20 são enviados em embalagens contendo 25 unidades;
- Câmaras para o aro de aço cromado tamanho 26 são enviados em embalagens contendo 25 unidades;

A Figura 35 destaca os componentes citados em seus modelos especificados.

**Figura 35** – Fitas de aro (esq.) e câmaras de ar (c.) dos tamanhos 20 (internas) e 26 (externas) e pneus (dir.) dos tamanhos 20 (interno), 26 para o aro de alumínio (externo) e 26 para o aro de aço cromado (abaixo).



Fonte: autor.

Dentre os modelos contemplados no estudo, o modelo de aro enraiado tamanho 26 de aço cromado é o único que faz uso de aro importado. O componente é importado de fornecedores chineses e é enviado para a Houston Bike com fechamento, furação e cromagem e furação já realizados na origem. A Figura 36 ilustra o aro de aço cromado adquirido pela empresa.

**Figura 36** – Aro de aço cromado tamanho 26 importado.



Fonte: autor.

#### **4.7.2. Recursos Humanos**

A maior parte das funções exercidas por colaboradores da divisão de rodas não exigem uma capacitação ou um treinamento duradouro que possam significar ganhos expressivos na produtividade do setor, desde que executadas pelos operadores com atenção e de acordo com diretrizes previstas. Dentre elas se destacam as funções de abastecimento e recolhimento de matéria-prima e de componentes em processo nas estações de trabalho e nas saídas de máquinas, bem como as operações realizadas na fabricação dos aros de alumínio e na montagem das rodas, que finalizam o processo de fabricação do componente roda a ser enviado para a linha de montagem. Na falta de operadores para uma destas funções, é possível realocar algum ou alguns dos 53 colaboradores do setor para executá-las em caráter de exceção, sem que se incorra em perdas produtivas significativas na divisão de rodas.

Há, no entanto, operadores com capacitação específica que são potenciais comprometedores da produção em casos de ausência de um dia de atividades da fábrica uma vez que não podem ser substituídos em suas funções sem perdas para o setor. Nesse sentido, estacam-se dentre os 53 colaboradores da divisão:

- 1 líder de Manutenção da divisão de rodas;
- 1 técnico de Manutenção da divisão de rodas;
- 10 colaboradores capacitados para a operação de enraimento;

Também podem ser mencionados os 2 operadores dos robôs preenchedores de cubos existentes como potenciais causadores de perturbações do sistema em casos de ausência. Estes, no entanto, são rotativos a cada semestre ou ano e há atualmente outros colaboradores da divisão de rodas que já exerceram a função anteriormente. Não deve ocorrer, no entanto, a dispensa simultânea de um dos operadores designados e de todos estes outros colaboradores em um mesmo dia ou em um mesmo período para que não haja necessidade de desativação de um dos robôs.

#### **4.7.3. Equipamentos**

##### **4.7.3.1. Robôs de preenchimento de cubos de roda**

Existem dois robôs do modelo *Hub Filling Station* (HFS) produzidos pela fabricante Holland Mechanics na Houston Bike. O conjunto atua em paralelo na produção de cubos de roda preenchidos para os modelos de aro de roda 26 e 36 furos dianteiros e traseiros, sendo cada

robô dedicado a um deles exclusivamente. A Diretoria compreende que a operação destes robôs é crítica por motivos que incluem:

- serem apenas dois robôs para a função na fábrica;
- serem os robôs de maior custo de aquisição dentre o maquinário da divisão de rodas;
- necessitarem de grande remanejamento de colaboradores (até 5, capazes de preencher entre 200 e 280 cubos diariamente a depender da habilidade do operador e do modelo preenchido) para substituir seu trabalho em caso de paradas não programadas, sobretudo nos períodos de alta demanda (HOUSTON BIKE, 2019);
- operarem com utilização de matéria-prima de qualidade inferior à especificada pelo fabricante para a vazão projetada de 120 cubos preenchidos / h do robô (HOLLAND MECHANICS, 2019), em especial os cubos de roda de menor custo adquiridos pela Houston para a fabricação das rodas.

Segundo operadores e manutentores dos robôs, a qualidade dos cubos afeta sua produtividade por não disporem os furos para inserção de raios de maneira equidistante ao longo de suas paredes, em ambos os lados. Desvios de posição significativos atrasam a ação do robô por obrigarem-no a realizar mais de uma tentativa de inserção do raio no furo, combinando-a com pequenos movimentos rotacionais do cubo sobre seu eixo de giro, alternados nos sentidos horário e anti-horário, a cada tentativa. Após 5 tentativas mal-sucedidas, o robô é programado para parar sua operação automaticamente até a interferência do operador.

Ao longo do ano de 2019, após a introdução do plano de manutenção preventiva, os robôs entregaram, cada um, uma média de 89 cubos de roda preenchidos / h e uma média diária de 762 cubos de roda (HOUSTON BIKE, 2019). Não houve desativação prolongada para manutenção corretiva a partir de 12/2/2019, quando o robô antes inativo teve sua operação retomada. A Figura 37 apresenta a vista frontal do robô HFS.

**Figura 37** - Robô HFS preenchedor de cubos de roda.



Fonte: autor.

#### **4.7.3.2. Máquinas de enraimento**

As máquinas de enraimento trabalham em conjunto com o operador capacitado para o enraimento. O ganho de produtividade que representam se dá em seu rosqueamento dos niples nos raios após sua passagem por um furo no aro. A inserção das extremidades livres dos raios de nos furos do aro é realizada pelo operador, ora com a mão esquerda e ora com a mão direita.

São 11 máquinas existentes de dois tipos, divididos em 5 modelos: CL, CL-C, SL, ISL e um quinto modelo não identificado, porém denominado internamente ISL-0 por assemelhar-se ao modelo ISL e por anteceder-lo em data de fabricação. Os modelos CL e SL dispõem apenas de ajustes manuais de altura e passo da agulha inseridora de niples no raio do aro, enquanto os modelos CL-C, ISL e ISL-0 contam com câmeras integradas a inteligência eletrônica para ajustes automatizados da posição da agulha baseados na localização do furo do aro.

A criticidade da operação reside na capacidade de entrega por enraizador significativamente aumentada pelo uso da máquina. Com base no histórico da Houston Bike, tem-se que os resultados de entrega de aros enraizados / hora por operador, a depender de sua habilidade e do modelo produzido, variam entre:

- 7 a 13 aros produzidos em uma operação totalmente manual, atualmente não realizada na Houston Bike (HOUSTON BIKE, 2015);
- 34 a 53 aros produzidos com uso das máquinas de enraimento (HOUSTON BIKE, 2019).

A Figura 38 mostra os modelos de máquinas de enraimento CL e ISL.

**Figura 38** – Máquinas de enraimento dos modelos CL (esq.) e ISL (dir.).



Fonte: autor.

#### **4.7.3.3. Robôs de pré-tensionamento**

Há duas unidades do modelo de robô DF-A que operam na função de pré-tensionamento dos aros de roda em duas das nove linhas de enraimento, alinhamento e tensionamento existentes. As vantagens da configuração da linha que o posiciona entre as máquinas de enraimento e o robô alinhador e tensionador de aros de roda são:

- sua entrega de aros com raios igualmente tensionados entre si para o robô à sua frente (HOLLAND MECHANICS, 2019);
- possibilidade de suceder o trabalho de 2 máquinas de enraimento, atuantes em paralelo (HOLLAND MECHANICS, 2019).

Diferenciam-se dos outros robôs de função semelhante existentes na Houston Bike por contarem com 4 braços mecânicos para tensionamento dos niples e, com isso, realizarem o trabalho com maior velocidade. A configuração atual dos robôs permite o trabalho do robô sobre qualquer modelo de aro em até 35 segundos (HOUSTON BIKE, 2019), de forma a não representar um gargalo na linha.

Em situações emergenciais, podem operar realizando o trabalho completo de alinhamento e tensionamento de raios executado por outros robôs, com 2 ou 4 braços mecânicos em funcionamento. O robô DF-A, porém, não dispõe do dispositivo de direcionamento de peças aprovadas e rejeitadas na saída em sua saída como os robôs de outros modelos próprios para a função.

#### 4.7.3.4. Alinhamento e finalização de tensionamento

Em série com os robôs DF-A são instalados robôs DC-F, um em cada linha, para a finalização do tensionamento de aros enraçados e seu alinhamento. Operam com 2 braços mecânicos e recebem os aros enraçados dos robôs DF-A dentro de tolerâncias de aperto homogêneo programadas a fim de agilizar seu trabalho. Sua média de produção diária em cada robô é de 593 unidades de aro enraçado, sendo em média 516 (87,0%) aprovados (HOUSTON BIKE, 2019). A Figura 39 exibe um robô DF-A e um robô DC-F, posicionado logo à frente de um robô DF-A, visível ao fundo.

**Figura 39** – Robôs DF-A (esq.) e DC-F (dir.), posicionados em série na Houston Bike.



Fonte: autor.

#### 4.7.3.5. Alinhamento e tensionamento

Os demais modelos de robôs presentes nas outras 7 linhas realizam o trabalho completo de alinhamento e tensionamento de aros enraçados até as especificações e tolerâncias de aperto e alinhamento finais do aro enraçado. Contam com 2 braços mecânicos para a realização do trabalho e dividem-se entre os modelos DC-C (2 robôs), DC (2 robôs), DAC (1 robô), DA (1 robô) e HT-60081 (1 robô). Os robôs dos modelos DC-C contam com acionamento elétrico de motores das garras de aperto de niple, enquanto os robôs dos modelos DC, DAC, DA e HT-60081 dispõem de acionamento pneumático desses motores.

Considerando a desativação de momento dos robôs DA e HT-60081, a média de produção diária dos 5 robôs ativos é de 350 unidades de aro enraçado em cada um, sendo deles 306 (87,6%) em



média aprovados (HOUSTON BIKE, 2019). A Figura 40 exibe os modelos de robô DC-C, DC e DAC.

**Figura 40** – Robôs DC-C (esq.), DC (c.) e DA (dir.) de operação automatizada de alinhamento e de tensionamento.



Fonte: autor.

#### **4.8. Reelaboração de documentação de manutenção autônoma**

Dentre as operações consideradas críticas ao processo de fabricação de aros enraizados na divisão de rodas, duas delas envolvem operadores de máquina e ou robô responsáveis por mantê-los, de forma a se respeitar o segundo pilar do TPM. Para tanto, há procedimentos de manutenção autônoma a serem executados durante a operação do equipamento e após o término das atividades diárias. A divisão de rodas da Houston Bike especifica a interrupção das atividades de produção 10 minutos antes do fim do expediente a cada dia para que os operadores possam utilizar este tempo na conservação de seu equipamento de trabalho, sem a necessidade de fazê-lo com rapidez.

Apesar de memorizados e praticados diariamente pelos operadores, os procedimentos em caráter instrutivo não são disponibilizados de forma listada e visível afixada junto aos equipamentos nas estações de trabalho. Isto colabora para a inconstância do trabalho realizado e gera a necessidade de consulta a operadores experientes por aprendizes, em lugar do seguimento de normas escritas.

Existem, no entanto, instruções de trabalho afixadas nas máquinas, que apresentam a descrição de passos a serem seguidos e fotografias, com destaques em vermelho, complementares às instruções textuais. O modelo em vigor é apresentado na Figura 41.



**Figura 41** – Modelo de instruções de trabalho afixado junto ao maquinário operado por colaboradores.



Fonte: Houston Bike (2019).

De maneira a oferecer o mesmo nível de instrução aos operadores também à manutenção autônoma dos equipamentos por que são responsáveis, um modelo de ficha de manutenção autônoma foi desenvolvido para os robôs de preenchimento de cubos e para cada um dos modelos de máquina de enraçamento existentes na fábrica.

Para cada um dos equipamentos, o modelo criado leva, além das informações sobre o modelo da máquina e seu código de patrimônio (BNT), as relativas a:

- Frequência de execução das atividades de manutenção autônoma;
- Momento de execução das atividades;
- Responsável pela tarefa;
- Estado de funcionamento da máquina para as atividades;
- Instrumentos necessários;
- Instruções de atividades;
- Fotografias destacadas correspondentes a cada instrução.

As instruções de trabalho se dividem entre as de inspeção visual, no início das listas, as de limpeza, no meio das listas, e as de remoção ou coleta de material ao final das listas. As fotografias correspondentes são dispostas na parte inferior da ficha e são legendadas conforme a numeração de cada instrução.

Para que se estabeleça por escrito o nível de ação corretiva desejado do operador, duas notas foram incluídas abaixo da fotografia do equipamento correspondente. A primeira destaca que o operador deve corrigir somente as anormalidades que julgar simples e rápidas de serem resolvidas. A segunda, que complementa a primeira, destaca que a Manutenção ou a liderança da divisão de rodas devem ser procurados e comunicados para a ação sobre avarias ou não conformidades de maior complexidade identificadas. O modelo resultante é ilustrado pela Figura 42.

Figura 42 – Modelo desenvolvido de diretrizes de manutenção autônoma.

<b>HOUSTON</b>		<b>MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: ENRAIADORA CL-C</b>		<b>BNT 344</b>
Frequência	Diária			
Quando	10 minutos antes do encerramento do dia			
Quem	Operador designado do dia			
Como	<b>Máquina desligada</b> , com estopa e desengraxante			
<b>INSTRUÇÕES</b>				
1	<b>Inspecionar visualmente</b> a fixação do cubo preenchido	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>CORRIGIR</b> o que for simples e que consumir pouco tempo</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Se forem verificadas <b>avarias</b> ou <b>não conformidades</b>, <b>REPORTÁ-LAS AO CHEFE DO SETOR OU A MANUTENÇÃO</b></p> </div>		
2	<b>Inspecionar visualmente</b> as roldanas de aro			
3	<b>Inspecionar visualmente</b> a agulha inseridora de niple			
4	<b>Limpar</b> as superfícies de proteção com estopa e desengraxante			
5	<b>Limpar</b> o painel de comando com estopa e desengraxante			
6	<b>Limpar</b> a carretilha de niples com estopa			
7	<b>Limpar</b> a calha com estopa e desengraxante			
8	<b>Limpar</b> o piso com estopa e desengraxante, se houver sujeira			
9	<b>Limpar</b> o reservatório de niples com ar comprimido			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 3</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 4</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 5</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 6</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 7</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 8</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>INSTRUÇÃO 9</p> </div> </div>				

Fonte: autor.

#### **4.9. Elaboração de plano de capacitação para a operação de enraçamento**

Os critérios para seleção destes colaboradores para a tarefa, bem como de outros colaboradores selecionados no passado, são de ordem qualitativa e são definidos pelo líder da divisão de rodas em conjunto com o chefe de treinamento, sendo os mais relevantes:

- Ser preferencialmente um colaborador já pertencente ao quadro de funcionários da divisão de rodas;
- Transparecer bom relacionamento com outros colaboradores no contato diário;
- Ter o desejo pessoal de ocupar a posição de enraçador;
- Demonstrar boa coordenação motora e destreza em movimentos finos.

A medida tomada para formalizar o processo de treinamento de enraçadores foi a criação de um plano estruturado de capacitação com base nas diretrizes do pilar de educação e treinamento do TPM (NAKAJIMA, 1971), tendo sido desenvolvido em conjunto com o chefe de treinamento para atender as expectativas da Houston e respeitar o prazo máximo de 12 semanas estipulado para o período de experiência. Inicialmente foram ordenadas cronologicamente as etapas de capacitação:

1. Convívio com enraçadores e observação do trabalho executado;
2. Experiência de enraçamento supervisionada
3. Experiência de enraçamento sem supervisão

Em um segundo momento definiu-se uma distribuição destas atividades ao longo das 12 semanas e os tempos de trabalho prático a ocorrer em cada uma delas. Chegou-se ao ordenamento resumido na Figura 43.

**Figura 43** – Distribuição de atividades de capacitação no cronograma.

Semana 1	Ambientação e convívio com equipe de enraidores
Semana 2	Ambientação e convívio com equipe de enraidores Experiência de enraimento de 1h, em 2 dias
Semana 3	Ambientação e convívio com equipe de enraidores Experiência de enraimento de 1h, em 3 dias
Semana 4	Ambientação e convívio com equipe de enraidores Experiência de enraimento de 1h, em 3 dias
Semana 5	Experiência de enraimento de meio período
Semana 6	Experiência de enraimento de meio período
Semana 7	Experiência de enraimento de meio período
Semana 8	Experiência de enraimento de meio período
Semana 9	Experiência de enraimento de período completo
Semana 10	Experiência de enraimento de período completo
Semana 11	Experiência de enraimento de período completo
Semana 12	Experiência de enraimento de período completo

Fonte: autor.

Por fim, definiu-se o formato final de um documento para registro diário de informações sobre o treinamento do colaborador. No cabeçalho comum a todas as páginas são incluídas informações de:

- Nome, idade e foto do colaborador em experiência;
- Tempo de empresa e setor de origem do colaborador;
- Objetivos pessoais do colaborador.

Na última página da documentação de uma semana completa de treinamento há campos para assinaturas do líder do setor, do enraidor designado para supervisão do colaborador e do chefe de treinamento. Na documentação da semana 12 também há, nesta página, um espaço para atribuição de aprovação ou reprovação no treinamento e um campo para assinatura do colaborador avaliado.

Os campos de preenchimento disponibilizados para cada dia de atividade são variáveis e respeitam o tipo de análise desejado em cada etapa do treinamento, exceto pelo campo de preenchimento da data sempre presente. Na de ambientação e convívio com enraiadores, os responsáveis pelo treinamento observam apenas aspectos qualitativos da interação entre aprendizes e operadores, como perguntas e consultas feitas, compreensão do movimento do operador, interesse pelo conhecimento da máquina e seu correto manuseio. Definiu-se assim o preenchimento de informações com apenas um campo de observações gerais nos dias de cumprimento desta etapa.

Na etapa de experiência supervisionada por enraizador qualificado se inicia a avaliação quantitativa do trabalho do aprendiz. Para tanto, faz-se uso do indicador de aros enraizados / h, tomado para controle da produção dos enraiadores na fábrica. A mensuração do trabalho com base neste indicador é feita a partir de registros de:

- Horários de início e término da atividade prática;
- Tempo decorrido de trabalho;
- Aros enraizados.

Outros campos são disponibilizados e podem ser preenchidos antes da impressão da documentação, como os referentes à máquina designada, ao modelo de aro a ser produzido pelo aprendiz e o nome de seu supervisor. A Figura 44 descreve o formato de preenchimento de informações desenvolvido para esta etapa, compartilhado também com a de experiência sem supervisão de meio período.

**Figura 44** – Modelo de preenchimento de informações da etapa de experiência supervisionada.

**DIA 16 - EXPERIÊNCIA DE ENRAIAMENTO** Data: \_\_\_ / \_\_\_ / 2019

Máquina: BNT3 Modelo enraiado: \_\_\_\_\_ Início: \_\_\_\_\_

Supervisor: \_\_\_\_\_ Término: \_\_\_\_\_

Aros enraizados: \_\_\_\_\_ Tempo (minutos): \_\_\_\_\_

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

A etapa de experiência sem supervisão de período completo também tem por objetivo avaliar o aprendiz com base nos indicadores de aros enraizados / h. Diferentemente das etapas supervisionada e não supervisionada de meio período, a de período completo apresenta metas de produção diárias e horárias estabelecidas em conjunto pelo líder do setor, pelo chefe de treinamento e pelo Planejamento da Houston em função dos resultados obtidos pelo colaborador nas semanas anteriores. Entre as semanas 9 e 12 se registram as metas de produção de aros do dia e horárias (podendo ser preenchidas previamente) e seu cumprimento ou não na data. A Figura 45 ilustra o modelo de preenchimento de informações desenvolvido para os dias de execução da etapa.


**Figura 45** – Modelo de preenchimento informações da etapa de experiência sem supervisão.

<b>DIA 41 - EXPERIÊNCIA DE ENRAIAMENTO (PERÍODO COMPLETO)</b>		Data: ____ / ____ / 2019
Máquina: <u>BNT3</u>	Modelo enraiado: _____	Início: _____
Supervisor: _____		Término: _____
Aros enraizados: _____	Meta de produção: _____	Tempo (minutos): _____
Aros enraizados / h: _____	Meta de produção / h: _____	Cumpriu meta? <b>S</b> <input type="checkbox"/> <b>N</b> <input type="checkbox"/>
Observações: _____	_____	
	_____	
	_____	
	_____	

Fonte: autor.

A documentação final dispõe de 36 páginas, sendo 3 páginas relativas a cada semana do treinamento. As duas primeiras servem ao preenchimento das informações de dois dias de trabalho em cada, enquanto a terceira conta com espaço relativo ao último dia da semana e à coleta de assinaturas. A Figura 46 mostra o modelo de disposição de uma página do documento de capacitação de um enraizador.

**Figura 46** – Modelo de página da documentação desenvolvida para a capacitação de enraiadores.

<b>HOUSTON</b>		<b>TREINAMENTO DE ENRAIADOR - SEMANA 9</b>	
Nome	<b>AUGUSTO BARROS DE CARVALHO DANTAS</b>		
Idade	<b>22</b>		
Tempo de empresa	<b>4 ANOS E 4 MESES</b>		
Setor de origem	<b>RODAS</b>		
<b>OBJETIVOS PESSOAIS</b>			
Descrição do objetivo 1			
Descrição do objetivo 2			
Descrição do objetivo 3			
Descrição do objetivo 4			
<b>ATIVIDADES DESEMPENHADAS NA SEMANA</b>			
<b>DIA 41 - EXPERIÊNCIA DE ENRAIAMENTO (PERÍODO COMPLETO)</b>		Data:	<u>    </u> / <u>    </u> / 2019
Máquina:	<u>  BNT3  </u>	Modelo enraiado:	_____
Supervisor:	_____	Início:	_____
Aros enriados:	_____	Término:	_____
Aros enriados / h:	_____	Meta de produção:	_____
Observações:	_____	Tempo (minutos):	_____
_____	_____	Meta de produção / h:	_____
_____	_____	Cumpriu meta?	S <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		
<b>DIA 42 - EXPERIÊNCIA DE ENRAIAMENTO (PERÍODO COMPLETO)</b>		Data:	<u>    </u> / <u>    </u> / 2019
Máquina:	<u>  BNT3  </u>	Modelo enraiado:	_____
Supervisor:	_____	Início:	_____
Aros enriados:	_____	Término:	_____
Aros enriados / h:	_____	Meta de produção:	_____
Observações:	_____	Tempo (minutos):	_____
_____	_____	Meta de produção / h:	_____
_____	_____	Cumpriu meta?	S <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/>
_____	_____		
_____	_____		
_____	_____		

Fonte: autor.

#### 4.10. Reelaboração de plano de manutenção preventiva

O plano de manutenção preventiva em vigor separa o maquinário da divisão de rodas em famílias sob o critério de função exercida pela máquina ou robô. Com relação às diretrizes oferecidas, estas se resumem às de inspeção visual e limpeza após os ciclos completos em paradas longas programadas, sem menção a itens de reposição com maior frequência que o



prazo do ciclo completo ou a lubrificações praticadas quinzenalmente às sextas-feiras pela Manutenção na Houston Bike.

Para se abordar as deficiências observadas no plano de manutenção em vigor, a elaboração de um novo planejamento se deu em trabalho conjunto com a Engenharia e a Manutenção da Houston Bike com o intuito de se produzir uma nova documentação e com maior nível de detalhamento. O maquinário selecionado para a elaboração inicial do novo plano é o considerado crítico no processo, conforme avaliado no item 4.6.3, que envolve os robôs e máquinas da fabricante Holland Mechanics.

Após verificação e compreensão das características do maquinário envolvido, julgou-se adequado modificar o critério utilizado no agrupamento em famílias. Com isso, a divisão em vigor de três famílias, organizadas por funções de preenchimento de cubos, enraiamento, e alinhamento e tensionamento de aros, foi alterada para a divisão em 8 famílias sob o critério de mecanismos e componentes de funcionamento. A segmentação proposta foi estabelecida em:

- Família 1 – Robôs preenchedores de cubos (2)
  - Modelo HFS: BNT 341 e BNT 343
- Família 2 – Máquinas de enraiamento com ajuste manual de altura e passo de agulha de niple (3)
  - Modelo CL: BNT 355 e BNT 357
  - Modelo SL: BNT 356
- Família 3 – Máquinas de enraiamento com ajuste automático de altura e passo de agulha de niple (3)
  - Modelo ISL-0: BNT 348 e BNT 360
  - Modelo ISL: BNT 349
- Família 4 – Máquinas de enraiamento com ajuste automático de altura e passo de agulha de niple e ajuste de altura da máquina (5)
  - Modelo CL-C: BNT 344, BNT 345, BNT 346, BNT 347 e BNT 362
- Família 5 – Robô alinhador e tensionador de conjunto pneumático e mecânico (1)
  - Modelo DA: BNT 372
- Família 6 – Robôs alinhadores e tensionadores com acionamento pneumático de motores (3)
  - Modelo DC: BNT 367 e BNT 370
  - Modelo DAC: BNT 368

- Família 7 – Robôs alinhadores e tensionadores com acionamento elétrico de motores (4)
  - Modelo DC-F: BNT 364 e BNT 366
  - Modelo DC-C: BNT 365 e BNT 369
- Família 8 – Robôs pré-tensionadores (2):
  - Modelo DF-A: BNT 361 e BNT 363

O robô alinhador e tensionador do modelo HT-60081 (BNT 371) da fabricante Shuz Tung, que seria alocado a uma nona família e que se encontra inativo, sem plano ou prazo de reativação pela Houston Bike, foi excluído do plano apesar de exercer a mesma função dos robôs de 4 das 8 famílias criadas.

A segunda etapa do desenvolvimento do plano foi o levantamento das diretrizes de lubrificação dos equipamentos já adotadas e seguidas pela Manutenção na divisão de rodas. As paradas programadas atualmente realizadas para este fim ocorrem quinzenalmente às sextas-feiras e envolvem a lubrificação de partes móveis dos robôs preenchedores de cubos, das máquinas de enraimento e dos robôs de alinhamento e tensionamento. O agente lubrificante utilizado é a graxa branca, único para todas as máquinas e cujas especificações encontram-se disponibilizadas na Figura 47.

**Figura 47** – Especificações do agente lubrificante utilizado na Houston Bike.

Cor	Branca
Temperatura de trabalho (°C)	-30 - 120
Ponto de gota, DIN ISO 2176 (°C)	> 190
Penetração trabalhada a 25°C, DIN ISO 2137, 0,1 mm	265 - 295
Classe de consistência, DIN 51818, NLGI	2
Textura	Fibra média
Viscosidade dinâmica a 25°C e coeficiente de cisalhamento de 300 s <sup>-1</sup> , mPa.s (mm <sup>2</sup> /s)	3.800
Fator de rotação (n.dm), mm/mín	500.000
Espessante	Sabão de Lítio
Óleo básico	Mineral
Viscosidade do óleo básico	140

Fonte: adaptado de NSK (2019).

Na sequência, estabeleceu-se uma listagem de todos os componentes que necessitam de ações de verificação, limpeza e troca com periodicidade determinada e conhecida pela Manutenção em cada um dos equipamentos envolvidos. A ação se deu sobre uma unidade máquina ou robô de cada família, verificando-se as particularidades dos equipamentos pertencentes a cada uma e de forma a se produzir listas distintas de itens contendo:

- Nome do item;
- Quantidade do item na máquina ou robô;
- Lubrificação necessária do item a cada 15 dias, se necessário;
- Prazo para verificação e limpeza do item, em dias corridos;
- Prazo para troca do componente, em dias corridos.

Para alguns dos itens (ex.: cilindros) julgou-se apropriado categorizá-los por função ou por tamanho, de forma segmentar as possíveis diferenças de modelo entre cada grupo de um mesmo item. Junto ao levantamento e listagem dos itens conforme descrito, também foi elaborada a segmentação entre os componentes adquiridos exclusivamente de fornecedores estrangeiros, os disponíveis no mercado nacional e os passíveis de fabricação interna na ferramentaria da própria Houston Bike. Uma vez assim divididos, estabeleceu-se com base em dados históricos da Houston os critérios de *lead time* futuros a se adotar pelo almoxarifado em seu planejamento de compras dos componentes levantados, com margens de tempo consideradas seguras à disponibilidade nas datas previstas de ações de manutenção preventiva em cada robô. Estabeleceram-se os *lead times* de:

- 120 dias de antecedência para aquisição de componentes junto a fornecedores da Ásia;
- 90 dias de antecedência para aquisição de componentes junto a fornecedores da Europa;
- 15 dias de antecedência para aquisição de componentes junto a fornecedores do mercado nacional.

A Figura 48 destaca um modelo de diretrizes estabelecidas para máquinas de enraimento do modelo ISL, replicado e adaptado ao restante do maquinário contemplado na elaboração do novo plano de manutenção preventiva.

**Figura 48** – Modelo de diretrizes de manutenção preventiva desenvolvido para o maquinário da fabricante Holland Mechanics presente na Houston Bike.

Item	Qte	Lubrificação	Verificação e Limpeza	Troca
<b>Importados</b>				
Placas	8		360	3600
Placa de memória	3		360	3600
Bateria da placa de memória	1		360	3600
CI	1		360	3600
Câmera	1		360	3600
Driver de regulagem de altura	1		360	1800
Driver de motor	1		360	3600
Encoder	1		360	3600
Inversor	1		360	3600
Transformador	1		360	3600
Capacitor	1		360	3600
Chave geral	1		360	3600
Contacto	1		360	3600
Motores	3			
Giro da broca	1		360	3600
Passo	1		360	3600
Altura	1		360	3600
Painel	1		360	2160
Display	1		360	1080
Fonte	1		360	3600
<b>Nacionais</b>				
Sensores	4			240
Reguladores de fluxo	12			
1 entrada	8		30	60
2 entradas	4		30	60
Mangueiras				
4 mm				120
6 mm				120
8 mm				120
Válvulas	8		180	540
Correia	6			
Motor de passo	3			90
Motor de giro da broca	1			180
Encoder	1		180	360
Regulagem de altura	1	15	180	360
Cilindros	9			
Acionamento do niple	1		30	60
Alimentador do niple	1		30	60
Pescador do niple	1		30	60
Avanço da broca	2	15	30	90
Fixador do encoder	1		30	60
Fixador do aro nas roldanas	1		30	60
Travamento do aro	1		30	60
Recuo da broca	1		30	60
Botões	3		360	3600
Molas	4			
Acionamento do niple	2			120
Passador do niple	1			120
Travamento do aro	1			120
Unibols	6			
M5	2		360	1080
M8	2		360	1080
M12	2		360	1080
Rolamentos	8			
Motor de passo	2	15	120	180
Roldanas	2	15	120	180
Travamento do aro	2	15	120	180
Giro da broca	2	15	120	180
Fusíveis	2			90
<b>Ferramentaria</b>				
Agulha	1		15	45
Luva	1		360	
Roldanas	3			30
Fixação de cubos	1		360	
Polias dentadas	11		360	

Fonte: autor.

Com relação aos itens passíveis de fabricação interna, definiram-se como critérios para produção:

- Usinagem semanal de itens com frequência de troca inferior a 60 dias;
- Usinagem quinzenal de itens com frequência de troca entre 60 e 90 dias;
- Usinagem repositória de consumo de almoxarifado, sob colocação de pedido, de itens com frequência de troca acima de 90 dias, ou sob colocação de pedido da Manutenção em caráter emergencial.

#### **4.11. Teste em robô de alinhamento desativado**

O trabalho sobre o aro de aço cromado importado foi apontado pela Manutenção como principal causador das paradas para reajuste de setup e para manutenção corretiva dos robôs de alinhamento e tensionamento, ainda que não houvesse dados amostrais que comprovassem a afirmação.

Como forma de diminuir as paradas nestes robôs, sugeriu-se à Diretoria, à Engenharia e à Manutenção a reativação do robô do modelo DA, mais obsoleto e desativado por falta de componentes no almoxarifado da Houston Bike. para a execução de testes de alinhamento e tensionamento do aro de aço cromado importado. O teste permitiria também a comparação com resultados de tempos de trabalho de outro robô sobre o mesmo aro previamente coletados.

Com a aprovação das partes envolvidas, novos motores de aperto de niple foram adquiridos para o robô DA e montados no lugar dos motores falhos. O preparo do robô para o teste também incluiu a troca de mangueiras por novas, sua lubrificação, sua limpeza, seu setup para o aro tamanho 26 de aço cromado e sua calibração durante a passagem de algumas unidades de aro.

Ao término da preparação, foi executado em 30/10/2019 o teste com 30 unidades do aro objeto de estudo. Os resultados de tempos de trabalho encontram-se descritos na Tabela 3.

**Tabela 3** – Tempos de alinhamento e tensionamento de rodas observados em teste no robô DA.

Medida	Tempo (s)	Medida	Tempo (s)
1	53,13	16	59,70
2	53,23	17	49,92
3	56,20	18	46,61
4	57,46	19	58,72
5	63,26	20	50,16
6	53,63	21	63,08
7	53,62	22	53,48
8	60,76	23	77,50
9	69,38	24	67,83
10	56,20	25	65,00
11	52,85	26	65,28
12	54,16	27	62,20
13	55,23	28	75,20
14	53,92	29	58,95
15	60,56	30	53,72

Fonte: autor.

Registros prévios feitos pela Houston Bike apresentam uma coleta de tempos de alinhamento e tensionamento de 20 aros de aço cromado em um robô do modelo DC. O tamanho da amostra é diferente do teste realizado em outubro e novas medidas não foram realizados devido à ocupação dos robôs com aros de outros modelos em fabricação. A Tabela 4 ilustra a coleta de dados mencionada.

**Tabela 4** – Tempos de alinhamento e tensionamento de rodas coletados no robô DC.

Medida	Tempo (s)	Medida	Tempo (s)
1	55,35	11	69,11
2	83,54	12	67,24
3	65,92	13	54,76
4	61,33	14	66,12
5	92,58	15	63,73
6	53,31	16	61,17
7	77,40	17	51,02
8	70,89	18	57,33
9	69,20	19	64,14
10	59,62	20	62,44

Fonte: Houston Bike (2019).

A Tabela 5 resume os dados referentes aos tamanhos de amostra e aos valores calculados de média, desvio padrão e variância amostrais das coletas de tempo (segundos) de processamento

do alinhamento e tensionamento dos aros enraçados nos robôs DC (amostra 1) e DA (amostra 2).

**Tabela 5** – Tempos de alinhamento e tensionamento de rodas coletados nos robôs DC e DA.

$n_1$	20	$n_2$	30
$\bar{x}_1$	65,31	$\bar{x}_2$	58,70
$s_1$	10,23	$s_2$	7,27
$s_1^2$	104,60	$s_2^2$	52,81

Fonte: autor.

Uma consequência não antecipada e resultante do teste realizado sobre o robô DA foi a descoberta de que as máquinas de enraçamento sem ajuste automático de altura e passo da agulha inseridora de niples nos raios de roda (modelos CL e SL) não são adequadas para o trabalho sobre o aro de aço cromado hoje importado pela Houston. O layout atual da divisão de rodas fez com que inicialmente se tentasse sequenciar o enraçamento do aro de aço cromado que seria testado na máquina de enraçamento BNT 355 (modelo CL), presente na linha do robô DA testado, o que não havia ocorrido anteriormente. Como resultado, o tempo médio de finalização de um enraçamento foi sempre superior a 150 segundos nas poucas tentativas realizadas antes da mudança do enraçamento para a máquina BNT 349 (modelo ISL, com ajustes automáticos da altura e do passo da agulha inseridora da niples), em que se processa o aro habitualmente. A mudança reduziu o tempo médio de enraçamento verificado para aproximadamente 77 s na produção do lote testado no robô DA (HOUSTON BIKE, 2019).

#### 4.12. Proposição de novo layout

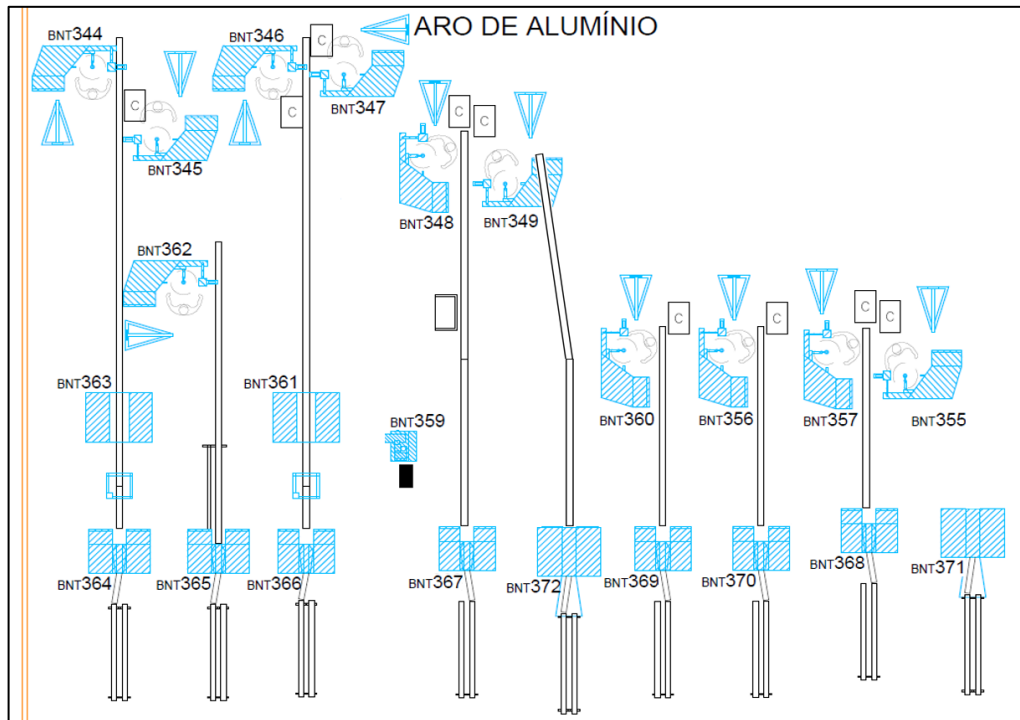
Considerando-se a possibilidade de retomada de utilização do robô DA testado às atividades diárias da fábrica, um novo *layout* foi elaborado respeitando-se a condição descoberta com o teste realizado sobre o robô DA, descrito no item 4.11, e com o intuito de produzir combinações de máquinas de enraçamento e robôs de alinhamento e tensionamento de graus de complexidade e potencial produtivo mais coerentes entre si do que algumas das combinações hoje existentes nas linhas.

A configuração sugerida no *layout* proposto e ilustrada pela Figura 49 foi a de 8 linhas ativas, com os seguintes arranjos de famílias de máquinas em conjunto:

- Linha 1 (sem alteração) – família 4, família 7 e família 8:
  - Enraiadoras BNT 344 (CL-C) e BNT 345 (CL-C) em paralelo;
  - Robô pré-tensionador BNT 363 (DF-A);
  - Robô alinhador e finalizador de tensionamento BNT 364 (DC-F).
- Linha 2 (sem alteração) – família 4 e família 7:
  - Enraiadora BNT 362 (CL-C)
  - Robô alinhador e tensionador BNT 365 (DC-C).
- Linha 3 (sem alteração) – família 4, família 7 e família 8:
  - Enraiadoras BNT 346 (CL-C) e BNT 347 (CL-C) em paralelo;
  - Robô pré-tensionador BNT 361 (DF-A);
  - Robô alinhador e finalizador de tensionamento BNT 366 (DC-F).
- Linha 4 – família 3 e família 6:
  - Enraiadoras BNT 348 (ISL-0) ou BNT 349 (ISL) em caráter rotativo;
  - Robô alinhador e tensionador BNT 367 (DC).
- Linha 5 – família 3 e família 5:
  - Enraiadora BNT 349 (ISL);
  - Robô alinhador e tensionador BNT 372 (DA).
- Linha 6 – família 3 e família 7:
  - Enraiadora BNT 360 (ISL-0);
  - Robô alinhador e tensionador BNT 369 (DC-C).
- Linha 7 – família 2 e família 6:
  - Enraiadora BNT 356 (SL);
  - Robô alinhador e tensionador BNT 370 (DC).
- Linha 8 – família 2 e família 6:
  - Enraiadoras BNT 355 (CL) ou BNT 357 (CL) em caráter rotativo;
  - Robô alinhador e tensionador BNT 368 (DAC).



**Figura 49** – *Layout* proposto para as linhas de enraioamento, alinhamento e tensionamento de aros enraiaados divisão de rodas da Houston Bike.



Fonte: adaptado de Houston Bike (2019).

Os aspectos favoráveis e as limitações observados do *layout* proposto serão abordadas adiante na seção 6.7.1

#### 4.13. Elaboração de plano de uso e rotatividade de maquinário

O *layout* planejado para a divisão de rodas possibilita a operação em condições semelhantes às hoje existentes em relação à ausência de setup de alguns dos conjuntos existentes e busca possibilitar o aproveitamento de equipamentos de maior produtividade em conjunto e a rotatividade de uso de equipamentos pertencentes à uma mesma família.

Com base nos dados da curva ABC de volume de produção da Houston Bike, buscou-se também a proposição de setups das linhas que permitissem escoamento adequado dos modelos de aros mais representativos em paralelo, na proporção aproximada de suas participações no portfólio da empresa e combinando suas ações entre si. Estabeleceu-se com isso as seguintes configurações:

- Linhas 1 e 3 atuantes em conjunto
  - Linha 1: setup para produção do aro 26 de alumínio dianteiro

- Linha 3: setup para produção do aro 26 de alumínio traseiro
- Linhas 2 e 6 atuantes em conjunto
  - Linha 2: setup para produção do aro 26 de alumínio dianteiro
  - Linha 6: setup para produção do aro 26 de alumínio traseiro
- Linha 4 com execução de setups de acordo com a demanda e substituta de outras linhas em paradas programadas
- Linha 5 com execução de setups de acordo com a demanda
  - Preferencial à produção do aro 26 de aço cromado dianteiro e traseiro
- Linhas 7 e 8 atuantes em conjunto
  - Linha 7: setup para produção do aro 20 de alumínio
  - Linha 8: setup para produção do aro 20 de alumínio
  - Linha 8A (enraiadora BNT 357): setup para produção do aro 20 de alumínio
  - Linha 8B (enraiadora BNT 355): setup para produção do aro 20 ou setup de acordo com a demanda, se houver alimentação pela Linha 8A (enraiadora BNT 357).

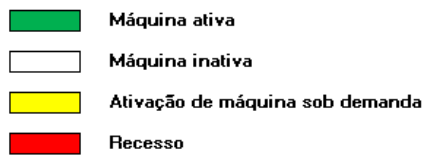
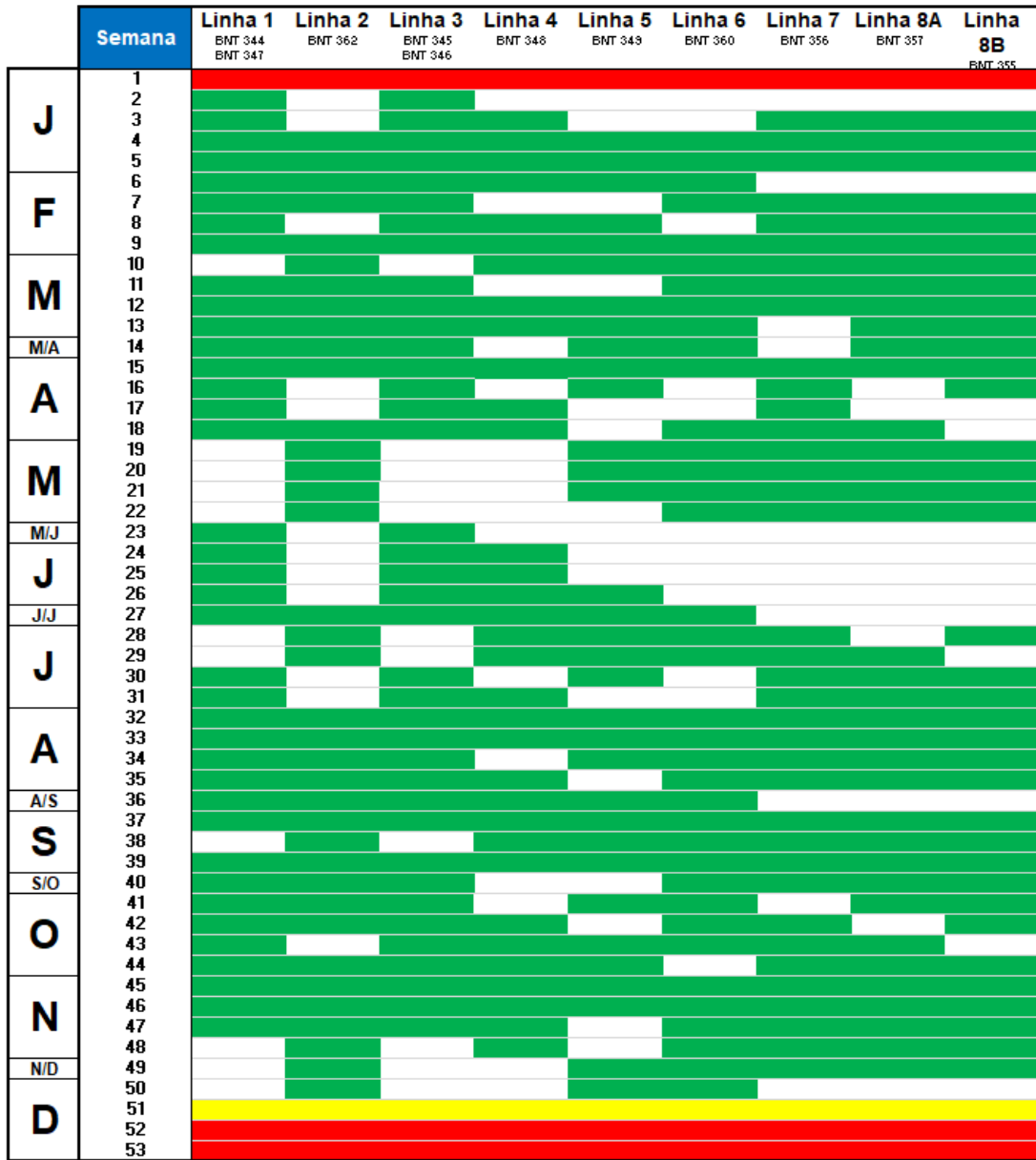
Em relação à capacidade disponível, utilizou-se por base o histórico de vendas da Houston Bike para definir as épocas de redução da mão de obra com férias dos operadores de enraimento. No caso, a baixa demanda verificada no 2º trimestre do ano possibilita que os meses de maio e junho sejam utilizados para a concessão de férias. Em cenário inverso, os meses de agosto, setembro, outubro e novembro devem ser programados com capacidade próxima à plena para se atender a demanda historicamente mais elevada do segundo semestre.

Com estas definições, executou-se então um planejamento que permitisse as paradas por igual de equipamentos de mesma família. Estabeleceu-se um cronograma de uso de máquinas de enraimento de modo a inativar as famílias conforme relacionado:

- Família 2: 13 semanas do ano;
- Família 3: 12 semanas do ano;
- Família 4: 11 semanas do ano.

O resultado do planejamento de uso das máquinas de enraimento é descrito pela Figura 50.

Figura 50 – Plano de uso e rotatividade de máquinas de enraioamento de aros.



Fonte: autor.

No caso da linhas 8A e 8B, que não devem atuar simultaneamente na alimentação da linha 8, as máquinas de enraioamento devem funcionar alternadamente entre si ao longo das semanas em

que se propõe ativação das duas linhas e, se possível, alternando o abastecimento também com desativação da enraidora da linha 7.

O mesmo objetivo de tornar o desgaste das famílias aproximadamente igual ao longo do ano se aplicou aos robôs alinhadores e tensionadores. Seu funcionamento, porém, depende do funcionamento da máquina ou das máquinas de enraimento que o alimenta ou alimentam. Combinando o cronograma das enraidoras com as condições para rotatividade dos robôs, chegou-se ao planejamento que gerou as seguintes proposições de inatividades:

- Família 5: ativação sob demanda ou para produção do aro 26 de aço cromado;
- Família 6: 12 semanas do ano;
- Família 7: 11 semanas do ano;
- Família 8: 11 semanas do ano.
- Linha 9 permanentemente desativada

O cronograma planejado para os robôs encontra-se representado na Figura 51.



As exceções às atuações em conjunto resultantes do planejamento proposto são as das semanas 43 e 44, em que as linhas 2 e 6 não atuam simultaneamente, e das semanas 13, 14, 16 e 17, em que as linhas 7 e 8 não atuam simultaneamente. Isto se deve a paradas programadas para as máquinas e robôs das linhas, e nestas datas há proposição de ativação da linha 4 no setup da linha que se encontrar desativada.

## 5. DISCUSSÃO E RESULTADOS ESPERADOS

### 5.1. Limitações à produção puxada plena

Em um momento inicial de desenvolvimento do trabalho, almejou-se a elaboração de soluções que pudessem aproximar o modelo de produção da Houston Bike de um cenário de produção puxada, enxuta e regida por princípios de fornecimento e expedição *Just in Time* (JIT), tendo por objetivos principais a redução de estoques médios de semi-acabados e de bicicletas finalizadas e de custos de operação da fábrica. O conhecimento do processo global da empresa revelou, durante o curso do estudo, dificuldades consideráveis ao estabelecimento de uma lógica de trabalho significativamente diferente da praticada na atualidade.

O maior impasse observado com relação ao fornecimento JIT de matéria-prima se deve à dependência de matéria-prima importada da China. O trânsito do material ao Piauí pode levar até 120 dias e, em função de vantagens observadas na realização de aquisição de material em grande volume, a Houston Bike a divide em 3 compras anuais dimensionadas para uma duração média de 120 dias cada. Isto representa o aproveitamento do poder de barganha do cliente sobre o fornecedor, uma das forças do modelo de Forças Competitivas (PORTER, 1980) explorado pela Houston neste sentido. A contrapartida da estratégia implementada é a impossibilidade de trabalho com JIT pleno, que encareceria os custos de aquisição da matéria-prima enviada da Ásia.

O mesmo problema é enfrentado em relação à matéria-prima de origem nacional, porém envolvendo menores distâncias físicas e *lead times* de recebimento. Ainda assim, os fornecedores chave da empresa são localizados na região Sudeste do Brasil, majoritariamente no estado de São Paulo. O tempo de expedição varia entre 7 e 45 dias a depender do componente adquirido (HOUSTON BIKE, 2019) e a compra em volumes também compensa altos valores de frete com redução sobre o valor da mercadoria adquirida em maior escala. Isto faz com que haja, também no caso da matéria-prima nacional, contribuição negativa para a adoção de um JIT de fornecimento.

Em relação à montagem, é válido destacar a existência de apenas uma linha de montagem de bicicletas ativa na fábrica entre as três de que dispõe. Em casos de produção de lotes menores de bicicletas para atender a demanda de curto prazo, seria necessário realizar mais de um setup ao dia da linha em funcionamento, o que tomaria tempo e reduziria os resultados dos indicadores mensais e diários de bicicletas produzidas controlados pela Houston Bike.

Outro fator que oferece riscos em casos de recebimentos de pedidos não previstos pelo Planejamento é o da mão de obra qualificada de enraidores. Na hipótese de ocorrência de um pedido recebido durante época de baixa disponibilidade dos operadores, como em períodos de férias concedidas a um grupo de operadores de enraimento, e que demande a fabricação de um grande número de bicicletas com rodas de aro enraiado, a fábrica ficaria sujeita a não dispor de quantidade suficiente de estoque regulador de aro enraiado que supra o pedido e a demanda convencional, sem poder contar com o recurso humano crítico para atendê-lo em prazo curto.

Em relação ao mercado, destaca-se que os contratos firmados com os varejistas mais representativos da receita da Houston Bike preveem, em sua maioria, multas a serem pagas pela empresa em caso de não cumprimento de prazos acordados. Segundo o Planejamento, há dificuldades em se fazer uso de poder de barganha na condição de fornecedor pela Houston em função da importância e da regularidade das compras realizadas por estes clientes, de forma a se compreender mais vantajoso a aceitação dos termos de contrato que prevejam prazos curtos para entrega e demandem, com isso, uma composição de itens em estoque para pronta entrega como parte da estratégia da empresa.

Há, por fim, um ponto de cultura empresarial considerável de preferência à produção voltada para estoques. Observou-se no curso do trabalho que lideranças de divisões diretamente ligadas à produção da fábrica enxergam valor na exploração plena de sua capacidade com fins de composição de estoques de produto em processo e de produto acabado como garantia de suprimento a pronta entrega, ou em *lead times* mais curtos, para o cliente. Para o futuro, no entanto, seria possível o estudo de viabilidade de um modelo produtivo que se aproxime de um JIT interno em algumas divisões da fábrica, que incluem a divisão de rodas, fazendo-se uso de dados referentes à demanda sazonal e sob a condição de garantia de abastecimento de matéria-prima da fábrica para possibilitar uma estrutura de fabricação sob pedidos de clientes internos.

## **5.2. Tecnologia aplicada e matéria-prima utilizada**

Quanto à tecnologia aplicada à fabricação dos aros enraizados na Houston Bike, observa-se que a empresa já adota soluções de referência no mercado e que já dispõe de capacidade na fábrica para o cumprimento das entregas anuais previstas pela demanda de bicicletas de aro enraiado observada nos últimos anos. Não existem diferenças consideráveis de tecnologia aplicada às etapas críticas de preenchimento de cubos, de enraimento e alinhamento e tensionamento de



aros enraizados entre a Houston Bike e suas concorrentes diretas, bem como outras fábricas pelo mundo voltadas à produção de bicicletas de baixo custo.

A aquisição de novo maquinário novo para substituição das linhas simples também por outra configuração de linha simples (1 máquina de enraimento e 1 robô alinhador e tensionador) não representaria ganhos expressivos de produtividade à Houston. Observa-se, no entanto, que a aquisição de equipamentos que compusessem linhas duplas (2 máquinas de enraimento, 1 robô de pré-tensionamento e 1 robô de alinhamento e finalização de tensionamento) para substituírem linhas simples atuais poderiam ser levada em consideração pela Diretoria no sentido de se aumentar a capacidade da fábrica para o futuro.

Quanto ao material, destaca-se que o critério de seleção de fornecedores de componentes, sobretudo dos importados, é o de custo (mais baixo) de material que garanta a qualidade final do produto esperada pela Houston Bike. Dentre eles, os cubos de roda são tidos como os maiores geradores de perdas de tempo de operação de máquinas por paradas, que se dão em função de sua má qualidade de furação e fazem com que aproximadamente 26% da capacidade nominal de produção horária dos robôs HFS seja perdida. Seu custo de aquisição e o deslocamento de mão de obra para o preenchimento de cubos manual, porém, são entendidos como compensadores na escolha feita pelo material em questão.

### **5.3. Nova documentação**

A partir da nova documentação elaborada para atividades de representação de processos em fluxogramas, de execução de serviços de manutenção preventiva, de instruções de manutenção autônoma e de plano de capacitação de operadores, espera-se poder replicar os modelos desenvolvidos para outros processos e treinamentos da fábrica mediante adaptações necessárias. Com relação à possibilidade de utilização do modelo de fluxogramas de processo e de seu nível de análise, sugere-se à Houston Bike a aplicação em duas fases:

1. Desenho do fluxograma de um processo – reconhecimento de todas as operações a ele relativas na execução de todos os modelos de componentes ou de produto em processo gerados e consumidos, com elaboração de fluxogramas ramificados e representativos de todas as etapas e sequências possíveis;

2. Desenho do fluxograma do processo aplicado ao modelo de bicicleta – elaboração particularizada para cada modelo, com tempos de operação e dados de consumo e geração de material próprios.

Com relação à manutenção autônoma, a documentação no modelo criado busca diminuir a inconsistência das ações do operador e a dependência de sua experiência e memória para manter o equipamento limpo, lubrificado e em boas condições de uso. Com isso, espera-se a padronização dos resultados obtidos em manutenção autônoma após a listagem de itens de verificação, limpeza e lubrificação quando necessário em cada máquina ou robô presente na fábrica da Houston Bike, a se iniciar pelos modelos relacionados como objetos deste estudo. Também é esperada a transmissão de conhecimento mais eficiente por meio de documentação escrita e visual e percepção de valor do material afixado junto às máquinas para fins de auditoria externa realizada na Houston Bike.

Em relação a uma observação feita pelo setor de Pessoal da empresa com relação à atribuição de responsabilidades de manutenção de equipamentos, as instruções de manutenção autônoma com observações para convocação da mão de obra especializada para fins corretivos de anormalidades torna documental e visível ao operador a separação das tarefas designadas a ele e à Manutenção, diminuindo com isso a probabilidade de reivindicação por remuneração em função de serviços corretivos além da prevista para o cumprimento de sua função contratual.

A capacitação para a operação de enraioamento é compreendida como positiva para os operadores da divisão de rodas e, de certa forma, é considerada uma habilidade que eleva o status do colaborador perante seus colegas. Julgou-se apropriada a inclusão de objetivos pessoais do colaborador em experiência em sua documentação para verificar sua aderência futura à posição de enraioador e seu envolvimento com a empresa, de forma a preteri-lo ou requisitá-lo quando não estiver exercendo a função e estiver disponível para tanto, sob cenários de imprevistos com outros colaboradores ou de demanda acrescida.

Por fim, a documentação de manutenção preventiva, a ser abordada no item 5.5, também se espera replicada a outros equipamentos da fábrica e colaboradora de um controle de almoxarifado mais aprimorado, além de colaboradora para um melhor planejamento de compras de componentes para os equipamentos da fábrica.

#### **5.4. Capacitação para a operação de enraimento**

A operação de enraimento de aros foi avaliada como crítica à produção na divisão de rodas por depender de colaboradores capacitados e treinados especificamente para sua execução. Sendo a equipe composta de 10 colaboradores possíveis de serem atuantes em paralelo nos dias atuais, um evento de ausência de enraizador na fábrica pode gerar uma queda da ordem de 10% na produção prevista de um dia, situação não desejada pela empresa. Soma-se a este fato a rotatividade anual da equipe de enraimento ser da ordem de 20%, proporção verificada também no período entre 2018 e 2019 quando 2 colaboradores foram incorporados em lugar de outros 2 (HOUSTON BIKE, 2019).

Em relação aos recursos atualmente disponíveis para a operação, verifica-se a ocorrência de mais posições de enraimento em máquinas na fábrica (11) do que colaboradores capacitados, de forma que ao menos 1 máquina de enraimento esteja fora de uso a todo o tempo e, conseqüentemente, que não se possa aproveitar plenamente a capacidade da fábrica.

Apesar de serem conhecidas as etapas do período de experiência de um novo operador pelos responsáveis por seu treinamento, bem como aspectos desejáveis de comprometimento com a tarefa e de evolução observável da habilidade com o tempo, não houve no passado um planejamento definido das atividades e sua distribuição ao longo do prazo de 12 semanas. Também não se produziu uma documentação referente ao treinamento aplicado separada da documentação referente à produção, de forma que os dados de produção dos aprendizes se mesclaram aos dos demais enraiadores e entraram no cômputo total de aros produzidos no dia, tendo sido feitas apenas observações de se tratarem de colaborador em experiência.

A capacitação de mais colaboradores para realizarem a operação, ainda que não em caráter permanente, tem por objetivo melhorar a capacidade de resposta da fábrica em picos de demanda e em situações imprevistas. Com ela também se espera gerar impressão positiva no operador que executar o treinamento, e sugere-se à Houston Bike o estímulo à capacitação por meio de duas formas de remuneração ao operador, caso se julgue apropriado:

1. Bônus por ter completado o treinamento, caso tenha cumprido regularmente com as metas de produção estabelecidas;
2. Ganhos proporcionais à produtividade nas convocações irregulares, em valor de retribuição previamente definido pela empresa de R\$ / aro produzido.

### 5.5. Aprofundamento do nível de controle e ação em manutenção preventiva

Tomando-se por base as diretrizes de manutenção preventiva hoje existentes na Houston Bike, sobretudo as relacionadas aos equipamentos da divisão de rodas estudados, observa-se que o plano atualmente em vigor não é segmentado para cada modelo de máquina e robô das operações de enraimento, pré-tensionamento, alinhamento e tensionamento de aros enraidos, de forma que não se prevejam a inspeção e a troca de componentes específicos de cada um dentro de periodicidades definidas. A solução de segmentação do maquinário por famílias de mecanismos de acionamento e componentes visa permitir melhor agrupamento de robôs e máquinas para fins de controle e replicação dos procedimentos de manutenção preventiva de cada família, além de ampliar as diretrizes em vigor também para as de lubrificação e de troca de componentes e de favorecer um melhor planejamento de composição de almoxarifado.

A definição dos prazos propostos para lubrificação, verificação, limpeza, e troca de componentes foram alinhados às condições experienciadas pela Manutenção e de forma a se precaver o equipamento da necessidade de manutenção corretiva sobre si. No caso de alguns dos componentes importados e fabricados ou de revenda exclusiva pela Holland Mechanics, sobretudo placas e drivers que se mostram caros para aquisição e sem previsão de falha definida pelo fabricante ou pela Houston Bike, um prazo de 10 anos para troca foi acordado como garantia de reposição preventiva. Considerou-se a observação histórica de componentes semelhantes em sua composição e o número de vezes que necessitaram de reparo desde a aquisição dos equipamentos.

Faz-se como sugestão à Houston Bike um planejamento de compras de componentes importados de reposição que atenda os seguintes critérios:

1. Se estender por prazo considerado suficientemente longo pela Diretoria para a diluição de custos no tempo;
2. Se iniciar pela aquisição de componentes para as máquinas e robôs de mais idade;
3. Fazer uso da possibilidade de recondicionamento de placas e outros componentes importados junto à Holland Mechanics quando possível e apropriado.

Para outros componentes importados de equipamentos que apresentem quebras frequentes e alto valor de aquisição (acima de €100.00 / unidade), sugere-se o estudo de possibilidade de sua fabricação interna com objetivo de se reduzir custos (R\$ / unidade), reduzir *lead times* de expedição e, conseqüentemente, reduzir riscos de paradas de máquinas por falta de componentes, aumentando sua disponibilidade. A exemplo, houve em 2018 o teste de

fabricação interna de guias de inserimento de raios dos robôs HFS e de sua utilização nos robôs, com fins de estudo e avaliação de resultados obtidos em relação à durabilidade, ao desgaste e a pontos de vulnerabilidade a quebras do componente produzido pela divisão de Ferramentaria. A Figura 52 mostra uma unidade do componente fabricado pela Houston Bike em substituição ao original importado.

**Figura 52** – Guia de inserimento de raios do robô HFS de fabricação interna da Houston Bike.



Fonte: Houston Bike (2018).

O componente original é importado dos Países Baixos aos valores de €125.79 (guias de inserimento direitas) e €130.58 (guias de inserimento esquerdas). Sendo duas unidades de cada instaladas por robô, uma reposição completa de guias de inserimento totaliza €512.74. Segundo o histórico da Houston Bike, a durabilidade do componente não superava 3 meses de uso contínuo do robô, de forma a serem necessárias ao menos 4 reposições anuais de cada guia, em cada um dos robôs. O gasto anual com o componente superou, com isso, a marca de €4000 em 2017, o que levou a Diretoria a estudar outras possibilidades de fornecimento do componente.

A solução proposta pela Engenharia na ocasião foi experiência com fabricação interna do componente em aço inoxidável, fazendo-se uso de equipamento de usinagem CNC. Foram produzidos 2 protótipos em agosto de 2018 e mais 2 protótipos em outubro de 2018. O resultado observado foi a permanência de todas as guias de inserimento instaladas em 2018 ao longo de todo o período de atividades da fábrica em 2019, com exceção de 1 unidade dos protótipos fabricados que apresentou trincas após 3 meses e que precisou ser substituído por outro, cuja duração de uso já atingiu 11 meses.

Não se realizou, no entanto, um estudo de compensação de custos anuais de fabricação interna em relação à aquisição do componente original no mercado europeu, porém em função da

durabilidade observada no período de experiência acredita-se que estes sejam significativamente inferiores aos mais de €4000 / ano do histórico de 2017.

Com relação às perspectivas futuras do plano de manutenção elaborado, espera-se os avanços:

1. Integração do plano com sistemas de informação da empresa, visando a produção automática de listas de itens para verificação a cada 15 dias e baseadas em contagem a partir data inicial;
2. Reelaboração de prazos previstos no plano em casos verificados de inadequação, sobretudo de troca de componentes, em versões futuramente revisadas;
3. Avaliar uso futuro de informações de minutos e horas de trabalho, disponibilizadas por alguns robôs e máquinas presentes na fábrica, para fins de controle e busca de correlação com o tempo corrido, empregado como parâmetro para os prazos na versão atual do plano.

## **5.6. Teste em robô de alinhamento desativado**

### **5.6.1. Contexto de desativação e mudanças de produção**

A Houston Bike adquiriu no ano de 1993 seu primeiro robô do modelo DA, produzido pela Holland Mechanics, para a função de alinhamento e tensionamento de aros de roda. O robô atua por conjunto mecânico e pneumático no acionamento de garras de aperto de niple e no ajuste de alinhamento do aro enraiado a partir de componentes movedores de chaves do tipo *micro switch*, diferentemente dos robôs mais novos, que combinam os sistemas mecânicos e pneumáticos ou elétricos aos sinais enviados por sensores em posições diferentes. Na comparação com estes robôs, o DA dispõe de menos componentes internos e apresenta, segundo a divisão de Manutenção da Houston Bike, menor susceptibilidade a falhas e paradas ocasionadas por oscilações de energia, temperatura e umidade por sua maior simplicidade de estruturação. Além disso, a Manutenção também o enxerga como um robô mais resistente que os demais em função de sua construção mais robusta.

À medida que a empresa cresceu e passou a adquirir robôs mais modernos para atuarem em paralelo ao DA, na mesma função, a Diretoria julgou desinteressante a continuidade no investimento em sua manutenção, de maneira que uma falha em seus motores elétricos de apertos de niple fez com que a opção por sua desativação fosse feita a partir de 2015, ano de ocasião da falha detectada.

O desuso do robô DA provocou a mudança de modelos de aro antes alinhados e tensionados por ele, ainda que não exclusivamente, para outras linhas de enraimentamento, alinhamento e tensionamento da fábrica. Dentre eles, o aro de aço cromado era o modelo mais comumente designado à linha do robô por ser mais duro que o aro de alumínio e exigir maior esforço do robô em sua finalização. A preferência para o trabalho sobre este modelo no robô se explicava pela maior robustez do DA.

### **5.6.2. Sujeição a maiores riscos de quebras e paradas de robôs de alinhamento**

A decorrente transferência do aro de aço cromado para outros robôs de alinhamento e tensionamento ocasionou o trabalho sobre o modelo de maior complexidade e, com isso, maior aplicação de força pelos mecanismos existentes sobre o aro e maior desgaste de itens como chaves de aperto e buchas. Outro fator agravante do desgaste e de ainda maior exigência dos robôs foi a adoção exclusiva de aros de aço cromado importados de fornecedores chineses a partir de setembro de 2015, cuja qualidade de circunferencidade, de empeno e de furação do aro se mostra inconstante entre exemplares e é inferior na comparação com os aros de aço anteriormente produzidos pela Houston. Sob esses aspectos, observa-se maior conformidade dos aros de fabricação interna à NBR 14732 (ABNT, 2013) quanto às especificações de:

- circunferencidade, com base nos parâmetros de assentamento e de diâmetros nominal, especificado e de medição para cada modelo de aro;
- empeno, testado com o aro apoiado sobre superfície plana e que não deve ser superior a 1 mm entre o ponto não tocante da parede apoiada do aro mais distante do plano;
- furação, com distâncias ao menos 0,4 mm entre o centro de cada furo para raio e a linha perimetral central interna de cada aro e em posições alternadas à esquerda e à direita da linha.

A circunferencidade e o empeno fora das especificações dificultam ou impedem a entrada das garras de aperto nas posições corretas, além de favorecerem o sobreaperto que, por sua vez, pode romper o raio tensionado ou expandir o furo até que o niple o atravesse e, com isso, inutilize o aro por completo. Já a furação indevida é causadora de reapertos em excesso pelos robôs, que continuam a tensionar o aro mesmo após duas voltas completadas por ele sobre o eixo de giro, o que não deveria ocorrer. A Figura 53 evidencia diferenças entre o aro de aço cromado importado e o aro de alumínio de fabricação interna

**Figura 53** – Vista interna de furação de aros tamanho 26 de aço cromado (esq.) importado e de alumínio (dir.) fabricado internamente.



Fonte: autor.

### 5.6.3. Análise de resultados

As hipóteses a serem validadas pela execução do teste se resumem a duas:

1. Qualidade do aro produzido no robô DA igual ou inferior à observação da fábrica;
2. Tempo de processamento de aro enraiado do robô DA igual ou inferior ao tempo observado do robô DC.

A primeira hipótese foi avaliada com uso de gabaritos de verificação existentes na divisão de rodas da Houston Bike, sendo um utilizado para verificação de alinhamento e outro para verificação do empeno. A Figura 54 mostra os gabaritos utilizados na verificação de aros processados pelos dois robôs objetos do teste.



**Figura 54** – Gabaritos de análise de alinhamento (esq.) e de empeno (dir.) de aro enraiado.



Fonte: autor.

A avaliação do lote produzido foi feita com base na rejeição automatizada feita pelos robôs, seguida da inspeção 100%, tendo a última atestado a conformidade dos aros processados pelo robô DA em relação aos dois parâmetros e conforme a rejeição do robô de apenas 2 unidades das 30 avaliadas (6,6%). O índice verificado se mostrou inferior ao índice médio de rejeição dos robôs de alinhamento de 12,7% (HOUSTON BIKE, 2019), o que sugere o alinhamento e tensionamento do aro de aço cromado no robô DA dentro das condições do processo observados na fábrica. A primeira hipótese foi, com isso, considerada validada por inferência, porém sob a observação de ser necessário monitorar o índice de rejeição do robô DA, uma vez reativado para uso cotidiano, para a devida validação estatística complementar.

A segunda hipótese foi avaliada com base na formulação de teste de hipótese de Oliveira (2015, p.38) para o caso de comparação de médias de amostras de tamanhos distintos, estabelecendo-se  $p < 0,05$ . As amostras foram divididas nos grupos 1 (tempos registrados do robô DC,  $n = 20$ ) e 2 (tempos registrados no robô DA,  $n = 30$ ), e o teste de hipóteses aplicado seguiu a proposição de teste bicaudal do autor descrito no item 2.7:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \\ H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \end{cases}$$

Aplicadas as equações propostas para ponderação das variâncias amostrais dos grupos, chegou-se ao valor teórico de graus de liberdade  $v = 32,84$  e ao valor calculado de  $t_{\text{calc}} = 2,501$ . Para comparação com a tabela da distribuição t de Student, levou-se em consideração os valores críticos de  $v = 30$  existente na tabela. O valor de  $t_{\text{calc}}$  foi superior ao valor de  $t_{30; 2,5\%} = 2,042$ , o que validou a hipótese 2 ao nível  $p < 0,05$  e também a  $p < 0,02$ .

Com isto, definiu-se que as médias de tempo de processamento dos aros dos grupos. dos grupos 1 e 2 são diferentes, sendo a média do grupo 1 (robô DC) superior à do grupo 2 (robô DA testado).

#### **5.6.4. Consequências e limitações para retorno ao uso regular**

Há duas vantagens consideráveis com a possível reativação do robô DA na Houston Bike. A primeira diz respeito ao ganho de capacidade de alinhamento e tensionamento da fábrica com uma máquina a mais em operação, colaborando para o aumento de responsividade da fábrica a picos de demanda ou a situações imprevistas que exijam maior produção diária de aros enraizados. Já a segunda diz respeito à possibilidade de se trabalhar o aro de aço cromado parcialmente ou completamente no robô DA, o que reduziria ou eliminaria o processamento deste modelo em outros robôs, considerados menos resistentes que o DA, e os sujeitaria a um menor risco de paradas para manutenção corretiva ou recalibração e a um menor desgastes de componentes

A restrição existente ao seu trabalho sobre o aro de aço cromado se dá no fato de que o modelo deve ser enraiado em máquinas das famílias 3 ou 4 estabelecidas para o plano de manutenção, conforme a descoberta apontada no item 4.11 revelou. Há sentido, portanto, em seqenciá-la em uma linha que disponha de uma enraidora dos modelos CL-C, ISL ou ISL-0 na entrada para se evitar a obrigatoriedade de transporte dos aros enraizados por operadores da fábrica destas enraidoras até o robô DA.

### **5.7. Layout proposto e rotatividade de maquinário**

#### **5.7.1. Conjuntos de máquinas de enraimento e robôs de alinhamento e tensionsmento idealizados**

A proposição de modificação de layout permite o trabalho sem alterações no número de linhas sem setup e hoje dedicadas aos modelos de aro 26 e aro 20 de alumínio na Houston Bike, de forma a não prejudicar a estratégia de reduções de setup implementada em 2018 e ofereceu ganhos de produtividade à fábrica. Também ponderando futuros ganhos de produtividade, a troca de posição entre as máquinas de enraimento BNT 360 (ISL-0) e BNT 357 (CL) permitiria à primeira trabalhar em conjunto com o robô BNT (DC-C) 369 na linha 6. Este conjunto, formado por equipamentos mais modernos de enraimento e de alinhamento e tensionamento,

seria potencialmente mais produtivo que a configuração atual da linha 6 e poderia ser dedicado à produção do aro 26 de alumínio, conforme proposto no item 4.13.

Também de forma a atender a restrição de enraioamento do aro de aço cromado tamanho 26 exclusivamente em máquinas dos modelos CL-C, ISL ou ISL-0, a troca de posição entre as alinhadoras BNT 368 (DAC) e BNT 372 (DA) serviria para atendê-la caso a Diretoria concorde com a reativação do último e com seu uso para a produção deste aro. Ao ser deslocado à linha 5, o robô DA passaria a atuar em conjunto com a enraioadora BNT 349 (ISL), o que representaria 3 vantagens sob ponto de vista do SLP:

- Eliminação de um estoque intermediário (fluxo de material);
- Eliminação de um transporte (fluxo de material e de pessoa);
- Eliminação de necessidade de chamada de operadores de coleta (fluxo de informação);

Outras duas vantagens observadas do *layout* proposto em função das instalações existentes hoje na divisão de rodas foram levantadas:

1. Instalações elétricas e de linha de ar seriam mantidas sem modificações;
2. Haveria ganho de espaço na área hoje ocupada pelo trilho de aros enraioados da linha 9, que pode ser ainda maior caso o robô BNT 371, permanentemente desativado, seja removido.

Houve, no entanto, ponderação de desvantagens que seriam resultantes do novo arranjo proposto:

1. Haveria necessidade de modificação do caminho do trilho que alimentaria o robô BNT 372 na linha 5, com adição de uma curva leve no caminho entre a máquina de enraioamento BNT 349;
2. É necessário alterar as posições dos ventiladores utilizados pelos enraioadores nas posições propostas para as enraioadoras BNT 349 e BNT 355.

Em relação à flexibilização de combinações criadas, o *layout* proposto também permite que duas das linhas funcionem em duas configurações diferentes de conjuntos. A linha 4 pode ser alimentada no robô BNT 367 (família 6) por duas máquinas de enraioamento distintas e pertencentes à família 3 (BNT 348 e BNT 349) sem a necessidade de transportes de material em processo por operadores da fábrica. O mesmo ocorre na linha 8 proposta, em que a alinhadora BNT 368 pode ser alimentada por duas máquinas de enraioamento distintas da família 2 (BNT 355 ou BNT 357). No entanto, nenhum dos conjuntos é dimensionado para operação

simultânea das máquinas de enraçamento uma vez que os robôs alinhadores seriam incapaz de oferecer vazão aos aros que os alimentassem.

### **5.7.2. Alternância de maquinário**

A rotatividade de máquinas proposta no item 4.13 foi elaborada de modo que cada família de máquinas estivesse em operação pelo mesmo número de semanas do ano, em um ano considerado de 53 semanas, sendo a primeira incompleta, a exemplo de 2020. O objetivo da proposição nesse sentido é o de se possibilitar o desgaste de componentes em patamar mais próximo de igualdade entre os equipamentos pertencentes a uma mesma família e, por consequência, se tentar economias com atividades e aquisição de componentes para fins de manutenção.

A programação estabelecida para uso das máquinas de enraçamento prevê que duas máquinas não devam alimentar um mesmo robô nas linhas 4 e 8, conforme a restrição mencionada no item 5.7.1. Dessa forma, nas semanas em que ocorrer ativação simultânea das 2 máquinas de enraçamento possíveis de alimentação da linha, deverá se verificar:

- Linha 4: alimentada somente pela máquina de enraçamento BNT 348, estando a máquina de enraçamento BNT 349 voltada à alimentação da linha 5;
- Linha 8: alternância ao longo da semana entre a alimentação pelas máquinas de enraçamento BNT 355 e BNT 357, e possível rotatividade com a máquina BNT 356 alocada à linha 7 com manutenção dos dois robôs alinhadores ativos (BNT 370 e BNT 368)

Nesta segunda condição, verifica-se que, caso as 3 máquinas de enraçamento das linhas 7 e 8 estejam em funcionamento simultâneo, uma delas deverá necessariamente ter sua produção transportada para o estoque de aros não alinhados, composto em situações emergenciais, ou para outras linhas em funcionamento da fábrica que possam escoá-las. Nestes cenários, sugere-se que seja a máquina de enraçamento BNT 355 a escolhida para não alimentar as linhas 7 e 8 devido à sua posição prevista e ao fato de já se realizar transporte de sua produção para outras máquinas nos dias atuais.

### **5.7.3. Reduções de capacidade previstas**

Observando-se as possibilidades de economia de recursos durante épocas de menor demanda de bicicletas da Houston Bike, algumas alternativas foram levantadas para a redução da mão de obra nos períodos em questão. Uma possibilidade seria a que envolve o desligamento de funcionários e sua futura recontração para a mesma função na fábrica após 90 dias em respeito ao Art. 2º da Portaria nº384/1992, porém esta foi descartada em função dos custos de desligamento envolvidos, do risco de indisponibilidade de recontração do colaborador, em função de um possível novo contrato de trabalho que tenha estabelecido fora da empresa, e pela dificuldade de capacitação de mão de obra para algumas operações, a exemplo da operação de enraçamento tratada neste estudo.

Dessa forma, a alternativa sugerida à Houston Bike para que se possa realizar a compensação entre épocas de baixa e alta demanda com redução e aumento da capacidade de produção de rodas é a da manutenção de medidas já adotadas pela empresa, porém com respeito às datas previstas para desativação de maquinário no plano de rotatividade desenvolvido. Nesse sentido, avaliou-se adequado para os colaboradores da divisão de rodas:

- Manter a composição de banco de horas, com folgas concedidas no primeiro semestre para posterior utilização no segundo semestre;
- Concessão de férias no segundo trimestre, sobretudo entre os meses de maio e junho, e que combinem os períodos de desativação prevista das máquinas com as férias de seu operador e mantenedor.

A cidade de Teresina e o estado do Piauí têm a particularidade de contarem com três feriados locais além dos nacionais no segundo semestre, sendo celebrados em 16/8, em 19/10 e em 8/12. Com isto, faz-se necessária a composição de banco de horas para além do necessário à cobertura dos feriados nacionais do segundo semestre.

### **5.8. Redução de custos prevista**

Resumidamente, espera-se que as medidas propostas para a Houston Bike possam promover, ou ao menos fomentar, outras atividades e práticas semelhantes que representem reduções de custos de operação para a empresa em caráter permanente, no médio e no longo prazo. Entre eles, destacam-se os custos de manutenção de estoques e os custos dos equipamentos utilizados para fins de produção. Espera-se que melhorias na prática de manutenção autônoma e de

manutenção preventiva possam servir ao segundo propósito e possam se refletir também, indiretamente, no primeiro, mais dependente de fatores estratégicos considerados pela empresa em seu modelo de negócio e de produção implementado.

## 6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a identificação de considerável número de fatores envolvidos na composição de estoques em uma fábrica de grande porte, como é o caso da Houston Bike. Há, para além de condições de abastecimento e expedição da fábrica em respeito à sua demanda conhecida, outros pontos relacionados à estratégia produtiva implementada, às garantias contra riscos e incertezas de mercado valorizadas internamente e ao aproveitamento de capacidade produtiva, bem como à estruturação de seus processos internos. Houve compreensão de particularidades da Houston Bike e de seu mercado que não favorecem a implementação plena de modelos produtivos que pudessem representar maiores economias e eficiência na fábrica, conforme princípios da filosofia do *Lean Manufacturing* sugerem. Nesse sentido, a localização geográfica da planta de fábrica e a seleção por fornecedores asiáticos para seu abastecimento reduzem as possibilidades de prática de JIT externo, havendo mais vantagens em opções de compras de volumes que podem ser estocados na forma de matéria-prima nos galpões da fábrica. A existência de apenas uma linha de montagem ativa na fábrica também compromete a possibilidade de produção de lotes de menos de 400 unidades, que demandariam a realização de ao menos 4 *setups* de linha ao dia se sequenciados e colaborariam diretamente para redução de tempo de carga, bem como para a redução do indicador de bicicletas produzidas ao dia, por consequência.

Existem, no entanto, possibilidades de evolução em procedimentos voltados ao desenvolvimento de um modelo de suprimento interno de algumas divisões da fábrica que se aproxime de um JIT e que tenha por objetivo a redução de estoques médios de produto em processo e de produto acabado observados. Nesse sentido, as medidas propostas para melhorias em documentação de processos, em manutenção autônoma e preventiva, em capacitação de operadores estratégicos e em planejamento de uso rotativo dos recursos materiais visaram melhorar a conservação do equipamento considerado crítico no processo gargalo da fabricação de bicicletas e aumentar a confiabilidade e a responsividade do sistema produtivo como um todo a cenários que necessitem de capacidade produtiva plena ou próxima da plenitude. O objetivo de redução de estoques médios proposto depende de decisões estratégicas de negócio para seu atingimento completo, porém medidas implementadas gradualmente sobre agentes do processo, tal qual feito no curso deste trabalho, oferecem e continuarão a oferecer possibilidades de trabalho com ganhos de produtividade mensuráveis e perceptíveis e de maior alinhamento da produção à demanda, de forma que se consideram cumpridas as expectativas iniciais sobre o resultado desejado para o estudo.

### **6.1. Futuras aplicações**

Para o futuro, sugere-se à Houston Bike a replicação dos modelos de documentação de processo e de diretrizes produzido a outras divisões e processos da fábrica, com objetivos de se melhorar o controle interno das atividades e de se produzir e transmitir conhecimento.

Em relação à manutenção preventiva, sugere-se além da aplicação de diretrizes para lubrificação, inspeção, limpeza e troca de componentes para o maquinário já coberto, a replicação da criação de diretrizes para outros equipamentos da fábrica. Para o protótipo, é necessário modificar ou adaptar a nomenclatura utilizada pela Manutenção e incluída nas diretrizes para alinhá-la à do almoxarifado, de forma a se criar unidade no controle.

Por fim, sugere-se envolver o planejamento de médio e longo prazo do negócio nas decisões sobre a manutenção dos equipamentos e de planos de reposição de componentes ou de máquinas e robôs, a começar pelos mais antigos e observando suas particularidades.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6952: Bicletas: Terminologia**. P. 1-9. 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14732: Veículo de duas rodas: Bicicleta: Aro de bicicleta**. Rio de Janeiro, p. 2-10. 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da indústria nos estados: Piauí**. 2019. Disponível em: <<http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/pi>>. Acessado em: 13/09/2019.

EBELING, C. E. **An introduction to reliability and maintainability engineering**. Boston: McGraw-Hill, 1997

FRANCISCHINI, P. G. **Manutenção: Tipos de Manutenção e OEE**. 2017.

FRANCISCHINI, P. G. **Manutenção: Total Productive Maintenance**. 2017.

FRANCISCHINI, P. G. **Manutenção: Pilares do TPM e Reliability Centered Maintenance**. 2017.

FRANCISCHINI, P. G. **5S Housekeeping**. 2017.

GLOBO – PORTAL G1 PIAUÍ. **Piauí tem o menor número de rodovias duplicadas do país, diz CNT**. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2014/10/piaui-tem-o-menor-numero-de-rodovias-duplicadas-do-pais-diz-cnt.html>>. Acessado em: 13/09/2019.

GP1. **Bolsonaro garante recursos para duplicações de rodovias no Piauí**. 2019. Disponível em: <<https://www.gp1.com.br/noticias/bolsonaro-garante-recursos-para-duplicacoes-de-rodovias-do-piaui-458037.html>>. Acessado em: 14/10/2019.

HOLLAND MECHANICS. **Hub Filling Station**. 2019. Disponível em: <<https://www.hollandmechanics.com/machinery/bicycle-wheel/hub-filling/>>. - Acessado em: 12/09/2019.

HOLLAND MECHANICS. **Intelligent Single Lacer**. 2019. Disponível em: <<https://www.hollandmechanics.com/machinery/bicycle-wheel/intelligent-single-lacer/>>. - Acessado em: 12/09/2019.

HOLLAND MECHANICS. **Robot Quattro – Wheel Tightening**. 2019. Disponível em: <<https://www.hollandmechanics.com/machinery/bicycle-wheel/tightening/>>. - Acessado em: 12/09/2019.

HOLLAND MECHANICS. **Robot DC**. 2019. Disponível em: <<https://www.hollandmechanics.com/machinery/bicycle-wheel/robot-dc/>>. - Acessado em: 12/09/2019.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Sistema Toyota de Produção (Toyota Production System - TPS)**. 2019. Disponível em: <[https://www.lean.org.br/conceitos/117/sistema-toyota-de-producao-\(toyota-production-system---tps\).aspx](https://www.lean.org.br/conceitos/117/sistema-toyota-de-producao-(toyota-production-system---tps).aspx)>. Acessado em: 22/10/2019.

MIYAKE, D.I. **Introdução ao SLP e ferramentas para registro e análise do fluxo**. 2016

MIYAKE, D.I. **Lean Production: Produção Enxuta II**. 2017

MORAES, R. O. **Testes de Hipótese**. 2015.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM: Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC, 1989

NOWLAN, F. S.; HEAP, H. F. **Reliability-Centered Maintenance**. Technical Report AD/A066-579, National Technical Information Service, US Department of Commerce. Springfield, 1978.

NSK. **Movimentação linear: Graxas**. 2019. Disponível em <<https://www.nsk.com.br/graxas-128.htm>>. Acessado em: 04/11/2019.

PORTAL CIDADE VERDE. **Indústria é o 3º setor que mais produz riquezas do Piauí**. 2019. Disponível em: <<https://cidadeverde.com/economiaenegocios/91699/industria-e-o-3-setor-que-mais-produz-riquezas-do-piaui>>. Acessado em: 13/09/2019.

PORTER, M. E. **Estratégia Competitiva: Técnicas para análise de indústria e da Concorrência**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2004

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar**. Lean Institute Brasil. São Paulo, 1998.

**SEIXAS, E.S. Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos.** São Paulo, 200-.

**SMITH, A. M. Reliability-Centered Maintenance.** Boston: McGraw-Hill, Inc. 1993.

**SUZUKI, T. TPM in Process Industries.** Portland: Productivity Press, 1994.

## 8. APÊNDICES

### 8.1. Modelo de diretrizes de manutenção autônoma para operador de robô HFS.

<b>HOUSTON</b>		<b>MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: ROBOT HFS</b>		<b>BNT 341</b>
Frequência	Diária			
Quando	10 minutos antes do encerramento do dia			
Quem	Operador designado do dia			
Como	<b>Robô desligado</b> , com estopa e desengraxante			
<b>INSTRUÇÕES</b>				
1	<b>Inspecionar visualmente</b> a esteira de entrada de cubos	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>CORRIGIR</b> o que for <b>simples</b> e que consumir <b>pouco tempo</b></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Se forem verificadas <b>avarias</b> ou <b>não conformidades</b>, <b>REPORTÁ-LAS AO CHEFE DO SETOR OU À MANUTENÇÃO</b></p> </div>		
2	<b>Inspecionar visualmente</b> as garras fixadoras dos cubos			
3	<b>Inspecionar visualmente</b> os inseridores de raios			
4	<b>Inspecionar visualmente</b> a esteira de saída de cubos preenchidos			
5	<b>Limpar</b> as superfícies de proteção com estopa e desengraxante			
6	<b>Limpar</b> o painel de comando com estopa e desengraxante			
7	<b>Remover</b> raios acumulados no vão do robô			
8	<b>Remover</b> cubos acumulados no vão do robô			
				
INSTRUÇÃO 1		INSTRUÇÃO 2		INSTRUÇÃO 3
				
INSTRUÇÃO 5		INSTRUÇÃO 6		INSTRUÇÃO 8

## 8.2. Modelo de diretrizes de manutenção autônoma para operador de máquina de enraimento.

<b>HOUSTON</b> MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: ENRAIADORA CL-C		<b>BNT 344</b>
Frequência	Diária	
Quando	10 minutos antes do encerramento do dia	
Quem	Operador designado do dia	
Como	<b>Máquina desligada</b> , com estopa e desengraxante	
<b>INSTRUÇÕES</b>		
1	<b>Inspecionar visualmente</b> a fixação do cubo preenchido	CORRIGIR o que for simples e que consumir pouco tempo
2	<b>Inspecionar visualmente</b> as roldanas de aro	
3	<b>Inspecionar visualmente</b> a agulha inseridora de niple	Se forem verificadas <b>avarias</b> ou <b>não conformidades</b> , <b>REPORTÁ-LAS AO CHEFE DO SETOR OU À MANUTENÇÃO</b>
4	<b>Limpar</b> as superfícies de proteção com estopa e desengraxante	
5	<b>Limpar</b> o painel de comando com estopa e desengraxante	
6	<b>Limpar</b> a carretilha de niples com estopa	
7	<b>Limpar</b> a calha com estopa e desengraxante	
8	<b>Limpar</b> o piso com estopa e desengraxante, se houver sujeira	
9	<b>Limpar</b> o reservatório de niples com ar comprimido	
		

### 8.3. Modelo de plano de manutenção preventiva para robô HFS

Item	Qte	Lubrificação	Verificação e Limpeza	Troca
<b>Importados</b>				
Placas	10			
Impulso	1		540	1080
Demais	9		1080	2160
Placa de memória	3		360	3600
Bateria da placa de memória	1		360	3600
CI	1		360	3600
Correias de esteira	2	15		2160
Painel	1			2160
Display	1			1080
Garras	2			3600
Motores	5			
Abertura de braço	1			2160
Avanço do suporte do cubo	1			2160
Passo	1			2160
Corrente	1			2160
Suporte de cubo direito	1			2160
Trilho de inseridor	4	15	360	1080
Elevador de cubos	1	15	360	1080
<b>Nacionais</b>				
Sensores	13			180
Reguladores de fluxo	50			
1 entrada	16		30	60
2 entradas	34		30	60
Mangueiras				
4 mm				120
6 mm				120
8 mm				120
Válvulas	32		180	360
Correias de elevação de raios	8		180	360
Correias de reservatórios	4			180
Cilindros	20			
Ajuste da curva do raio	4			120
Abertura de gaveta	4			120
Avanço de inseridores	4			180
Rotativo	4			360
Suporte de cubo esquerdo	1			180
Elevador de cubo	1			360
Descarregamento de cubo	1			240
Motor de passo	1			360
Botões	4		360	3600
Molas	3		360	1080
Esferas			360	1080
Fusíveis	3			90
<b>Ferramentaria</b>				
Inseridores	4		180	
Polias dentadas	15		180	



### 8.4. Modelo de plano de manutenção preventiva para máquina de enraçamento

	Item	Qte	Lubrificação	Verificação e Limpeza	Troca
<b>Importados</b>					
	Placas	8		360	3600
	Placa de memória	3		360	3600
	Bateria da placa de memória	1		360	3600
	CI	1		360	3600
	Câmera	1		360	3600
	Driver de regulagem de altura	1		360	1800
	Driver de motor	1		360	3600
	Encoder	1		360	3600
	Inversor	1		360	3600
	Transformador	1		360	3600
	Capacitor	1		360	3600
	Chave geral	1		360	3600
	Contacto	1		360	3600
	Motores	3			
	Giro da broca	1		360	3600
	Passo	1		360	3600
	Altura	1		360	3600
	Painel	1		360	2160
	Display	1		360	1080
	Fonte	1		360	3600
<b>Nacionais</b>					
	Sensores	4			240
	Reguladores de fluxo	12			
	1 entrada	8		30	60
	2 entradas	4		30	60
	Mangueiras				
	4 mm				120
	6 mm				120
	8 mm				120
	Válvulas	8		180	540
	Correia	6			
	Motor de passo	3			90
	Motor de giro da broca	1			180
	Encoder	1		180	360
	Regulagem de altura	1	15	180	360
	Cilindros	9			
	Acionamento do niple	1		30	60
	Alimentador do niple	1		30	60
	Pescador do niple	1		30	60
	Avanço da broca	2	15	30	90
	Fixador do encoder	1		30	60
	Fixador do aro nas roldanas	1		30	60
	Travamento do aro	1		30	60
	Recuo da broca	1		30	60
	Botões	3		360	3600
	Molas	4			
	Acionamento do niple	2			120
	Passador do niple	1			120
	Travamento do aro	1			120
	Unibols	6			
	M5	2		360	1080
	M8	2		360	1080
	M12	2		360	1080
	Rolamentos	8			
	Motor de passo	2	15	120	180
	Roldanas	2	15	120	180
	Travamento do aro	2	15	120	180
	Giro da broca	2	15	120	180
	Fusíveis	2			90
<b>Ferramentaria</b>					
	Agulha	1		15	45
	Luva	1		360	
	Roldanas	3			30
	Fixação de cubos	1		360	
	Polias dentadas	11		360	



## 8.5. Modelo de plano de manutenção preventiva para robô alinhador e tensionador

	Item	Qte	Lubrificação	Verificação e Limpeza	Troca
<b>Importados</b>					
	Placa de memória	3		360	3600
	Bateria da placa de memória	1		360	3600
	CI	1		360	3600
	Drivers de motores tensionadores de raios	4		360	3600
	Driver de motor de passo	1		360	3600
	Encoders	3			
	Fixação de cubo	2		360	3600
	Motor de roldanas	1		360	3600
	Placas	12		360	3600
	Display touchscreen	1		360	3600
	Articulações	6			
	Giro do aro	2	15	90	180
	Garras	4	15	90	180
	Motores de aperto de niple	4		360	2160
	Motor de giro	1		360	3600
	Transformador	1		360	3600
	Capacitor	1		360	3600
	Chave geral	1		360	3600
	Contactora	1		360	3600
	Coluna	1	15		
	Cilindros	20			
	Presença de aro	1		90	180
	Avanço de pinças de fixação do cubo	2		90	180
	Avanço de garras	4		90	180
	Avanço de garras superiores	8		90	180
	Deslocamento de garras para modelos D e T	2		90	180
	Avanço de roldanas	1		90	180
	Elevador de aros	1		90	180
	Alimentação	1		90	180
	Chaves de niples	4			180
<b>Nacionais</b>					
	Sensores	26			
	Reconhecimento de raio	4		90	180
	Torque	6		90	180
	Presença de aro	1		90	180
	Avanço e recuo de cilindro	10		360	2160
	Giro do motor de torque	2		90	180
	Alimentação	1		90	180
	Pinças de fixação do cubo	2		90	180
	Reguladores de fluxo de 1 entrada	36			60
	Mangueiras 4 mm				180
	Válvulas de acionamento de cilindros	12		90	180
	Barras rosçadas		120		
	Válvulas de acionamento de elevador de roda	1		90	180
	Correia	3			
	Motor de passo	2		180	360
	Altura do cubo	1		180	360
	Botões	2		360	3600
	Molas	10			
	Centragem de garras	8		360	720
	Alimentação	2		360	720
	Unibols	12			
	M5	6		360	1080
	M8	2		360	1080
	M10	2		360	1080
	M12	2		360	1080
	Rolamentos das garras de aperto de niple	8			
	Escovas de motores de aperto de niple	16			180
	Relés	1		360	1080
	Fusíveis	12			90
<b>Ferramentaria</b>					
	Buchas	4			90
	Roldanas	2			30
	Polias	6		360	