

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**IDENTIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS TÉCNICAS EM
GRANULADORES DE NYLON 6.6.**

Patricia Yumi Maeda

São Paulo
2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**IDENTIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS TÉCNICAS EM
GRANULADORES ÇÃO DE NYLON 6.6.**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia.

Patrícia Yumi Maeda

Orientador: Marcelo A. L. Alves

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

**São Paulo
2006**

FICHA CATALOGRÁFICA

Maeda, Patrícia Yumi

**Identificação e implementação de melhorias técnicas em granuladores de nylon 6.6 / P.Y. Maeda. -- São Paulo, 2006.
39 p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Projeto mecânico 2.Corte a frio (Manutenção; Equipamentos) 3.Polímeros (Materiais) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcelo Augusto Leal Alves pela orientação no desenvolvimento deste trabalho compartilhando seu conhecimento no assunto.

À Rhodia Plásticos de Engenharia e Polímeros por permitir a utilização de dados e informações internas.

Aos funcionários da Rhodia que contribuíram muito com apoio, sugestões e muita força de vontade, em especial Sr. Miyuki Okayama, Alexandre Matsumoto e Luiz Muñoz. A meus dois líderes diretos que me apoiaram e desempenharam um papel muito grande no meu crescimento profissional, Ana Paula Galleta e Humberto Araújo.

A meus amigos e colegas de faculdade que também tiveram um papel muito importante no meu desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional.

E por último, mas não menos importante à minha família que sempre acreditou em mim e investiu na minha formação.

RESUMO

Este trabalho tem como foco a diminuição de horas paradas de uma linha de produção de Nylon 6.6. por manutenção de um equipamento responsável pela granulação da massa extrudada. O equipamento é chamado de granulador ou granuladeira. Inicialmente apresenta o layout da linha de produção na qual o equipamento está inserido, suas etapas e processos. Após a compreensão do processo foca-se no estudo do funcionamento do equipamento, motor, polias, engrenagens e outras peças.

O aumento de horas paradas da linha ocorreu em outubro de 2005 quando a linha obteve um aumento médio de vazão de 14%.

Para analisar as causas das paradas foi construído um Pareto de horas paradas por motivos, e foi deste pareto que saíram os focos principais de melhorias a serem implementadas para que houvesse uma diminuição das horas paradas. As alterações realizadas foram a modificação da base da contra faca, troca de fornecedor de rolo de borracha e abertura na proteção traseira para ventilação e queda de temperatura interna do equipamento. As alterações apresentaram um resultados bastante satisfatório com uma diminuição grande nas horas paradas e ganhos financeiros bastante representativos.

ABSTRACT

This paper has the purpose to decrease the number of hours that a line of production of Nylon 6.6 is stopped because of maintenance of equipment called strand pelletizer. Initially this paper presents the production process, all the steps and where the equipment is located in this line. After this introduction starts the study of how the equipment works, engine, pulley, gear and other pieces.

The increase of stopped hours occurred in August 2005 when the line had an outflow increase of 14%.

To analyze the possible causes it was made a Pareto's graphic, and this graphic showed the main problems that were necessary to be solved immediately. The solutions implanted were changes in the bed-knife's base, change of supplier of rubber rolls and an opening in the back protection to ventilation and drop of inside temperature.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. PROCESSO DE PRODUÇÃO..... | 11 |
| 3. OS PRODUTOS | 14 |
| 3.1. Aplicações | 17 |
| 4. O EQUIPAMENTO | 19 |
| 4.1. Rotor..... | 20 |
| 4.2. Transmissão por polias e correias V..... | 21 |
| 4.3. Transmissão por engrenagens..... | 23 |
| 5. O PROBLEMA | 25 |
| 6. MODIFICAÇÕES..... | 26 |
| 6. MODIFICAÇÕES..... | 26 |
| 6.1.Troca da base da contra faca. | 26 |
| 6.2.Sistema de identificação de horas trabalhadas. | 28 |
| 6.3. Troca de rolo de borracha. | 29 |
| 6.4. Abertura traseira na proteção para ventilação. | 30 |
| 7. RESULTADOS..... | 32 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 34 |
| ANEXO A – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DO FORNECEDOR DE FACAS | 35 |
| ANEXO B – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DA GRANULADEIRA | |
| (FRENTE)..... | 36 |
| ANEXO B – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DA GRANULADEIRA | |
| (VERSO) | 37 |
| ANEXO C – FORMULÁRIO DE TEMPERATURAS DA GRANULADEIRA | 38 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema do processo de extrusão, resfriamento e granulação.
- Figura 2. Reação de policondensação de obtenção de nylon 6.6.
- Figura 3. Esquema de polimerização do Sal Nylon.
- Figura 4. Processo de extrusão e adição de corantes e reforços.
- Figura 5. Vantagens do plástico de engenharia sobre o metal
- Figura 6. Representação do corte de um junco.
- Figura 7. Foto do rotor de facas do modelo PGS 400.
- Figura 8. Foto das engrenagens de uma PGS 400.
- Figura 9. Pareto de horas paradas.
- Figura 10. Base antiga, dividida em 2 peças.
- Figura 11. Base alterada, peça única.
- Figura 12. Abertura na proteção traseira.
- Figura 13. Vista transversal da instalação.
- Figura 14. Pareto atualizado de horas paradas.
- Figura 15. Análise estatística das horas paradas por granuladeiras.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vantagens e desvantagens da poliamida.

Tabela 2. Propriedades da PA 6 e PA 6.6

Tabela 3. Comparação de propriedades PA 6 X PA 6.6

Tabela 4. Propriedades que alguns reforços proporcionam ao produto final.

Tabela 5. Dados da granuladeira PGS 400.

Tabela 6. Diâmetros das engrenagens de transmissão e suas respectivas velocidades angulares em rpm para o caso de o motor estar trabalhando a 1750 rpm.

Tabela 7. Comparação entre fornecedores.

1. INTRODUÇÃO

Em São Bernardo do Campo, no ABC Paulista, está localizada a sede da Unidade de Negócios Plásticos de Engenharia & Polímeros. Neste local se encontram agrupadas as equipes comerciais, marketing, laboratório de pesquisa e desenvolvimento e industrial.

A história do plástico na Rhodia Brasil começou em 1945, com investimentos voltados à introdução dos materiais plásticos no mercado brasileiro. Sempre apostando na inovação, a Rhodia passou a produzir em Santo André, já em 1968, a poliamida 6.6, destinada à área têxtil, e se iniciava, então, a comercialização desse polímero para indústrias. Pouco depois, durante toda a década de 1970, as poliamidas da Rhodia invadiriam o mercado brasileiro.

Em 1970, a Rhodia adquiriu a planta de SBC, pertencente até então ao grupo têxtil Celanese, que na época produzia fios têxteis de PA 66 e PES. Em 1996, com o projeto UNIPLAS, a Rhodia Plásticos de Engenharia foi transferida de Santo André, site Químico, para o site de SBC. As unidades de fabricação têxtil foram sendo desativadas em SBC e transferidas a Santo André no final dos anos 90, transformando SBC num site exclusivo do negócio Plásticos de Engenharia.

A Rhodia Engineering Plastics é líder em plásticos de engenharia no Mercosul e uma das principais empresas do segmento no mundo. Na unidade brasileira de produção, localizada em São Bernardo do Campo (SP), são desenvolvidos e fabricados produtos que atendem a diversos mercados, tais como de eletro-eletrônico, eletrodoméstico, bens de consumo e industriais, com principal destaque para o mercado automotivo.

A indústria de plásticos de engenharia vem crescendo muito durante as últimas décadas e para atender este crescimento da demanda a Rhodia Engineering Plastics & Polymers do Brasil aumentou a capacidade de produção de uma de suas linhas de produção em 20%. Com o aumento de produção a manutenção dos equipamentos aumentou e dentre os mais preocupantes estão os problemas de quebra e manutenção das granuladeiras as quais compõem uma etapa vital processo.

A empresa possui dois modelos de granuladeiras, PGS 300 e PGS 400 da Primotécnica. A diferença básica entre ambos os modelos é o limite de operação. O

foco desse trabalho é o modelo PGS 400, pois este é utilizado nas linhas com maior demanda de produção. O objetivo é compreender seu funcionamento, analisar as alterações já realizadas anteriormente e implementar novas melhorias que diminuam a manutenção e melhorem o desempenho desses granuladores. A avaliação dessas melhorias será analisada através de ensaios e/ou simulações.

A granuladeira em questão apesar de ser uma máquina relativamente simples é de extrema importância para o processo de produção, é a responsável pelo acabamento final no produto, ou seja, a granulação dos juncos que saem da extrusora, a Fig.(1) ilustra bem o processo de extrusão, resfriamento e granulação. Após a granulação o produto passa por uma peneira selecionadora, para homogeneizar o tamanho dos pellets e após esta etapa pode ser embalado.

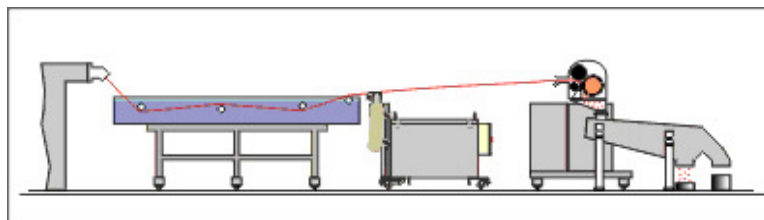


Figura 1. Esquema do processo de extrusão, resfriamento e granulação.

2. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A produção do sal nylon é obtida através da reação entre ácido adípico e hexametilenodiamina (HMD).

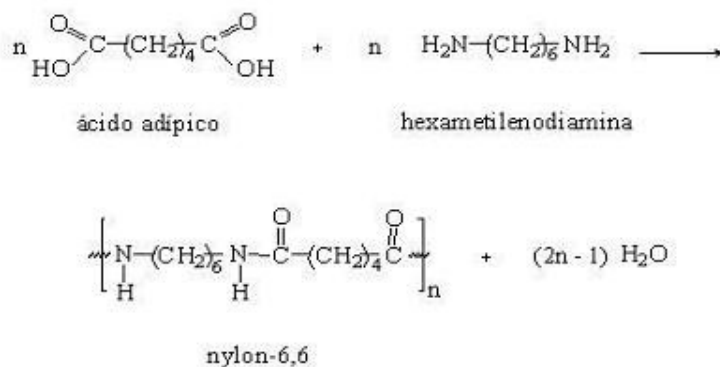


Figura 2. Reação de policondensação de obtenção de nylon 6.6.

A empresa possui 2 tipos de linhas de produção, contínuas e descontínuas.

As linhas contínuas têm esse nome por ter um processo ininterrupto, a alimentação da linha é constante. Estas linhas são alimentadas com sal Nylon diluído em água que passa pela etapa de polimerização para transformar-se em poliamida 6.6. a figura abaixo ilustra as etapas do processo de polimerização do Sal Nylon (processo contínuo).

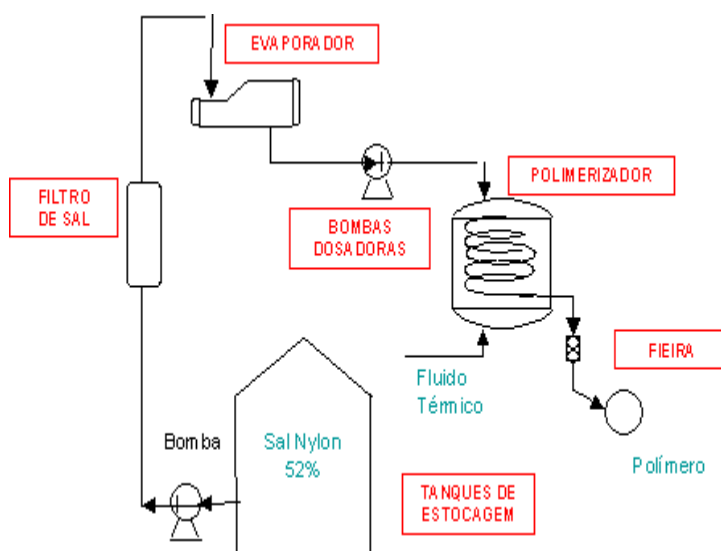


Figura 3. Esquema de polimerização do Sal Nylon

O sal chega do fornecedor a uma concentração de 52%. Uma bomba transporta o sal do reservatório até o evaporador, onde o sal é mais concentrado.

Após o evaporador há as bombas dosadoras que são de pistão e fornecem energia suficiente para que o fluido percorra todo o polimerizador que possui uma serpentina de 1 km de comprimento com o diâmetro do tubo variando durante todo o caminho, dentro do polimerizador as variações de pressão e temperatura induzem a reação de polimerização. No polimerizador é que a reação de polimerização se inicia, porém ela acaba apenas no finisseur, que nada mais é do que um reservatório com agitador para estabilizar a reação, este equipamento não está representado na figura. O tempo de residência no finisseur é que ditará algumas propriedades deste produto, como o índice de viscosidade (IV). Após o finisseur há uma bomba de engrenagem que transporta o fluido para uma extrusora onde poderá ocorrer a adição ou não de corantes e reforços.

A partir da bomba de engrenagens o processo da linha fica semelhante ao de uma linha descontínua.

Uma extrusora é alimentada com polímero e alguns aditivos que darão diferentes características ao produto final.

O esquema que representa a etapa do processo a partir da extrusora é ilustrado pela figura a seguir. Observe que na figura podemos verificar com clareza em que etapa do processo encontra-se a máquina de estudo do projeto.

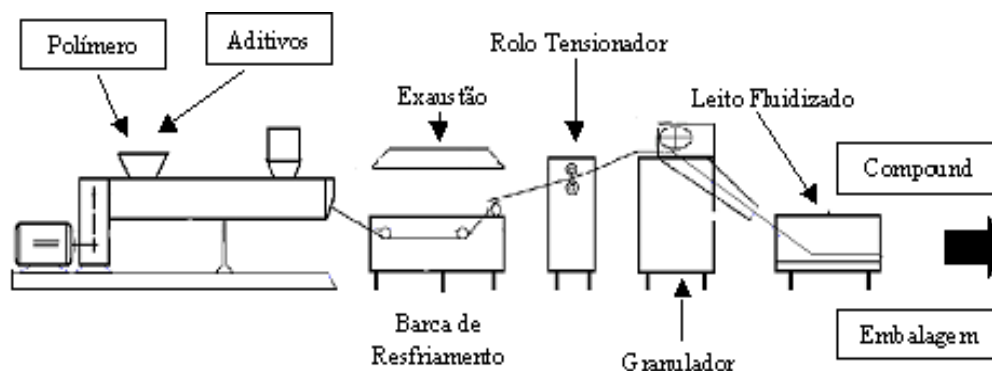


Figura 4. Processo de extrusão e adição de corantes e reforços.

Na extrusora o polímero é misturado aos aditivos para garantir suas propriedades, a extrusora opera a uma temperatura média de 270°C.

A massa que sai da extrusora passa pela fieira que produz fios de 4mm de diâmetro chamados de juncos, os juncos passam pela barca de resfriamento para que sua superfície solidifique antes do corte, o rolo tensionador auxilia o lançamento dos

juncos no granulador, que transforma o junco em pellets ou chips, ao sair do granulador os pellets passam pelo leito fluidizado que funciona como uma peneira seccionadora e como um local de resfriamento dos pellets. Após o leito fluidizado o produto é enviado para a embalagem.

3. OS PRODUTOS

Plásticos de Engenharia são polímeros que permanecem estáveis mesmo quando submetidos a esforços mecânicos, térmicos, elétricos, químicos ou ambientais. São aplicados a diversos segmentos da indústria, como automobilístico, eletroeletrônico, construção civil, móveis, etc.

A empresa em questão concentra-se em produtos baseados em PA 6 e PA 6.6. As resinas de poliamida (PA) estão entre os materiais mais nobres, técnicos e versáteis no campo da aplicação. Apesar de serem higroscópicas, absorvem água, são impermeáveis a gases como CO, CO₂, O₂, N₂, NH₃, etc. A tabela abaixo lista as vantagens e desvantagens da poliamida.

| Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------------|--|
| Dispensa usinagem e rebarbação | Limite na temperatura de trabalho |
| Alta resistência à fadiga | Baixa resistência a ácidos inorgânicos (níquel, clorídrico, sulfúrico, etc) |
| Boa resistência ao impacto | Baixa resistência a álcoois aromáticos (álcool benzílico, fenóis, cresóis, etc.) |
| Alta temperatura de fusão | |
| Baixo coeficiente de atrito | |
| Resistência a intempéries | |
| Ótimas propriedades mecânicas | |
| São recicláveis | |
| São mais leves | |

Tabela 1. Vantagens e desvantagens da poliamida.

As propriedades desses polímeros, encontram-se listadas na tabela a seguir.

| Propriedades | PA 6 | PA 6.6 |
|---|-------------|---------------|
| Temperatura de fusão (°C) | 220 | 260 |
| Densidade (g/cm ³) | 1,14 | 1,14 |
| Resistência à tração (MPa) | 65 a 80 | 80 a 90 |
| Módulo de flexão (MPa) | 2800 | 2800 |
| Absorção de água (%) em 24 horas de imersão | 1,7 | 1,5 |

Tabela 2. Propriedades da PA 6 e PA 6.6

As poliamidas podem ser modificadas com aditivos, cargas, reforços, etc. com o objetivo de melhorar algumas propriedades para diversas aplicações. Os agentes modificadores podem ser classificados em reforços, cargas minerais, pigmentos, estabilizantes e modificadores de impacto.

Como já dito anteriormente as propriedades do produto podem ser alteradas através da adição de cargas ou reforços, a tabela a seguir mostra algumas propriedades alteradas quando adicionamos fibra de vidro (FV), microesfera de vidro (MV) e carga mineral (CM).

| Propriedades | PA 6 | PA 6 30 FV | PA 6 30 MV | PA 6 30 CM | PA 6.6 | PA 6.6 30 FV | PA 6.6 30 MV | PA 6.6 30 CM |
|--------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Temperatura de fusão (°C) | 220 | 220 | 220 | 220 | 260 | 260 | 260 | 260 |
| Densidade (g/cm ³) | 1,14 | 1,35 | 1,38 | 1,38 | 1,14 | 1,35 | 1,38 | 1,38 |
| Resistência à tração (MPa) | 65 a 80 | 150 | 65 a 80 | 65 a 80 | 80 a 90 | 170 | 70 a 75 | 70 a 75 |
| Módulo de flexão (MPa) | 2800 | 9000 | 6000 a 7000 | 5500 | 2800 | 8900 | 6000 a 7000 | 6000 a 7000 |
| Flamabilidade (UL 94) | V2 | HB | HB | HB | V2 | HB | HB | HB |

Tabela 3. Comparação de propriedades PA 6 X PA 6.6

| Carga / Reforço | Propriedades Conferidas |
|---|------------------------------------|
| Reforços de vidro (fibra, esfera e manta) | Alta resistência mecânica |
| | Estabilidade dimensional |
| | Resistência térmica e química |
| Cargas metálicas e filamentos | Condutibilidade térmica e elétrica |
| | Propriedades magnéticas |
| | Redução de fricção |
| Silico-aluminato de sódio | Sintético |
| | Extensor de cor |

| | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| | Propriedades reológicas |
| Talco | Resistência térmica e química |
| | Isolação elétrica |
| | Estabilidade dimensional |
| | Rigidez / Dureza |
| | Lubrificante |
| Fibras de carbono e grafite | Condutibilidade térmica e elétrica |
| | Resistência à tração e química |
| | Estabilidade dimensional |
| | Rigidez / Dureza |
| | Lubrificante |

Tabela 4. Propriedades que alguns reforços proporcionam ao produto final.

3.1. Aplicações

Os três maiores mercados para as indústrias de plásticos de engenharia automobilístico, eletro eletrônicos e produtos de consumo/bens industriais.

A utilização dos plásticos de engenharia está crescendo em diversos segmentos de indústrias por oferecer muitas vantagens sobre os metais. Algumas das vantagens são:

- Menor número de operações de produção;



Figura 5. Vantagens do plástico de engenharia sobre o metal.

- Maior produtividade;

Alumínio \Rightarrow 4 peças semi-prontas / minuto

Plástico PA \Rightarrow 8 peças prontas /minuto

- Redução de peso;

Alumínio \Rightarrow 2,7 g/cm³

Plástico PA com 50% de fibra de vidro \Rightarrow 1,5 g/cm³

- Dispensa pintura;
- Dispensa usinagem;
- Integração de novos componentes;
- Menor custo de equipamentos e manutenção;

Todos estes fatores representam redução de custo no processamento do material.

4. O EQUIPAMENTO

Como já visto na figura 5 o posicionamento do equipamento no processo, este capítulo visa explicar a função do equipamento.

A granuladeira ou granulador é responsável pelo corte dos juncos de produto que saem da extrusora, transformando-os em pellets.

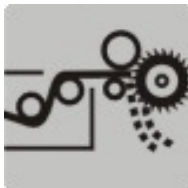


Figura 6. Representação do corte de um junco.

O funcionamento das granuladeiras é simples. Um motor aciona uma polia a qual transmite o movimento para a polia movida no eixo do rotor de facas, do outro lado do eixo do rotor há uma engrenagem responsável por transmitir o movimento para a engrenagem do rolo recartilhado.

O rolo recartilhado é o responsável pelo tracionamento dos juncos que saem da extrusora. O rolo recartilhado puxa o junco que entra pela guia e é cortado em grãos pelo rotor de facas que esta girando no interior da carcaça da máquina.

Existem 5 granuladores PGS 400 disponíveis para serem utilizados nas 2 linhas de produção, dentre estes 5, 3 são para materiais com carga e os outros 2 para materiais sem carga. Esta diferença é feita não pelo tipo de material utilizado nas lâminas, mas sim pela distância entre as lâminas e a contra faca, para materiais sem carga a distância é menor.

Outro motivo para esta diferença é a questão de quando o rotor é utilizado por um certo tempo em produtos com carga e depois é utilizado em materiais sem carga o corte para estes materiais é ruim, ou seja, pode-se perceber que materiais sem carga exigem uma precisão e qualidade de corte maior.

As quebras ou manutenções excessivas de granuladeiras têm causado paradas nas linhas de produção pela falta de disponibilidade do maquinário. Algumas ocorrências se deram, pois dentre as PGS 400 disponíveis, as 3 para materiais com carga estavam em manutenção. A manutenção tem aumentado muito por problemas de fiação do rotor de facas.

4.1. Rotor

A parte mais importante da granuladeira é o rotor de facas, responsável pela precisão no corte dos pellets, as PGS 400 utilizam rotor de eixos acoplados com lâminas de VM-2. A vantagem de utilizar o rotor com lâminas é que se há um desgaste maior em alguma faca, não é necessário trocar todo o rotor, apenas retira-se a faca e coloca-se outra no lugar. A Figura (7) mostra como é o rotor de facas que é utilizado hoje nas granuladeiras PGS 400.

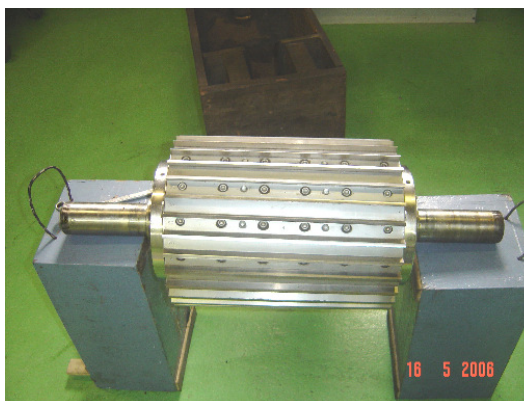


Figura 7. Foto do rotor de facas do modelo PGS 400.

As lâminas são paralelas e apresentam uma angulação de 10° , para aliviar a força total no instante do corte. Segundo o fabricante, Nogueira Indústria e Comercio de Facas LTDA., a dureza das facas pode variar de 58 a 62 HRC. O relatório enviado pelo fabricante encontra-se no ANEXO A.

Uma dificuldade do projeto é a falta de estudos sobre o comportamento do junco no momento do corte para conseguirmos determinar as melhores condições de corte, como a temperatura e ângulo de corte. Com essas informações seria mais fácil projetar um rotor mais eficiente e preciso.

4.2. Transmissão por polias e correias V

A polia acoplada por chaveta ao eixo do motor transmite a força e o movimento para a polia movida acoplada por chaveta ao eixo do rotor de facas, o qual é responsável pelo corte do junco. A Tabela (1) contém os dados da transmissão para o modelo 400. São utilizadas 3 correias V do modelo B97 para a transmissão do movimento do motor para o rotor.

| | |
|------------------------------|------|
| Potência do Motor (W) | 2371 |
| Diâmetro Polia Motora (mm) | 150 |
| Diâmetro Polia Movidada (mm) | 300 |
| Relação de Transmissão (i) | 2,0 |

Tabela 5. Dados da granuladeira PGS 400.

A partir da relação de transmissão podemos determinar a velocidade angular (ω) de uma polia em relação à outra, a Equação (1) mostra esta relação, onde D_{Motora} é o diâmetro da polia motora e assim como $D_{Movidada}$ é o da polia movida, ω é a velocidade angular em rpm da polia movida e da motora. Já que um dado fornecido pela manutenção é de que a velocidade máxima atingida pelo eixo do motor é de 1750 rpm, utilizando a Eq. (1), temos que a velocidade angular da polia movida neste caso é 875 rpm.

$$i = \frac{D_{Movidada}}{D_{Motora}} = \frac{\omega_{Motora}}{\omega_{Movidada}} \quad (1)$$

Obedecendo a Eq. (2) que relaciona potência do motor (Pot), torque (T) e rotação em radianos por segundo (n), podemos calcular o torque quando a granuladeira trabalha em velocidade máxima. Transformando 1750 rpm temos, 183,26 rad/s. Utilizando os dados da Tab. (5) e a Eq. (1), temos que o torque é 122 Nm.

$$Pot = T \times n \quad (2)$$

A partir do valor do torque e do diâmetro da polia motora podemos obter a força aplicada sobre o eixo do motor, que é de 1626,7N. A potência transmitida para a polia movida é 0,96 da polia motora, isto é causado devido ao rendimento de 0,96 da corrente de transmissão, valor normalmente utilizado para correias V, o que nos

da um valor de 21476W. Obedecendo a Eq. (2) temos que o torque da polia movida é de 234Nm e a força no eixo é 1560N.

4.3. Transmissão por engrenagens

O movimento transmitido por polia do motor para o rotor de facas é aproveitado pela engrenagem acoplada a outra extremidade do eixo do rotor que irá transmitir o movimento através de um jogo de engrenagens para o rolo recartilhado, o qual é responsável por puxar o junco do rolo puxador até a granuladeira. O jogo é composto por 5 engrenagens sendo a maior mostrada pela Fig. (8) a engrenagem do rolo recartilhado e a da direita e acima é a acoplada ao eixo do rotor de facas.



Figura 8. Foto das engrenagens de uma PGS 400.

Para facilitar a referência às engrenagens, vamos numerá-las sendo 1 a acoplada ao eixo do rotor de facas, 2 a que recebe o movimento do 1, na Fig. (8) ela é a que encontra-se logo abaixo da engrenagem 1, 3 a engrenagem atrás da 2, acoplada ao mesmo eixo da 2, 4 a que recebe o movimento da 3 e que aparece parcialmente escondida pela engrenagem 2 e finalmente 5 a engrenagem do rolo recartilhado. Para esclarecer as denominações, pinhão refere-se a engrenagem

Adotando o valor de 875 rpm para a engrenagem 1, utilizando os dados da Tab. (6) e a relação de transmissão dada pela Eq. (3), onde z indica o número de dentes, n rotação em rad/s e ω velocidade angular em rpm e Dp diâmetro primitivo.

$$i = \frac{Z_{engrenagem}}{Z_{pinhão}} = \frac{n_{pinhão}}{n_{engrenagem}} = \frac{\omega_{pinhão}}{\omega_{engrenagem}} = \frac{Dp_{engrenagem}}{Dp_{pinhão}} \quad (3)$$

| Engrenagem | Diâmetro externo (mm) | Nº de dentes | Velocidade Angular (rpm) |
|------------|--------------------------|--------------|-----------------------------|
| 1 | 155 | 50 | 924,00 |
| 2 | 177 | 57 | 810,53 |
| 3 | 86 | 27 | 810,53 |
| 4 | 126 | 40 | 547,11 |

| | | | |
|---|-----|----|--------|
| 5 | 234 | 76 | 287,95 |
|---|-----|----|--------|

Tabela 6. Diâmetros das engrenagens de transmissão e suas respectivas velocidades angulares em rpm para o caso de o motor estar trabalhando a 1750 rpm.

Uma grande dificuldade neste trabalho tem sido a falta de dados dos componentes mecânicos do maquinário, e não seria diferente com as engrenagens. A manutenção não possui os dados como diâmetro primitivo, passo e módulo das engrenagens. Porém, é possível calcular estes valores a partir da Eq. (4) e analogamente para a engrenagem

$$Rp_{pinhão} = \frac{Dc}{1 + \frac{\omega_{pinhão}}{\omega_{engrenagem}}} \quad (4)$$

Onde, Rp é o raio primitivo e Dc é a distância entre centros. O módulo pode ser obtido medindo-se a altura do dente e dividindo-se o valor por 2,166, o resultado é o módulo (M).

5. O PROBLEMA

Após um levantamento da quantidade de horas paradas por manutenção de granuladeiras, foi gerado um pareto da quantidade de horas paradas por determinados motivos.

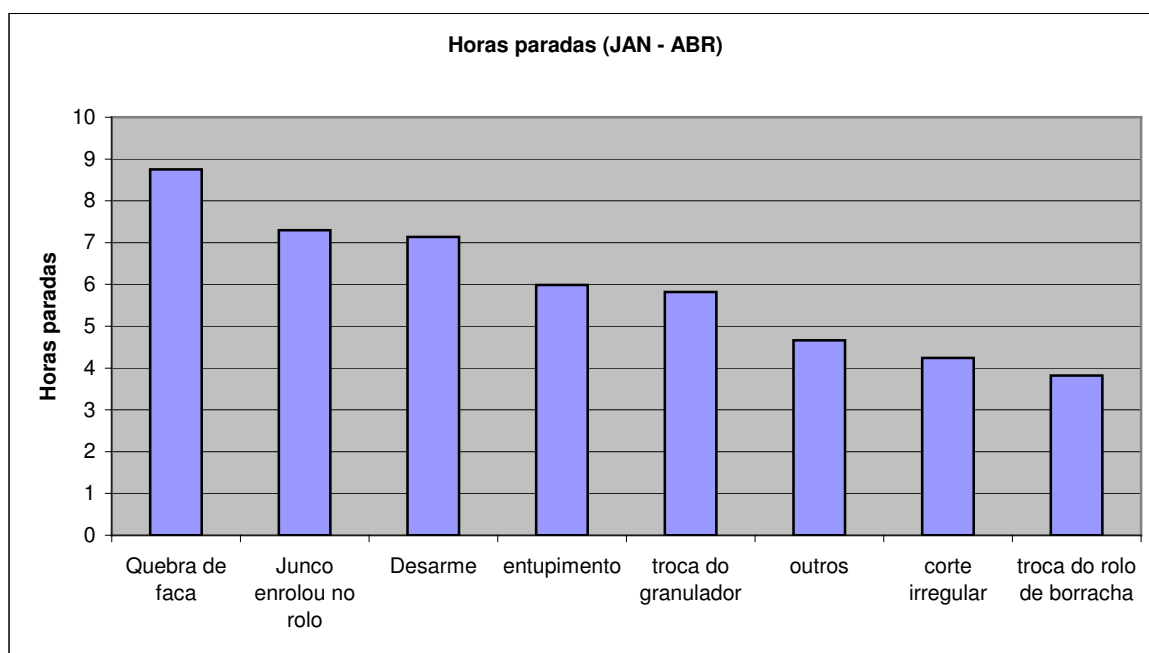


Figura 9. Pareto de horas paradas.

Analisando o gráfico podemos identificar quais problemas deveriam ser atacados com maior urgência. Todas as decisões de modificações e melhorias foram tomadas de acordo com o resultado do Pareto acima.

As soluções que se encontram melhor detalhadas a seguir foram: Modificação na base da contra-faca, implementação de um sistema de identificação das horas trabalhadas dos granuladores, troca de fornecedor de rolo de borracha e tela de ventilação para diminuir a temperatura de trabalho interna do equipamento.

6. MODIFICAÇÕES

Este capítulo trata das melhorias realizadas no equipamento e no controle de manutenção para diminuir as horas paradas da linha de produção.

6.1. Troca da base da contra faca.

A base era dividida em 2 peças fixadas por 6 parafusos. Porém, com o aumento de vazão da linha, foi necessário um aumento na velocidade de trabalho do equipamento, como a rotação do rotor estava muito alta e conseqüentemente a vibração também, esta vibração causava um deslocamento mínimo nas peças. Este deslocamento era suficiente para a quebra das facas do rotor. O que representa um custo enorme para a empresa.

Cada lâmina custa R\$ 248,00, mas quando a quebra das laminas era causada pelo deslocamento da contra faca, todas as facas do rotor quebravam-se ,ou seja, uma total de 30 lâminas, R\$ 7.440,00.

No início do ano, foi registrado 2 ocorrências deste tipo. O investimento para realizar esta modificação foi de R\$ 3.000,00, ou seja, um custo baixo.



Figura 10. Base antiga, dividida em 2 peças.



Figura 11. Base alterada, peça única.

A alteração na base da contra-faca tem por objetivo diminuir a primeira coluna do Pareto mostrado pela figura 9. Pois a maior causa das quebras de facas era o deslocamento da base da contra-faca.

Sem que haja uma quebra de facas, estas têm uma vida útil de aproximadamente 2 meses. Se antes da modificação, em 1 mês ocorreram 2 quebras e após a modificação as trocas de facas ocorrem somente por desgaste, temos que em 1 ano antes da modificação seriam necessárias aproximadamente 24 trocas o que em reais significa, R\$ 178.560,00. Após a modificação serão feitas apenas 6 trocas por ano o que representa R\$ 44.640,00. Ou seja, um ganho de R\$133.920,00.

Além dessa modificação, passou-se a exigir um certificado de qualidade das lâminas quando são entregues pelo fornecedor, como mostra o ANEXO A.

6.2.Sistema de identificação de horas trabalhadas.

Um grande problema identificado foi a indisponibilidade do equipamento por estar na manutenção, verificando a causa deste evento, chegou-se a conclusão de que ocorria uma necessidade de manutenção de todas as granuladeiras em um mesmo momento, ou seja, a utilização dos equipamentos reservas não estava sendo controlada devidamente.

Como não havia uma maneira de diferenciar qual granuladeira estava com mais horas trabalhadas, todas acabavam sendo utilizadas sem controle. A implantação de um sistema que controla estas horas de trabalho auxilia o bom aproveitamento do parque de equipamentos disponíveis. Para a identificação, foi implantado somente um selo que deveria ser grudado no equipamento assim que este saísse da manutenção revisado, isto diferenciava o granulador que só deveria ser colocado em operação se um outro estivesse em manutenção caso contrario este não deveria ser utilizado.

Outro sistema de controle para facilitar a mão de obra da manutenção foi a implantação de uma ficha de acompanhamento da granuladeira, onde os operadores devem anotar as datas de entrada e saída do equipamento na linha de produção e se o motivo da saída foi por necessidade de manutenção, este deve preencher a ficha antes de deixar o equipamento na manutenção, ilustrada pelo ANEXO B. Este tipo de comunicação otimiza o tempo de revisão do equipamento.

6.3. Troca de rolo de borracha.

A identificação do aumento do número de trocas de rolo de borracha e alguns problemas de contaminação do produto por desprendimento da borracha, mostraram a necessidade de pesquisar novos fornecedores de rolo de borracha.

Comparando um novo fornecedor (Rolo Vest) com o antigo (Sagec) pudemos identificar alguns ganhos na troca de fornecedor.

Após alguns ensaios de vida útil de ambos os rolos, foi identificado que o rolo da Rolo Vest tinha uma vida útil de 11 dias enquanto que o da Sagec apresentava uma vida útil de apenas 6 dias, porém o preço cobrado pela Rolo Vest é maior. Contabilizando os ganhos, obteve-se a seguinte tabela.

| Fornecedor | Vida útil | Preço (R\$) |
|-------------------|------------------|--------------------|
| Sagec | 6 dias | 275,00 |
| Rolo Vest | 11 dias | 475,00 |

Tabela 7. Comparação entre fornecedores.

Agora fazendo as contas de que se utilizarmos o rolo da Sagec, precisamos realizar 61 trocas por ano e que cada troca leva em média 20 minutos a uma vazão média de 1075Kg/H, isto representa uma perda de produção de 21.858Kg e um gasto de R\$ 16.775,00 em rolos novos, agora se utilizarmos a Rolo Vest, teremos 33 trocas, uma perda de produção de 11.823Kg e um gasto de R\$ 15.675,00. Se consideramos uma margem de contribuição média de R\$2,00/Kg, foi possível obter um ganho de R\$ 21.168,00 somente com esta modificação.

6.4. Abertura traseira na proteção para ventilação.

O propósito desta alteração foi aumentar a ventilação no interior do equipamento para que este trabalhe em menor temperatura, para que haja um melhor rendimento das peças.



Figura 12. Abertura na proteção traseira.

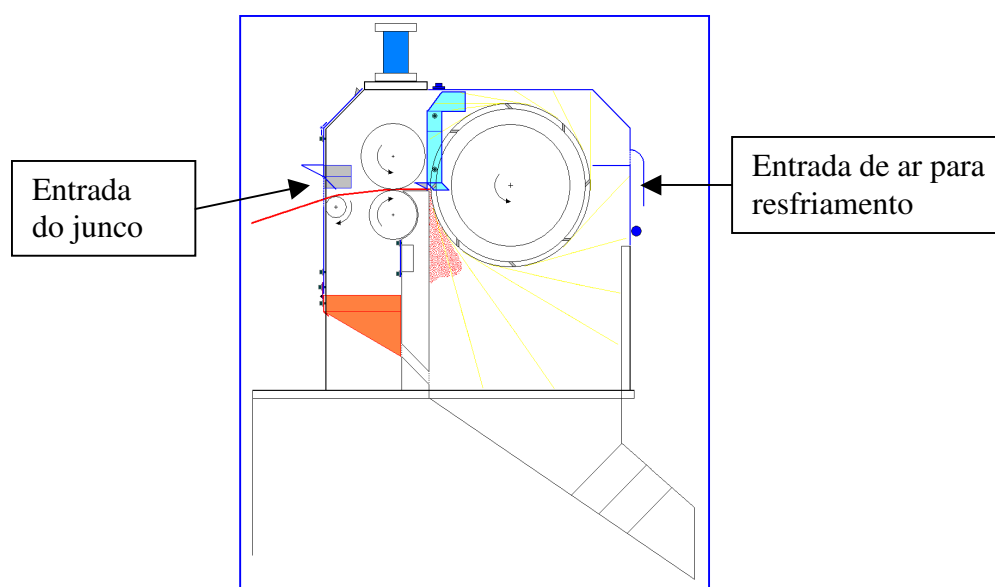


Figura 13. Vista transversal da instalação

O investimento foi nulo já que foi reaproveitado um material sobressalente que estava em estoque e a mão de obra utilizada foi de 1 mecânico funcionário da Rhodia.

O teste obteve resultados significativos, só não foram maiores, pois o equipamento fica enclausurado numa cabine de som, por causa do ruído que causa, mesmo assim conseguimos sentir uma queda na temperatura superficial do

equipamento. Para avaliar a queda de temperatura foi elaborado um formulário, ANEXO C, a ser preenchido pelo mecânico.

Foram feitas algumas medidas nas proteções externas do granulador e as temperaturas encontradas estavam em torno de 70°C podendo variar um pouco de acordo com a região de medição. Após a alteração as temperaturas estavam em torno de 58°C.

7. RESULTADOS

Após a implantação das modificações apresentadas anteriormente construiu-se um novo pareto para verificar se houve queda nas horas paradas nos problemas identificados pelo pareto inicial e a resposta encontra-se na figura a seguir.

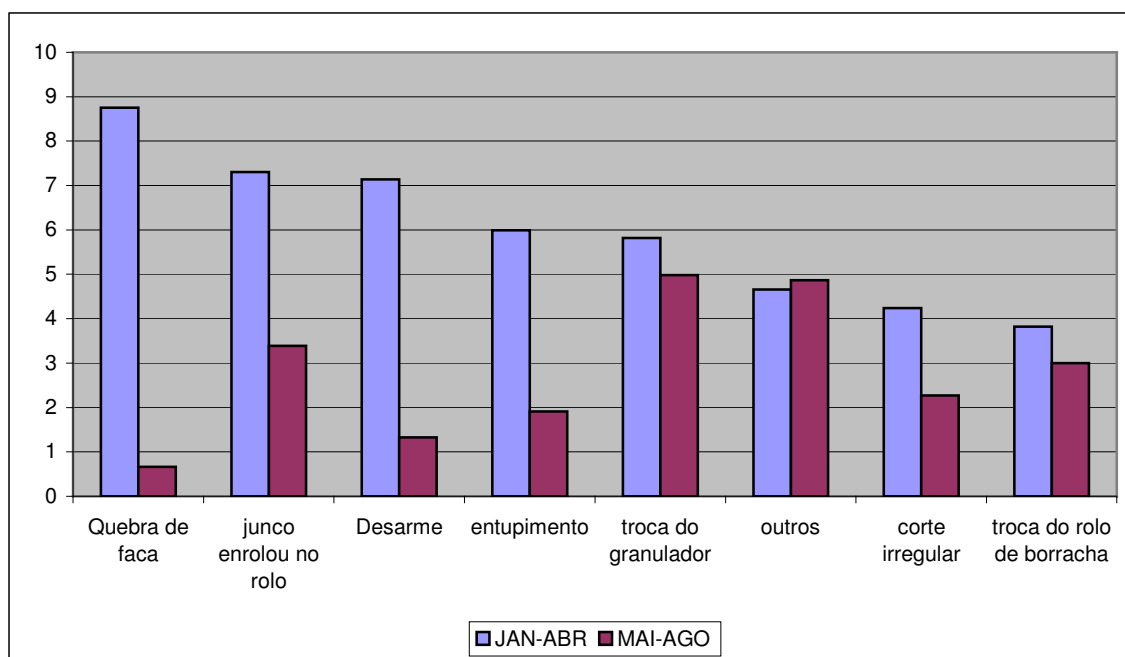


Figura 14. Pareto atualizado de horas paradas

Observando o gráfico podemos verificar que a queda em todos os itens abordados foi significativa, principalmente a quebra de facas que esta praticamente nula. Os problemas de entupimento e junco enrolado no rolo são problemas de temperatura tanto do produto quanto à temperatura de trabalho do equipamento.

A análise estatística realizada resume bem a identificação do problema e melhoria conseguida com as modificações. Nela podemos observar que quando a vazão média era de 940Kg/H havia uma média de 5,92 horas paradas por granuladeira, quando houver o aumento de vazão em outubro de 2005, esta média subiu para 13,42 horas e após a implantação das melhorias, a média caiu para 5,74.

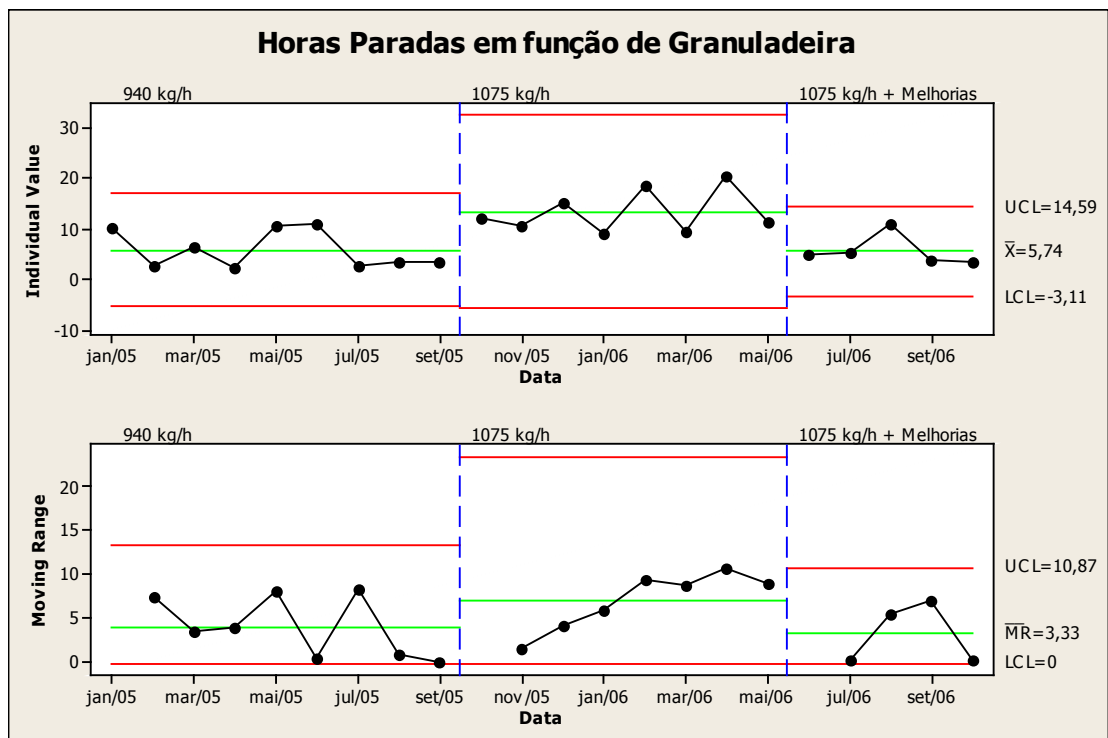


Figura 15. Análise estatística das horas paradas por granuladeiras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kaminski, PC. Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade qualidade, Editora LTC, São Paulo, 2000.

Shigley, J.E., Elementos de Máquinas, Editora LTC, 3.a Edição, 1988.

Wiebeck, Harada, Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações, Editora Artliber, 1.a Edição, 2005.

ANEXO A – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DO FORNECEDOR DE FACAS



NOGUEIRA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE FACAS LTDA.
FONE / FAX: 015 - 3281-4706 / 3281-2266 / 3281-2298

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO

| | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------|------------|
| CLIENTE: | RHODIA POLIAMIDA ESP.LTDA. | | |
| DESCRIÇÃO DO ITEM: | FACA P/GRANULADOR | | |
| DESENHO: | Nº09.898.001.04-3/2 | | |
| DATA DE INSPEÇÃO: | 31/05/2006 | PEDIDO: | 4500283748 |
| NOTA FISCAL: | 000525 | QUANT. | 40 PÇS |
| MATERIAL: | S-600 | | |
| DIMENSIONAL: | | | |
| (X) COMPRIMENTO | () Ø INTERNO | | |
| (X) LARGURA | () CHAVETA | | |
| (X) ESPESSURA | () FUROS | | |
| () Ø EXTERNO | | | |
| DUREZA: 58-62 HRC | | | |
| OBSERVAÇÕES: LOTE CONTROLADO 100% | | | |
| | | | |
| | | | |

Edson Nogueira Marques
*
RESPON.PELO CONTROLE

Sinclair Lucena
*
APROVADO

TRAVESSA SANTANA, 470
ARAÇOIABINHA - ARAÇOIABA DA SERRA - SP
CEP: 18190-000

ANEXO B – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DA GRANULADEIRA (FRENTE)

FICHA DE ACOMPANHAMENTO DA GRANULADEIRA Nº _____

Matrícula BD: _____

Data: ____/____/____

Responsável: _____

| data entrada | linha | data saída | motivo da saída | |
|----------------|-------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | troca de material | manutenção |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ____/____/____ | | ____/____/____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

ITENS DE ANOMALIAS ENCONTRADAS

☐
☐
☐
☐

Rotor com facas danificadas
 Corte Irregular
 Rolo de borracha gasto
 Ruído anormal

☐
☐
☐
☐

Tubos pneumáticos danificados
 Vazamento pela bica
 Motor não liga
 Rolo recartilhado de aço desgastado

OUTROS / COMENTÁRIOS E OBSERVAÇÕES:

ANEXO B – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DA GRANULADEIRA (VERSO)

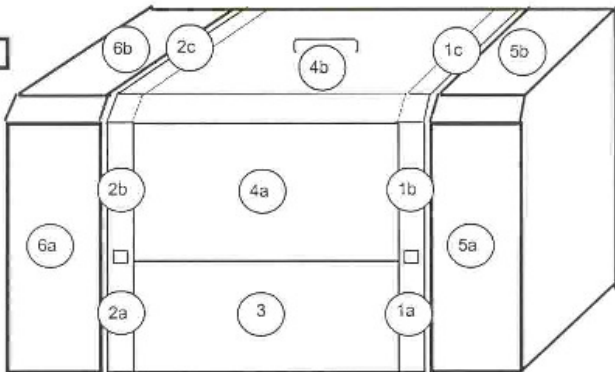
[illegible]

ANEXO C – FORMULÁRIO DE TEMPERATURAS DA GRANULADEIRA

ANTES DA MELHORIA

Nºgranulador

LINHA



| PONTO | TEMP. °C |
|-------|----------|
| 1a | °C |
| 1b | °C |
| 1c | °C |
| 2a | °C |
| 2b | °C |
| 2c | °C |
| 3 | °C |
| 4a | °C |
| 4b | °C |
| 5a | °C |
| 5b | °C |
| 6a | °C |
| 6b | °C |

| TEMP. AMBIENTE | TEMP. LEITO |
|----------------|-------------|
| °C | °C |

| TEMP.CABINE ABERTA | MAT.PRODUZIDO |
|--------------------|---------------|
| °C | |

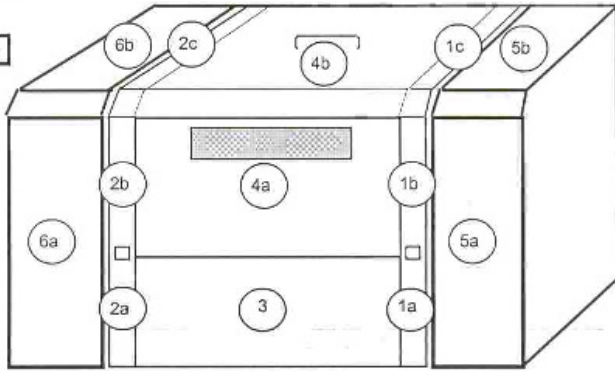
| TEMP.CABINE FECHADO | VAZÃO DE PRODUÇÃO |
|---------------------|-------------------|
| °C | Kg/h |

| RPM GRANULADOR |
|----------------|
| rpm/minuto |

DEPOIS DA MELHORIA

Nºgranulador

LINHA



| PONTO | TEMP. °C |
|-------|----------|
| 1a | °C |
| 1b | °C |
| 1c | °C |
| 2a | °C |
| 2b | °C |
| 2c | °C |
| 3 | °C |
| 4a | °C |
| 4b | °C |
| 5a | °C |
| 5b | °C |
| 6a | °C |
| 6b | °C |

| TEMP. AMBIENTE | TEMP. LEITO |
|----------------|-------------|
| °C | °C |

| TEMP.CABINE ABERTA | MAT.PRODUZIDO |
|--------------------|---------------|
| °C | |

| TEMP.CABINE FECHADO | VAZÃO DE PRODUÇÃO |
|---------------------|-------------------|
| °C | Kg/h |

| RPM GRANULADOR |
|----------------|
| rpm/minuto |