

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Henrique Alves Junqueira Nogueira Branco
Thiago Salomão Cavalcanti

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O
CENTRO DE USINAGEM CNC ROMI DISCOVERY 760**

Uberlândia
2017

Henrique Alves Junqueira Nogueira Branco
Thiago Salomão Cavalcanti

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O
CENTRO DE USINAGEM CNC ROMI DISCOVERY 760**

Trabalho de conclusão de curso de
graduação apresentado à Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia
como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia
2017

Henrique Alves Junqueira Nogueira Branco
Thiago Salomão Cavalcanti

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA O
CENTRO DE USINAGEM CNC ROMI DISCOVERY 760**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor - instituição

Nome do professor - instituição

Nome do professor - instituição (orientador)

RESUMO

Este trabalho tem como intuito a elaboração de um plano de manutenção preditiva para o centro de usinagem universal CNC presente no LEPU da UFU. O projeto inicia-se com uma breve introdução e revisão bibliográfica sobre manutenção, citando os motivos pelo quais os componentes falham, e também os tipos de manutenção. Em seguida é aprofundado o tema sobre manutenção preventiva. Na metodologia apresentam-se detalhes e características da máquina e o plano de manutenção previsto pelo fabricante que serviu de base para as adaptações feitas para o laboratório, visto que é uma máquina que será utilizada com alta frequência.

Palavras-chave: manutenção preventiva, centro de usinagem, falha, plano de manutenção

ABSTRACT

This work intends the elaboration of a predictive maintenance plan for the CNC universal machining center present in the teaching and research laboratory in machining of UFU. The project begins with a brief introduction and bibliographical review on maintenance, citing the reasons why components fail, as well as types of maintenance. Then the subject on preventive maintenance is deepened. The methodology presents details and characteristics of the machine and the maintenance plan foreseen by the manufacturer that served as the basis for the adaptations made to the laboratory, since it is a machine that will be used frequently.

Keywords: preventive maintenance, machining center, failure, maintenance plan

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 - Indicador de nível de óleo.....	16
Figura 5.2 - Tanque de fluido refrigerante.....	17
Figura 5.3 - Filtros do sistema pneumático.....	19
Figura 5.4 - Unidade de conservação.....	19

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos gerais	1
1.2	Objetivos específicos	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Definição	3
2.2	Evolução histórica da manutenção	3
2.3	O porquê da manutenção	4
2.4	Tipos de manutenção	5
2.4.1	Detalhando a manutenção preventiva	6
2.5	Normas técnicas de qualidade	7
2.6	Melhoria contínua	8
2.6.1	A filosofia Kaizen	8
2.6.2	Ciclo PDCA	9
2.6.3	Política do 5s	9
3	CENTRO DE USINAGEM CNC – BREVE INTRODUÇÃO	11
4	MATERIAIS E MÉTODOS	12
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5.1	Componentes e itens a serem inspecionados	15
5.1.1	Verificação de nível de óleo lubrificante:	15
5.1.2	Verificar nível e qualidade do fluido refrigerante	16
5.1.3	Limpar filtro (tela) do tanque de fluido refrigerante	17
5.1.4	Limpar por completo o tanque de refrigeração	17
5.1.5	Inspecionar pressões pneumáticas	18
5.1.6	Inspecionar filtros do sistema pneumático	18
5.1.7	Inspecionar lubrificador do sistema pneumático	19
5.1.8	Retirar excesso de cavaco da área de usinagem	20

5.1.9	Inspecionar proteções de cavacos.....	20
5.1.10	Inspecionar garfos (segmentos) do TAF.....	20
5.1.11	Lubrificar trilhos guia do carro do TAF	21
5.1.12	Limpar filtros dos ventiladores/painel	21
5.1.13	Limpar o painel de operação externamente	21
5.1.14	Verificar vazamento de ar comprimido	22
5.1.15	Verificar vazamentos no sistema de lubrificação	22
CONCLUSÃO.....		23
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....		24
REFERÊNCIAS		25

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa a implantação de um plano de manutenção preventiva no centro de usinagem de Comando e Controle Numérico (CNC) do fabricante Romi marca Discovery 760 presente no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Através da técnica de brainstorming¹, avaliou-se que não havia um plano de manutenção preventivo vigente, sendo realizada apenas a manutenção corretiva não planejada. Durante o período de manutenção corretiva as pesquisas e trabalhos realizados na máquina permanecem estagnados, provocando insatisfações dos alunos e professores, pois estes não conseguem cumprir seus cronogramas previstos. A UFU também não dispõe de recursos para uma manutenção corretiva emergencial, fato que demanda tempo excessivo para encontrar a falha e solucioná-la.

Ao longo do trabalho serão apresentadas algumas ferramentas de qualidade devido à forte conexão com a manutenção. Com o objetivo de prevenir falhas ou restabelecer as condições de um sistema ao seu estado operante, obtém-se o fundamento da manutenção em manter e aumentar a regularidade e confiabilidade de um sistema produtivo.

1.1 Objetivos gerais

O foco do trabalho é fazer com que a manutenção da máquina CNC Romi Discovery 760 deixe de ser puramente corretiva e passe a ser preventiva, evitando quebras inesperadas que causam atrasos na programação do uso da máquina, e manter ou até mesmo ampliar o padrão de qualidade dos resultados das pesquisas feitas no centro de usinagem.

As ferramentas de qualidade podem ser utilizadas ao longo do projeto como uma forma de controle e avaliação para possíveis melhorias do plano de manutenção elaborado.

A ideia inicial do trabalho é criar um plano de manutenção preventiva para a máquina que posteriormente pode ser adaptado para várias outras máquinas da universidade e até mesmo para equipamentos instalados em indústrias.

¹ Ferramenta de qualidade que consiste em consultar pessoas e coletar informações para realizar uma determinada tarefa ou alcançar um objetivo específico.

1.2 Objetivos específicos

A passagem da manutenção puramente corretiva para preditiva será feita através da adaptação do plano de inspeção presente no manual do fabricante, proposto para máquinas que trabalham de forma contínua, para as atividades intermitentes realizadas na máquina durante projetos e pesquisas.

Este trabalho envolve não somente a mudança do tipo de manutenção, mas também uma ideologia de mudança comportamental das pessoas que utilizam o equipamento. A ideia de que quem opera e utiliza é dono da máquina faz com que os cuidados previstos no plano de manutenção sejam implementados pelo próprio usuário. Através de treinamentos é possível introduzir de forma gradual esta alteração de comportamento e de mentalidade, ampliando o conhecimento dos usuários na parte de simbologia, sistemas, e, principalmente, no sistema operacional do equipamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definição

A manutenção é apresentada como ações de caráter preventivo com o objetivo de evitar ou corrigir possíveis falhas em instrumentos e equipamentos. (CIMM, 2017)

A manutenção nos dias atuais tem como missão “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos” (NASCIF, KARDEC, 2003). Estes autores ainda enfocam que o intuito da manutenção é preservar a função e não o equipamento em si. Uma lâmpada pode estar em perfeitas condições, necessitando, porém, de manutenção se sua função, iluminação, não estiver de acordo com as condições planejadas. (NASCIF, KARDEC, 2003).

2.2 Evolução histórica da manutenção

A partir de 1930 a evolução da manutenção foi dividida em três gerações, sendo a terceira geração presente nos dias atuais.

A primeira geração, pertencente ao período anterior à Segunda Guerra Mundial, apresentou-se basicamente com práticas manutenção puramente corretiva. Era uma época na qual os projetos das máquinas eram superdimensionados e o índice de mecanização era baixo, justificando apenas serviços de limpeza, troca de óleo, lubrificação e reparo após as quebras que raramente aconteciam. A mão-de-obra não era especializada e, devido ao cenário econômico, a produtividade não era o foco principal (MOUBRAY, 1992).

Ainda segundo Moubray (1992), a segunda geração da manutenção, afetada diretamente pela Segunda Guerra Mundial, sofreu grandes alterações. A oferta de mão-de-obra reduziu drasticamente durante o período de guerra e, em contrapartida, a escassez de bens de consumo e de produtos teve sua demanda ampliada drasticamente. Ambos fatores foram as principais causas da mecanização industrial dessa época. Diferente da primeira geração, a produtividade passou a ser o principal foco das indústrias, e os tempos de parada das manutenções corretivas precisaram ser reavaliados. A partir desse momento, surge o conceito de manutenção preventiva, uma prática que determina a parada das máquinas para inspeção em intervalos fixos, a fim de evitar quebras inesperadas. Houve, porém, uma elevação excessiva dos custos de

manutenção, que conduziu a novas definições: planejamento da manutenção e sistemas de controle.

Sobre a terceira geração houve uma aceleração no processo de mudanças nas indústrias. Devido a paralisação da produção que sempre influencia a capacidade de produção reduzindo-a, houve um aumento dos custos e afetou assim a qualidade dos produtos, gerando preocupação. Na área de manufatura, a paralisação gerou efeitos que levaram a utilização do sistema “just-in-time” (NASCIF, KARDEC, 2003).

2.3 O porquê da manutenção

Os componentes mecânicos trabalham em contato direto com outras partes, lubrificantes, partículas abrasivas e outras condições muitas vezes severas e estão sujeitos ao desgaste. A manutenção tem o papel de monitorar e fazer intervenções para que os sistemas sujeitos a esses processos de desgaste trabalhem corretamente, impedindo que uma possível falha se transforme em quebra. Define-se quebra como o estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida. Uma quebra ou pane é geralmente o resultado de uma falha de um item, mas pode existir sem uma falha anterior. No meio industrial, como resultado temos a parada total de uma máquina que deixa de ter as condições necessárias para seu correto funcionamento e que gera a manutenção corretiva. Já a falha, também caracterizada pela incapacidade de um item em desempenhar uma função requerida, mas diferente da quebra, a falha se trata de um “evento”, enquanto a quebra é um “estado”. Ou seja, posso ter o evento de uma falha que pode não impedir o funcionamento da máquina, mas limitar algum recurso da mesma por um breve período de tempo.

O desgaste dos materiais é regido por mecanismos de desgastes como abrasão, adesão, corrosão e fadiga. Estes sistemas dependem do tribosistema (corpo, contra-corpo, interface, meio ao redor), da ação (rolamento, deslizamento, impacto, escoamento) e de parâmetros (carga, velocidade, temperatura, tempo) (HUTCHINGS, 1992). Em algumas literaturas há a inclusão de oxidação, erosão, erosão por cavitação e impacto como mecanismos de desgaste, entretanto Rabinowicz (1965) não concorda com essas inclusões. Desgaste pode ser definido como a perda progressiva de material provocada pelo movimento relativo entre superfícies, dividindo-se nas seguintes classes: atrito-desgaste metálico (metal contra metal), desgaste por abrasão (metal contra não-metal) e erosão (líquidos e vapores contra metal) (CIMM, 2017).

Quando se trata de uma máquina de usinagem CNC, todos os mecanismos acima ocorrem em diferentes partes da máquina. Devido a essas ocorrências, a manutenção preventiva

é tida como essencial para o bom funcionamento e até identificação de componentes com desgaste acelerado. Na manutenção preditiva podemos identificar através de ruídos ou vibrações componentes desgastados ou com regimes de lubrificação errados. Dentro da tribologia podemos identificar os vários mecanismos de desgaste que possam estar ocorrendo nos componentes da máquina. A análise da superfície e folgas entre componentes que trabalham acoplados ou em contato com outras partes móveis, análise dos óleos lubrificantes e fluidos de trabalho e presença de particulado nestes fluidos é um sinal expressivo sobre a existência de componentes com desgaste.

2.4 Tipos de manutenção

Atualmente existem 3 principais tipos de manutenção, listadas abaixo:

1. Corretiva;
2. Preventiva;
3. Preditiva;

A manutenção corretiva, como o próprio nome diz, realiza correções e reparos nas máquinas quando estas apresentam algum tipo de falha. Não há qualquer controle, análise de falha ou planejamento. Esse tipo de manutenção é prejudicial à longo prazo, pois o responsável pela manutenção só irá agir após a quebra da máquina ou componente, principalmente quando se trata de falhas catastróficas, elevando os custos de forma exponencial, tornando tal método viável apenas no período anterior a Segunda Guerra Mundial (primeira geração da manutenção) no qual o maquinário não era tão avançado e a produtividade não era o principal foco da época - a quebra de máquina tem como consequência a parada da linha produtiva.

A fim de evitar paradas não planejadas, é conveniente preparar a indústria para manutenção programada. Introduce-se, então, o conceito da manutenção preventiva. De acordo com Palmer (1999) manutenção preventiva pode ser definida como “atividade de manutenção realizada com uma certa frequência, que pode ser baseada em tempo ou outros eventos, como por exemplo, horas de trabalho”. O autor ainda considera que o ideal para uma indústria é ter uma relação entre 10 % a 20 % de suas manutenções como sendo preventiva, considerando que a principal característica desse tipo de manutenção é prever (verbo que explica o nome: preventiva) uma possível falha antes que ela seja catastrófica e necessite de manutenção corretiva.

O conceito de manutenção preditiva surgiu com a evolução tecnológica. O processo de automação industrial permite atualmente que uma planta inteira ou uma máquina possa ser

controlada em tempo real e ter seus parâmetros mensurados. Em outras palavras, trata-se da coleta e análise de dados do objeto examinado, seja ele uma planta inteira ou somente um máquina, para posterior avaliação das condições de operação. A grande vantagem da análise preditiva é a otimização do processo, reduzindo o impacto dos processos preventivo - vale a pena ressaltar que todo maquinário apresenta ponto crítico de operação durante a sua partida e parada, momentos nos quais há picos de corrente, acelerações e desacelerações que geram forças inexistentes durante a operação contínua do equipamento. Em contraponto, apresenta o custo mais elevado que a manutenção preventiva. Alguns exemplos de técnicas preditivas são: análise e medição de vibrações, termografia, análise de óleo, ultrassom, inspeção visual. A principal ideia proveniente da manutenção preditiva é controlar e monitorar uma falha existente para que ela não se torne catastrófica. Eventualmente o monitoramento permite prever o tempo ideal para uma intervenção preventiva.

2.4.1 Detalhando a manutenção preventiva

Kardec e Nascif (2007) definem a manutenção preventiva como sendo uma atuação afim de reduzir ou evitar que ocorra falha ou queda de desempenho, seguindo um plano de prevenção elaborado baseado em intervalos de tempo fixados. A definição do autor encontra-se incompleta, visto que menciona a execução do programa de manutenção baseado no tempo, sendo possível também a realização da manutenção preventiva programada por horas de trabalho. Um exemplo prático e comum é a troca de rolamentos próximos ao fim da vida útil, calculada em horas de trabalho. Abaixo é descrito uma metodologia de cálculo de acordo com o fabricante de rolamentos SKF.

A vida nominal básica de um rolamento, de acordo com a norma ISO 281:2007 pode ser determinada por:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Se a velocidade for constante, geralmente é preferível calcular a vida expressa em horas operacionais, utilizando:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$

onde

L_{10} = vida nominal básica (com 90 % de confiabilidade) [milhões de revoluções]

L_{10h} = vida nominal básica (com 90 % de confiabilidade) [horas operacionais]

C = classificação de carga dinâmica básica [kN]

P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN]

n = velocidade de rotação [rpm]

p = expoente da equação de vida

= 3 para rolamentos de esferas

= 10/3 para rolamentos de rolo

Uma das vantagens pouco observadas da manutenção preventiva é o envolvimento direto do operador com uma rotina básica de inspeção no maquinário, e como consequência, a qualidade da mão de obra e a percepção dos técnicos e operadores de máquinas elevam-se gradativamente com o passar do tempo, sendo estes os principais responsáveis pelo diagnóstico de manutenção dos equipamentos (PALMER, 1999)

2.5 Normas técnicas de qualidade

Como citado anteriormente, qualidade está diretamente relacionadas com manutenção, e ambas áreas ingressaram como fatores importantes na produção industrial. A terceira geração também trouxe outras preocupações que futuramente trará normas técnicas para serem implantadas no setor fabril. Eliacy Cavalcanti Lélis (apud ABNT NBR ISO 9000, 2005, p. V) nos explica sobre as normas ISO², ABNT³ e OHSAS⁴:

- **ISO 9000** – explica o que é um sistema de qualidade e apresenta alguns conceitos importantes;
- **ISO 9001** – mostra como um sistema de gestão da qualidade deve ser;
- **ISO 9004** – dá dicas sobre como melhorar o desempenho do sistema de gestão e da própria organização;
- **ISO 14001** – Gestão Ambiental: tem por objetivo mudar os processos produtivos para diminuir o impacto ambiental da empresa;
- **ABNT NBR 16001** – Sistema de Gestão da Responsabilidade Social: pretende certificar empresas que contribuam de verdade com o desenvolvimento social;

² ISO – *International Organisation for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)

³ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

⁴ OHSAS - *Occupational Health and Safety Assessment Series* (Séries de Avaliação da Segurança e Saúde Ocupacional)

- **OHSAS 18001** – Sistema de Gestão da Segurança e Saúde Ocupacional: mostra o que pode ser feito para reduzir os riscos à saúde dos trabalhadores da empresa;
- **ISO/IEC 27001** – Sistema de Gestão da Segurança da Informação: pretende garantir a confidencialidade, integridade e disponibilidade das informações de uma organização;

Embora a implantação das normas descritas acima esteja diretamente vinculada com manutenção preventiva, o enfoque do trabalho será apenas na manutenção de uma máquina CNC.

2.6 Melhoria contínua

2.6.1 A filosofia Kaizen

O envolvimento de todos os colaboradores é um princípio da prática de melhoria contínua chamada *Kaizen* que, em japonês, significa “melhoria” ou “mudança para melhor” (GARGIONI, et al., 2007). É uma filosofia que não se concentra nas elites, distribuindo responsabilidade para todos.

O conceito de melhoria contínua foi trazido por W. E. Deming (1990) com a junção da sua visão de estatístico e a adquirida nas empresas japonesas, em que os trabalhadores e a administração participam na busca diária pela qualidade e por melhorias, chamado de kaizen. Ele percebeu que o ciclo PDCA trouxe o conceito de melhoria contínua (kaizen) e o sistematizou adequadamente.

A filosofia *Kaizen* é baseada em várias outras ideologias e instrumentos que ficam à disposição para implementação da melhoria contínua. Alguns exemplos são a Manutenção Produtiva Total (sigla TPM – Total Productive Maintenance, do inglês), Gestão da Qualidade Total, ciclo PDCA, dentre outras (KARDEC, LAFRAIA, 2002).

W. E. Deming (apud MONTEIRO DE CARVALHO, et al., 2006) também trouxe a ideia de que todos devem ser envolvidos na transformação e que a transformação é tarefa de todos. Percebe-se claramente que não há uma hierarquização da transformação. Tanto a alta gerência quanto os operários de máquinas são envolvidos com a mudança implementada na cultura organizacional. Este fato será muito explorado quando for trazido para a implantação do plano de manutenção da CNC. Mesmo tratando-se de um órgão público, existe a hierarquização (coordenador do laboratório x usuários da máquina). A mudança de mentalidade cultural e organizacional deve acontecer, porém, em todos os níveis. Futuramente, após a

implantação do plano proposto, todos devem colaborar para execução das atividades previstas, e também manter e controlar a qualidade da inspeção feita.

2.6.2 Ciclo PDCA

Segundo Falconi (2004), o ciclo PDCA – Plan, Do, Check, Act que, em português, pode ser traduzido como Planejar, Fazer, Checar e Agir – é uma ferramenta para praticar o controle de processos, podendo ser aplicados diretamente na manutenção através do cumprimento de Procedimento Padrões de Operação (POP), que pode ser utilizada para uma posterior avaliação da qualidade e melhoria contínua do plano de manutenção elaborado.

2.6.3 Política do 5s

A política do 5s é uma ferramenta fundamental para implantação da Gestão da Qualidade Total com o objetivo de promover e manter a organização e limpeza de um ambiente, seja ele de trabalho ou não. Baseia-se em 5 palavras japonesas – *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke* – que podem ser traduzidas, respectivamente, como utilização, organização, limpeza, padronização e autodisciplina, bases da implementação da Manutenção Produtiva Total.

O senso de utilização diz respeito à revisão e organização do ambiente de trabalho para manter ferramentas e materiais úteis, eliminando ou oferecendo um destino adequado à aquilo que não é utilizado.

Após a verificação do senso de utilização, vem o senso de organização. Colocar cada ferramenta ou material no seu devido lugar e identifica-los faz parte deste segundo senso. Deve existir um local para cada item e cada item deve estar em seu respectivo local quando não estiver em uso.

Ao final do turno de trabalho, a limpeza e organização é feita por cada um dos funcionários com o objetivo de melhorar o local de trabalho. A limpeza deve fazer parte de uma rotina diária dentro de um ambiente de trabalho.

O quinto senso refere-se à padronização. Manter os mesmos lugares para guardar os objetos e aplicar as mesmas regras de limpeza para todos são ações que possibilitam manter o mesmo padrão para todos no ambiente de trabalho.

Revisar e obedecer os padrões, manter o local organizado e limpo diariamente é o quinto senso. Autodisciplina permite a política se sustentar no dia-a-dia e se prolongar durante anos.

Quanto à implantação da política:

O programa deve ser implantado por iniciativa da administração em conjunto com todos os funcionários. Para iniciar implantação do programa, a administração deve marcar um sistema de reunião com todos, para promover o envolvimento das pessoas e fazer com que elas fiquem conscientes das responsabilidades que cada um terá no contexto, fazendo com que sejam criados vínculos para que todos se preocupem com o processo. (GONZALEZ e JUNGLES, 2003)

A implantação do programa deve se iniciar com treinamentos dos funcionários, em todos os aspectos contidos dentro do 5s. Deve-se frizar a importância e benefícios de uma política bem implementada, para que a etapa de manutenção do programa seja mais de mais fácil absorção por todos (MISCHALSKA; SZEWIECZEK, 2007).

3 CENTRO DE USINAGEM CNC – BREVE INTRODUÇÃO

Comando Numérico Computadorizado (CNC) refere-se às máquinas controladas por comando numérico, uma evolução do Controle Numérico (NC), na qual as máquinas eram programadas para executar comandos repetidos. Com o avanço da tecnologia e informática, principalmente após a 2ª Guerra Mundial, as máquinas puderam então ser programadas por computadores. (Máquinas CNC: A história do Comando Numérico Computadorizado, 2017))

A principal diferença entre NC e CNC é o fato de que, no primeiro, o programa não pode ser salvo em uma máquina, devido à ausência de memória, fato que não acontece no CNC, provida de um computador com memória para executar, editar e salvar o programa. A repetitividade é outro ponto importante a ser destacado: uma máquina CNC pode executar o programa várias vezes, ou seja, rodar de forma contínua, enquanto que na NC o programa é executado uma única vez.

Com o NC e logo após o CNC, houve um ganho na produtividade expressivo das máquinas ferramentas devido a operação automática sem a necessidade do operador estar gerindo o processo manualmente (FERRARI, 2003). A evolução para este momento veio da semi-automação através do uso de gabaritos.

Quando a indústria viu o retorno em produtividade oferecido pelo CNC logo houve investimentos para melhorar o setor de máquinas ferramentas CNC. Com isto veio a padronização do código utilizado na programação, código G, e a melhoria nos componentes controladores oferecendo precisão e confiabilidade no processo. As vantagens que se destacam são: qualidade constante das peças usinadas, desgaste constante das ferramentas de corte economia de mão de obra.

As modernas máquinas-ferramentas tem como características: rigidez, precisão, altas velocidades de avanço e de rotação do fuso principal (diminuição dos tempos principais de usinagem), altas velocidades de avanço rápido dos carros porta-ferramentas (reduzir ao máximo os tempos secundários), projeto voltado para o conforto operacional e para facilitar os trabalhos de manutenção, projeto voltado para atender às exigências de proteção do meio ambiente e redução do preço da máquina. (FERRARI, 2003)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foi utilizado um Centro de Usinagem CNC ROMI DISCOVERY 760 para a elaboração do plano de manutenção preventiva previsto no escopo do trabalho. As informações técnicas do equipamento são dispostas abaixo:

- Máquina: Centro de Usinagem Vertical CNC
- Fabricante: Industrias ROMI
- Modelo: Discovery 760 (similares – 560 e 1250)
- Máxima rotação do eixo árvore: 10.000 rpm
- Máxima velocidade de avanço: 25 m/min
- Potência do eixo árvore: 12.5 CV
- Comando Numérico, Siemens, Sinumerik, Série 810D
- Magazine de 22 Ferramentas com trocador pneumático (Trocador automático de ferramentas – TAF)
- Ano de Fabricação - 09/2001
- Curso Longitudinal (Eixo X): 760 mm
- Curso Transversal (Eixo Y): 406mm
- Curso Vertical (Eixo Z): 508 mm
- Superfície da mesa: 915×360mm
- Avanço Rápido (X / Y): 25m/min
- Avanço Rápido (Z): 20m/min
- Precisão de posicionamento: ± 0.004 mm
- Precisão de Repetibilidade: 0.001 mm
- Peso máximo admissível: 300 Kg

A faixa de rotação para a máquina standard varia de 6 a 6.000 rpm e da máquina e opcional varia de 10 a 10.000 rpm. No caso específico da máquina presente no laboratório, a rotação máxima atinge 10.000 rpm; o motor AC possui 12,5 CV de potência com variação contínua de velocidades acionado por variador de frequência; os deslocamentos da DISCOVERY 760 nos três eixos são feitos por fusos de esferas recirculantes de alta precisão acionados por servomotores AC (sem escovas) através de polias e correias.

Os principais componentes deste equipamento seguem abaixo listados:

- Painel de Comando Siemens
- Trocador automático de Ferramentas
- Sistema pneumático
- Chave geral
- Tomadas para sistema de refrigeração e transporte de cavacos
- Painel elétrico
- Entrada de energia 15 KVA
- Tanque de refrigeração (110 Litros)
- Sistema de lubrificação
- Trava elétrica da porta
- Mesa superior
- Mesa inferior
- Fuso X, Y, Z
- Guias lineares
- Coluna
- Cabeçote
- Base
- Correia do servomotor
- Servo Motor X,Y, Z
- Freio X, Y, Z
- Correia do eixo árvore
- Sensores
- Drawbar (Cilindro pneumático para acionar sistema de troca de ferramentas)
- Micro de referência X, Y, Z
- Protetores de cavacos X, Y

De acordo com o manual de manutenção preventiva previsto pelo fabricante, tem-se uma separação quanto a situações que podem ser feitas pelo operador e aquelas que devem ser executadas por um técnico qualificado. Segue a tabela 4.1 com ações e frequências de execução.

Tabela 4.1 – Plano de manutenção preventiva previsto pelo fabricante do centro de usinagem CNC Romi Discovery 760.

ITENS A SEREM INSPECIONADOS PELO OPERADOR	PÁGINA DE REFERÊNCIA EM MANUAL		PERÍODO					
			Diário	Semana	Mensal	Trimestr	Semestr	Anual
Verificar nível de óleo lubrificante	Manutenção	27						
Verificar nível e qualidade do fluido refrigerante	Manutenção	32						
Limpar filtros (tela) do tanque de fluido refrigerante	Manutenção	32						
Limpar por completo o tanque de refrigeração	Manutenção	32						
Inspecionar pressões pneumáticas	Manutenção	31						
Inspecionar filtros do sistema pneumático	Manutenção	31						
Inspecionar lubrificador do sistema pneumático (limpeza e reabastecimento)	Manutenção	31						
Retirar excessos de cavacos da área de usinagem	Manutenção	20						
Inspecionar proteções de cavacos	Manutenção	20						
Inspecionar garfos (segmentos) do T.A.F	Manutenção	26						
Lubrificar trilhos guia do carro do T.A.F	Manutenção	25						
Limpar filtros dos ventiladores / painel	Diagrama Elétrico	8-A/1						
Limpar o painel de operação externamente	Diagrama Elétrico	31-B						
Verificar vazamento de ar comprimido	Manutenção	18 e 31						
Verificar vazamentos no sistema de lubrificação	Manutenção	27 e 29						
Verificar vazamentos no sistema de refrigeração	Manutenção	32						

ITENS A SEREM INSPECIONADOS POR TÉCNICOS QUALIFICADOS	PÁGINA DE REFERÊNCIA EM MANUAL		DIÁRIO	SEMAN	MENSA	TRIMEST	SEMEST	ANUAL
Inspecionar a correia do eixo árvore	Manutenção	18						
Inspecionar correias dentadas dos fusos e encoder do eixo árvore	Manutenção	16 e 17						
Inspecionar lubrificação de guias e fusos	Manutenção	29						
Inspecionar micros de referência e fiação	Catálogo de Peças	19						
Inspecionar rolamentos dos fusos	Manutenção	16 e 17						
Inspecionar limpeza das guias lineares	Manutenção	15 a 17						
Inspecionar limpeza do painel elétrico internamente	Diagrama Elétrico	31-A/2						
Inspecionar nivelamento da máquina	Manutenção	14						
Inspecionar limpeza dos dissipadores dos acionamentos	Diagrama Elétrico	31-A/2						

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Será realizado, a partir do plano de manutenção do fabricante, uma adequação e explanação a respeito das ações, justificando simplificadaamente a necessidade das mesmas.

Todas as sugestões de alteração serão baseadas sempre observando o tempo de uso da máquina. O manual prevê ações para uma situação industrial, no qual a máquina opera por um longo período, situação que não ocorre no laboratório, sendo esta utilizada em ciclos de oito horas durante os dias da semana, dentro do semestre letivo, visando sempre a qualidade da pesquisa, em detrimento da produção elevada.

Baseado nas referências bibliográficas e na implantação da metodologia de melhoria contínua, a maior parte das ações do plano de manutenção deve ser realizada pelo próprio técnico do laboratório e usuários da máquina, pois estes estariam a par das condições operacionais, garantindo o bom funcionamento do equipamento e gerando pesquisas com resultados confiáveis e satisfatórios. Mantem-se a ideia de que o operador é dono da máquina, seguindo a filosofia *Kaizen*.

A mudança cultural é o principal desafio quando se trata da implementação de um plano de manutenção. A alteração comportamental demanda tempo e treinamentos para que todos compreendam a essência e importância da correta execução e implantação do plano de manutenção elaborado.

5.1 Componentes e itens a serem inspecionados

Abaixo é feito um breve levantamento e discussão dos itens e componentes a serem inspecionados durante a manutenção preventiva da máquina.

5.1.1 Verificação de nível de óleo lubrificante:

Período adequado: antes do uso da máquina.

Devido ao uso da máquina não ser constante, com períodos de oito horas por dia ao longo do semestre letivo, para evitar que ações sem necessidade não sejam executadas esta verificação pode ser feita através de inspeção visual pelo próprio usuário da máquina ou pelo técnico do laboratório. Uma simples ação pode evitar uma possível falha catastrófica. O indicador de nível de óleo lubrificante pode ser visto na Figura 5.1. Seria interessante também

fazer um registro do nível do lubrificante para armazenar dados e gerar um histórico de acompanhamento deste nível. Com estes dados em mãos e uma boa análise estatística desses dados é perfeitamente possível prever a data correta da intervenção preventiva para troca ou reabastecimento do lubrificante evitando que ações sem necessidade não sejam executadas.

A análise dos dados ainda permite criar gráficos, histogramas e cartas de controle de processo como uma ótima ferramenta para avaliar visualmente o histórico do nível de lubrificação da máquina.

Figura 5.1 - Indicador de nível de óleo



Fonte: elaborada pelos próprios autores

5.1.2 Verificar nível e qualidade do fluido refrigerante

Período adequado: recomenda-se pela segunda-feira antes do início das atividades da semana.

Com o objetivo de prevenir a falta de fluido na usinagem durante a operação pelos usuários da máquina, a inspeção do tanque de fluido refrigerante, apresentado na Figura 5.2, é fundamental para um processo de usinagem em que há um alto desgaste, gerando superaquecimento da ferramenta, podendo, assim não atender aos requisitos do produto esperado por ela, que, no caso específico, seriam resultados satisfatórios em pesquisas.

Este item também pode ser avaliado pelos próprios usuários ou técnico. Possivelmente, um treinamento relacionado à qualidade do fluido refrigerante e descarte correto do mesmo também seria de extrema importância, de preferência dado pelo próprio fabricante ou fornecedor do fluido. Além de ampliar os conhecimentos dos usuários da máquina, também implicaria em uma melhora na parte de gestão ambiental, com a correta destinação do fluido

refrigerante ao atingir o seu fim de vida útil. O correto descarte do fluido é extremamente benéfico para o meio ambiente e faz parte da política do 5S, ferramenta de Gestão da Qualidade.

Figura 5.2 - Tanque de fluido refrigerante



Fonte: elaborada pelos próprios autores

5.1.3 Limpar filtro (tela) do tanque de fluido refrigerante

Período adequado: após o uso da máquina.

Quando se fala de limpeza, o primeiro item que os usuários e executantes da limpeza devem lembrar é a aplicação básica da política do 5s, garantindo a limpeza do ambiente de trabalho, da máquina e, conseqüentemente, a segurança das outras pessoas no laboratório. Esta tarefa pode ser executada por qualquer um, desde que tenha consciência da importância e benefícios da aplicação prática de um dos itens do programa.

Este item também está diretamente vinculado ao item anterior, no que se refere à qualidade do fluido refrigerante. Em caso de entupimento do filtro do tanque refrigerante, devido à sua saturação, o fluido pode conter particulados e até mesmo cavacos que comprometem a qualidade das peças usinadas – riscamento da superfície, rugosidade fora da esperada.

5.1.4 Limpar por completo o tanque de refrigeração

Período adequado: mensalmente, toda primeira segunda-feira do mês.

A importância é a prevenção de acúmulo de sujeira ou formação de crostas na superfície do tanque podendo se desprender em algum momento e ser bombeado para dentro do sistema. Esse item, devido à complexidade e à segurança durante a execução da manutenção, deverá ser executado pelo operador com a supervisão do técnico do laboratório ou pelo próprio técnico.

5.1.5 Inspeccionar pressões pneumáticas

Período adequado: ao ligar a máquina.

Com o histórico das pressões seria possível prever o momento correto de trocar as mangueiras de ar e identificar vazamentos. Há também o fator segurança, uma vez que uma simples inspeção visual seguida de anotação do valor pode evitar acidentes relacionados à ar comprimido.

Vazamentos ou sobrepressões também são prejudiciais para a qualidade da pesquisa exercida na máquina. Vazamentos podem provocar uma má fixação do porta-ferramentas, gerando vibrações e movimentos relativos indesejados. Há também o risco do porta-ferramentas se desprender do cabeçote. Por outro lado, sobrepressão pode acelerar o desgaste.

Qualquer usuário da máquina poderá inspecionar as pressões visualizando o manômetro, aplicando diretamente a filosofia *kaizen* – o operador/usuário é o dono da máquina – desde que seja devidamente registrado o valor da pressão em um histórico, e também quem e quando realizou a inspeção.

5.1.6 Inspeccionar filtros do sistema pneumático

Período adequado: recomenda-se pela segunda-feira antes do início das atividades da semana.

A inspeção dos filtros do sistema pneumático (Figura 5.3) é necessária para a detecção de particulado na rede. O filtro é necessário para evitar a passagem de particulado e excesso de umidade para o sistema da máquina que pode ser afetado caso haja contaminação da rede. O bom funcionamento dos equipamentos pneumáticos dependem da qualidade do ar na rede.

Figura 5.3 – Filtros do sistema pneumático



Fonte: elaborada pelos próprios autores

5.1.7 Inspeccionar lubrificador do sistema pneumático

Período adequado: recomenda-se pela segunda-feira antes do início das atividades da semana.

Em um sistema pneumático o sistema lubrificador, também chamado de unidade de conservação (Figura 5.4), é responsável por manter a linha em pleno funcionamento, mantendo as partes que ficam em contato com o ar lubrificadas protegendo de desgaste e oxidação. No sistema é importante verificar o nível de óleo no sistema pois a dosagem correta é essencial para não ficar em excesso que se apresentará no ar e podendo obstruir a passagem do ar (BSPneumática, 2017).

Figura 5.4 - Unidade de conservação



Fonte: elaborada pelos próprios autores

5.1.8 Retirar excesso de cavaco da área de usinagem

Período adequado: após o uso da máquina ou ao final do dia.

Este item corresponde ao *Seisou* – terceiro item da política do 5s – que pode ser traduzido como “senso de limpeza” (MICHALSKA; SZEWIECZEK, 2007). É uma boa prática que garante a limpeza do ambiente de trabalho, deixando a máquina limpa para o próximo usuário.

A limpeza do excesso de cavaco também faz parte do plano de manutenção preventiva, uma vez que impede que pequenos particulados ou até mesmo cavacos adentrem em pequenos espaços entre os fusos, rolamentos, e outras localidades, que poderiam eventualmente acelerar o desgaste abrasivo de tais componentes. Uma ação extremamente simples e rotineira que pode ampliar a vida útil da máquina.

Este item, bem como todos os outros, deve ser implantado através de mudança comportamental de todos, desde o chefe do laboratório até os usuários esporádicos e visitantes do laboratório. O engajamento de todos é necessário para que a transformação ocorra (DEMING, 1990).

5.1.9 Inspeccionar proteções de cavacos

Período adequado: recomenda-se pela segunda-feira antes do início das atividades da semana.

A função principal da proteção de cavaco é garantir a segurança do usuário, evitando que cavacos ainda com temperatura elevada atinjam partes do corpo de quem opera o equipamento.

Uma inspeção simples seria avaliar a existência de tricas na proteção, verificar se há travamentos durante a abertura e fechamento da proteção e fazer a limpeza adequada com um pano na parte externa e interna. Este item não exerce muita influência na qualidade da pesquisa, tendo relevância apenas na segurança e limpeza – evitando respingos de fluido refrigerante no local de trabalho.

5.1.10 Inspeccionar garfos (segmentos) do TAF

Período adequado: início do semestre letivo.

Uma simples inspeção visual e limpeza para evitar que haja folgas, acúmulo de sujeiras e parafusos mal apertados nos segmentos do Trocador Automático de Ferramentas (TAF). A avaliação das pressões pneumáticas já garante a correta troca de ferramentas, porém não garante a integridade física dos garfos do TAF. Estes componentes podem ser inspecionado com uma

periodicidade menor, pois não são críticos e não interferem tanto na qualidade da pesquisa. Lembrando que se um garfo falhar, apesar de ainda existir outros 21 que podem substituí-lo normalmente, a ferramenta pode se soltar. Em caso de falha catastrófica, recomenda-se a troca específica do garfo danificado.

5.1.11 Lubrificar trilhos guia do carro do TAF

Período adequado: início do semestre letivo.

A lubrificação dos trilhos guia é essencial para o bom funcionamento e prevenção de desgastes prematuros que podem gerar folgas ou imprecisões ao se comandar a troca de ferramenta. Enfatiza-se que em um sistema que temos superfícies deslizantes trabalhando em contato a boa lubrificação garante a redução de atrito e, conseqüentemente a sobrecarga do motor.

5.1.12 Limpar filtros dos ventiladores/painel

Período adequado: início do semestre letivo.

O elemento filtrante é responsável por fazer o tratamento do ar admitido para refrigerar o painel eletrônico. A manutenção dele é necessária pois devido a retenção do particulado, o elemento filtrante vai ficando obstruído, reduzindo assim a passagem do ar insuflado. Com essa redução teremos uma menor troca de calor no painel eletrônico, aquecendo o mesmo e podendo comprometer componentes da placa.

5.1.13 Limpar o painel de operação externamente

Período adequado: recomenda-se pela segunda-feira antes do início das atividades da semana.

A limpeza do painel entra dentro dos padrões do 5S em que temos que manter o nosso ambiente de trabalho limpo e organizado. Este item corresponde ao “senso de limpeza” (MICHALSKA e SZEWIECZEK, 2007). É uma boa prática deixando a máquina limpa para o próximo usuário.

Além disto podemos perder a visibilidade do painel e também a contaminação por substancias resultantes da usinagem. Fator importante é a prevenção de entrada de particulado nas teclas podendo gerar mal contato e danificar o circuito. Sempre temos que prevenir a ação de agentes externos em sistemas eletrônicos para evitar curtos-circuitos e oxidações.

5.1.14 Verificar vazamento de ar comprimido

Período adequado: início do semestre letivo

O vazamento de ar comprimido implica em: gasto energético, comprometimento da pressão de trabalho da máquina, contaminação da linha pneumática, perda de eficiência da linha. Ao se ter um vazamento podemos ter situações como redução da vida útil do compressor pois ele fica ligando com uma frequência superior devido a pressão na linha estar com um consumo constante. Assim a verificação de vazamento na linha se torna necessária.

5.1.15 Verificar vazamentos no sistema de lubrificação

Período adequado: início do semestre letivo

Em um sistema que trabalha com um regime de lubrificação específico, qualquer alteração do regime gera comportamentos como aquecimentos, desgastes, mal funcionamento, sobrecarga dos componentes mecânicos e elétricos. Geralmente o óleo lubrificante não pode ser dispensado no meio ambiente, no caso de um vazamento poderíamos ter o envolvimento em questões ambientais. O sistema de lubrificação também é responsável de manter as partes protegidas de processos abrasivos, de oxidação e têm funções de retirada de particulado do sistema.

Portanto a inspeção do sistema de lubrificação é essencial para a conservação e bom funcionamento da máquina.

CONCLUSÃO

Para deixar de ser uma manutenção puramente corretiva, desenvolveu-se um plano de manutenção preventivo para a máquina CNC ROMI DISCOVERY 760, presente no LEPU, em que foi proposto um plano de inspeção visto ao longo deste trabalho.

Com uma breve revisão bibliográfica sobre manutenção, tribologia e qualidade, detalhou-se os componentes da máquina e apresentou-se na metodologia o plano de inspeção proposto pelo fabricante. Baseando-se assim para propor alterações e adaptações, apresentadas nos resultados, justificando-as em função do uso da máquina.

Aplicado o plano de manutenção adaptado espera-se um prolongamento da vida útil do equipamento, presando pelo bom funcionamento e redução de paradas corretivas. Trazendo segurança para as operações e, particularmente, confiabilidade nos resultados adquiridos a partir do processo de usinagem. O desenvolvimento deste trabalho traz a importância de um plano de manutenção acessível e executável para o operador.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para uma possível continuidade deste trabalho, serão sugeridos alguns temas que servirão como ideias para projetos futuros.

- Implantação do plano de manutenção elaborado;
- Elaboração de indicadores para avaliar a qualidade do plano de manutenção preventivo criado;
- Avaliação estatística dos dados adquiridos através da manutenção preventiva ao longo dos anos, com análise de tendências e identificação de condições anormais
- Ministrar treinamentos sobre a importância da política do 5s aplicada diretamente na manutenção da máquina CNC;
- Calcular precisamente os prazos de intervenção preventiva na máquina e montar um planejamento estruturado das paradas ao longo do semestre letivo ou durante as férias;
- Realizar uma análise prévia dos modos de falha baseado no histórico criado;
- Implantar um sistema de recirculação de fluido refrigerante;
- Avaliar a viabilidade de uma análise de óleo como manutenção preditiva;

REFERÊNCIAS

- ANTONIO MARTINS, R.; CARINA DO LAGO ATTADIA, L. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**, p. 34, 2003.
- BSPNEUMÁTICA. Disponível em: <<http://www.bspneumatica.com.br/lubrificador-linha-pneumatica>>. Acesso em: 28 out. 2017.
- CAVALCANTE LÉLIS,. **Gestão da qualidade**. 1º. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.
- CIMM. **Centro de Informação Metal-Mecânica**, 2017. Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/982-manutencao>>. Acesso em: 24 outubro 2017.
- DEMING, W. E. **Qualidade A revolução na administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva S.A., 1990.
- FALCONI CAMPOS, V. **TQC - Controle da Qualidade Total no estilo japonês**. Nova Lima: INDG Tecnologia Ltda, 2004.
- FERRARI, E. A. V. F. Universidade de São Paulo: e-disciplinas Sistema de Apoio às Disciplinas. **A evolução dos tornos automáticos - do came ao CNC**, 2003. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1806743/mod_resource/content/1/AF%20Folder%20Evolution%20Ferrari%201.pdf>. Acesso em: 23 Outubro 2017.
- GARGIONI, P. D. C.; HORNBURG, S.; WILL, D. Z. Introdução da filosofia de melhoria nas fábricas de eventos kaizen. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, outubro 2007.
- GONZALEZ, E. F.; JUNGLES, A. E. O 5s como ferramenta de qualidade em células de produção em canteiro de obra. **III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, São Carlos - SP, 16 a 19 setembro 2003.
- HUTCHINGS, I. M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. **Edward Arnold**, Universidade de Michigan, n. ilustrada, reimpressão, p. 273, 1992.
- ISO2081:2007. Mancais de rolamentos. **Capacidade de carga dinâmica e vida útil estimada**.
- KARDEC, A.; LAFRAIA, J. R. **Gestão estratégica e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- MÁQUINAS CNC: A história do Comando Numérico Computadorizado. **Protoprimus**, 2017. Disponível em: <<http://www.protoprimus.com.br/maquinas-cnc-historia-comando-numerico-computadorizado/>>. Acesso em: 24 outubro 10.

- MICHALSKA, J.; SZEWIECZEK, D. The 5S methodology as a tool for improving the organisation. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Gliwice, Poland, v. XXIV, n. 2, p. 211-214, outubro 2007.
- MONTEIRO DE CARVALHO, M. et al. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 6ª reimpressão. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance**. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1992.
- NASCIF, J.; KARDEC, A. **Manutenção Função Estratégica**. 2a. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- PALMER, D. **Maintenance planning and scheduling handbook**. New York: McGraw Hill, 1999.
- RABINOWICZ, E. **Friction and wear of materials**. 1st edition. ed. New York: Wiley, 1965.
- SKF - Dynamic bearings loads and life. **SKF**. Disponível em: <<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/bearing-life-and-load-ratings/dynamic-bearing-loads-and-life/index.html>>. Acesso em: 04 junho 2017.