

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS MEDIANEIRA  
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**CRISTIAN SPEGGIORIN PIETROBON**

**REBOBINADORA ELÉTRICA COM AJUSTE DE VELOCIDADE E  
CONTAGEM DO NÚMERO DE VOLTAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2015**

**CRISTIAN SPEGGIORIN PIETROBON**

**REBOBINADORA ELÉTRICA COM AJUSTE DE VELOCIDADE E  
CONTAGEM DO NÚMERO DE VOLTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Fischborn

**MEDIANEIRA**

**2015**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **REBOBINADORA ELÉTRICA COM AJUSTE DE VELOCIDADE E CONTAGEM DO NÚMERO DE VOLTAS**

por

**CRISTIAN SPEGGIORIN PIETROBON**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 15 de JUNHO de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Marcos Fischborn, Dr.  
Prof. Orientador

---

Estor Gnoatto, Dr.  
Membro titular

---

Yuri Ferruzzi, M. Eng.  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos meus pais, pelos  
momentos de ausências.

Dedico a meu amigo Dione Generoso, por  
toda sua ajuda e suas palavras de  
incentivo.

E também dedico este trabalho ao Valdir  
Feldkircher, por toda sua contribuição,  
apoio e oportunidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela saúde, fé e perseverança que têm me concedido para o término deste curso que é de grande importância para minha vida profissional.

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e da minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Fischborn, pela atenção durante a realização do trabalho.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

O homem se torna muitas vezes o que ele próprio acredita que é. Se insisto em repetir para mim mesmo que não posso fazer uma determinada coisa, é possível que acabe me tornando realmente incapaz de fazê-la. Ao contrário, se tenho a convicção de que posso fazê-la, certamente adquirirei a capacidade de realizá-la, mesmo que não a tenha no começo.

---

(GANDHI, Mahatma, 1995)

## RESUMO

PIETROBON, Cristian S. **Rebobinadora elétrica com ajuste de velocidade e contagem do número de voltas**. 2015. 69 folhas. Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira.

Uma das maiores dificuldades encontradas na rebobinagem de motores elétricos é a qualificação de profissionais que conhecem tais procedimentos. A rebobinagem é amplamente utilizada porque leva a baixos custos de manutenção e porque não é necessário substituir ou adaptar a máquina. A rebobinagem é aplicada em grande escala em indústrias através de dispositivos automáticos ou por processos artesanais em pequenas empresas. Em ambos os casos a qualidade do produto final é essencial e o enrolamento deve atender às normas dos fabricantes. A fim de melhorar o trabalho de rebobinagem em pequenas empresas, este texto propõe e desenvolve um dispositivo com controle automatizado de velocidade e número de voltas para a produção de enrolamentos de máquinas, possibilitando uma maior confiabilidade do produto final.

**Palavras-chave:** Rebobinagem. Motores. Manutenção.

## ABSTRACT

PIETROBON, Cristian S. **Electric rewinder with adjust of speed and counting of number of turns**. 2015. 69 sheets. Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial - Federal Technology University - Paraná. Medianeira.

One of the greatest difficulties found in rewinding electric motors is the expertise of professionals that know such a procedure. Rewinding is widely used because it leads to low maintenance costs and because it is not necessary replace or adjust the machine. The rewinding is applied in large-scale industries by automatic devices or by handmade processes in small businesses. In both cases, the quality in the final product is essential and the winding must attend to the standards of manufacturers. In order to improve the rewind work in small business, this text proposes and develops a device with automated control of speed and number of turns for small-scale production of machine windings, enabling improved reliability of the final product.

**Keywords:** Rewinding. Motor. Maintenance.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - PARES DE MOLDES: ONDULADOS (ESQUERDA), IMBRICADOS (DIREITA) .....	13
FIGURA 02 - CAMPO MAGNÉTICO PRODUZIDO POR UMA BOBINA .....	18
FIGURA 03 - BOBINAS E DIMENSÕES.....	19
FIGURA 04 - ENROLAMENTO MEIO IMBRICADO.....	21
FIGURA 05 - ENROLAMENTO IMBRICADO.....	22
FIGURA 06 - ENROLAMENTO CONCÊNTRICO. ....	23
FIGURA 07 - REBOBINADEIRA MANUAL. ....	24
FIGURA 08 - CICLO DE VARREDURA DE UM CLP.....	26
FIGURA 09 - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL COMPACTO WEG. ....	27
FIGURA 10 - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL MODULAR WEG.....	28
FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DE UM SENSOR NO PROCESSO. ....	30
FIGURA 12 - CONFIGURAÇÕES ELÉTRICAS DOS SENSORES DE PROXIMIDADE.....	31
FIGURA 13 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM RELÉ. ....	32
FIGURA 14 - BOTOEIRAS.....	32
FIGURA 15 - ESQUEMA DE UMA BOTOEIRA. ....	33
FIGURA 16 - ESQUEMA DE UM CONTATOR. ....	34
FIGURA 17 - DISJUNTOR MOTOR.....	35
FIGURA 18 - SENSOR INDUTIVO. ....	36
FIGURA 19 - CONTADOR DIGITAL. ....	37
FIGURA 20 - PAINEL DE COMANDO. ....	38
FIGURA 21 - PEDAL DE ACIONAMENTO. ....	39
FIGURA 22 - ESTRUTURA DA REBOBINADEIRA. ....	40
FIGURA 23 - TELA DE PROTEÇÃO.....	40
FIGURA 24 - VISTA SUPERIOR.....	41
FIGURA 25 - PAINEL DE COMANDO. ....	42
FIGURA 26 - POSIÇÃO DO SENSOR NA REBOBINADEIRA. ....	42
FIGURA 27 - INVERSOR CFW500 USADO NA REBOBINADEIRA.....	43
FIGURA 28 - MOTOR USADO NA REBOBINADEIRA.....	44
FIGURA 29 - PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DO MOTOR.....	44
FIGURA 30 - POSICIONAMENTO DOS DISJUNTORES.....	45
FIGURA 31 - CLP CLIC 02 WEG.....	47
FIGURA 32 - FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO.....	48
FIGURA 33 - PARTE DO PROGRAMA ESCRITO EM LADDER.....	49
FIGURA 34 - MOTOR EBERLE.....	51
FIGURA 35 - BOBINA SENDO FEITA NO MOLDE CONCÊNTRICO.....	52
FIGURA 36 - MOTOR COM QUASE TODAS BOBINAS COLOCADAS.....	52
FIGURA 37 - MOTOR PRONTO PARA SER SOLDADO. ....	52
FIGURA 38 - MOTOR PRONTO A SER ENTREGUE AO CLIENTE. ....	53
FIGURA 39 - MOTOR WEG.....	53
FIGURA 40 - MOTOR SENDO FEITO NO MOLDE IMBRICADO.....	54
FIGURA 41 - MOTOR COM BOBINA COLOCADA. ....	54
FIGURA 42 - MOTOR PRONTO PARA SER AMARADO.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do motor de indução utilizado .....	44
Tabela 2 - Materiais utilizados .....	45
Tabela 3 - Resumo dos resultados obtidos .....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Amperes
FMM	Força Magneto motriz
AE	Ampere-espira
CV	Cavalo Vapor
CLP	Controlador lógico programável
Hz	Hertz (Frequência)
IEC	International electrotechnical commission
RPM	Rotações por minuto
NA	Normal aberto
IL	Instrution list
NF	Normal fechado
VCA	Tensão alternada
LD	Ladder diagram
SFC	Sequential function
IHM	Interface homem/maquina
VCC	Tensão continua
PGM	Programação
ST	Structured text
NPN	Negativo-positivo-negativo
PNP	Positivo-negativo-positivo
mA	Miliampere
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	15
1.2 OBJETIVOS GERAIS .....	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 BOBINAS E MAGNETISMO .....	17
2.2 TERMINOLOGIA DA BOBINA .....	19
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS ENROLAMENTOS .....	20
2.4 PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA BOBINAGEM MANUAL .....	23
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
3.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	26
3.2 TIPOS DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS .....	27
3.3 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO .....	28
3.4 SENSORES .....	30
3.5 RELÉS .....	31
3.6 BOTOEIRAS OU BOTÕES DE COMANDO .....	32
3.7 CONTADORES E DISJUNTOR MOTOR .....	33
3.8 A CONTAGEM DAS VOLTAS .....	35
3.9 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO .....	37
3.10 MONTAGEM MECÂNICA .....	39
3.11 MONTAGEM ELÉTRICA .....	41
3.11.1 INSTALAÇÃO DO SENSOR INDUTIVO, INVERSOR E MOTOR .....	42
3.12 LISTA DE MATERIAIS .....	46
3.13 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	46
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
4.1 PRIMEIRA AVALIAÇÃO .....	50
4.2 SEGUNDA AVALIAÇÃO .....	53
4.3 PROBLEMAS ENCONTRADOS .....	55
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>

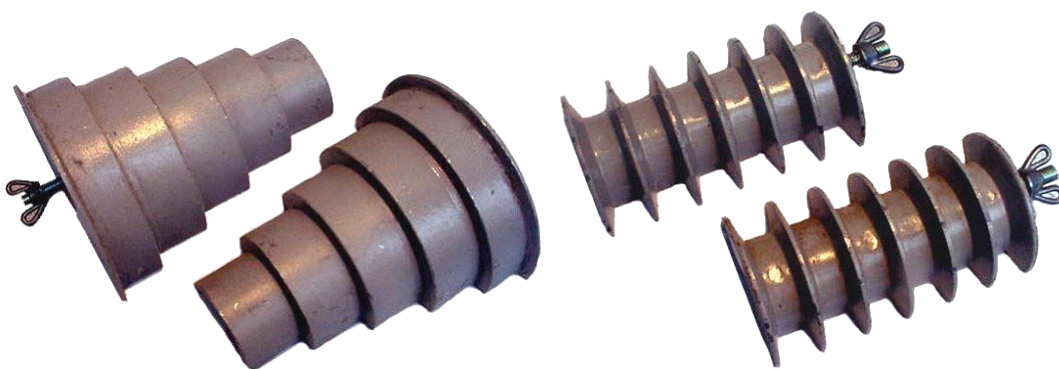
## 1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades encontradas na rebobinagem de motores elétricos é a qualificação de profissionais que saibam executar os procedimentos de rebobinagem.

A rebobinagem é muito utilizada por ter baixo custo e não ter a necessidade da substituição ou adaptação da máquina. Pode ser realizada em grande escala em indústrias ou artesanalmente em pequenas empresas. Nas duas situações é essencial que o produto tenha qualidade e seja produzido de forma a atender as normas legais.

As rebobinadeiras são usadas para confeccionar, a partir de rolos de fio esmaltado, conjuntos de espiras contendo um número específico de voltas, denominadas bobinas.

Conforme o tipo construtivo, a bobina é enrolada em moldes prontos visto na figura 1 que são acoplados à rebobinadeira. Os moldes se distinguem entre imbricados e ondulados.



**Figura 01 - Pares de moldes: ondulados (esquerda), imbricados (direita)**  
Fonte: Autoria própria

Os moldes são fabricados em alumínio para que não se corra o risco de riscar a camada de verniz do fio e são divididos em até sete canais sendo eles ondulados (concêntricos) ou imbricados (progressivos). Os moldes são sempre utilizados em pares idênticos. Os moldes ondulados têm a característica de aumentarem seu diâmetro progressivamente, e os moldes imbricados tem a característica de manter sempre seu diâmetro.

As bobinas de fio esmaltado devem estar livres de defeitos e apresentar uma boa estrutura de enrolamento, não devem estar cruzadas para facilitar a colocação, devem conter o número exato de voltas seguindo seu projeto original, a bitola do fio esmaltado também deve ser a mesma do projeto original. A consistência do enrolamento deve ser tão constante quanto possível ou ligeiramente decrescente a partir de dentro para fora para que não aconteça de atravessar os fios da bobina.

A contagem de voltas é feita mecanicamente, através de um contador de 5 dígitos de batida que normalmente quebra por causa do desgaste e dos impactos que ele sofre, resultando em contagem manual o que leva a perda de confiabilidade.

Desta forma o correto é utilizar um método digital de contagem para aumentar a vida útil da máquina já que neste caso não ocorrem choques mecânicos no mecanismo de contagem.

O número de espiras é obtido a partir do enrolamento original, bem como o tipo construtivo. Entretanto, quando a máquina a ser rebobinada apresenta um enrolamento danificado a ponto de não permitir a leitura ou se existem dúvidas sobre a forma construtiva, contata-se o fabricante e se solicita o esquema original.

Os diagramas planejados dos enrolamentos podem ser obtidos através de um software cedido pelo fabricante, disponível para as assistências autorizadas.

Nos dias atuais já existem algumas rebobinadeiras semi-automáticas, mas o custo de um equipamento deste requer uma produção elevada de um mesmo tipo de enrolamento, o que não ocorre em empresas que atuam na área da rebobinagem em pequenos municípios. Deste modo, o custo de aquisição é muito elevado o que torna inviável a aquisição deste tipo de ferramenta.

Assim, com a finalidade de melhorar os serviços prestados na área de manutenção, este trabalho propõe o desenvolvimento de um equipamento com ajuste automatizado de velocidade e número de voltas para a produção em pequena escala de enrolamentos de máquinas, possibilitando com isso produtos com qualidade controlada e mais uniformes.

O dispositivo a ser desenvolvido deve, mediante a inserção de parâmetros iniciais, realizar a confecção de bobinas de máquinas, contando o número de voltas automaticamente.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A região atendida pela empresa compreende vários municípios (Matelândia, Medianeira, Céu Azul, Ramilândia, Agro Cafeeira e região oeste, e os clientes pertencem a vários ramos da indústria e do comércio: agricultores, avicultores, pequenas indústrias, pecuaristas, frigoríficos, laticínios entre outros. Na sua maioria as entregas para rebobinagem ocorrem em estado de urgência, envolvendo o risco de perda ou diminuição da produção do cliente. Desta forma, o trabalho de rebobinagem precisa ser rápido, bem executado e ter bom acabamento.

A maioria dos motores entregues para rebobinagem são motores trifásicos de 0,75 CV, 4 polos, cujo valor de rebobinagem custa em torno de R\$200,00. Um motor novo com estas características custa em torno de R\$1000,00. Motores monofásicos de ventiladores, com potência de 0,5 CV, 6 polos, são uma segunda classe de motores rebobinados cujos serviços, que incluem rebobinagem, troca de rolamento e capacitor, custam R\$180,00. Um motor como este, novo, custa aproximadamente R\$450,00. Além destes, motores de moto-bombas com 2,0 CV e 2 polos, são frequentemente rebobinados, com a troca de rolamentos, não sendo necessária a troca da bomba inteira nem adaptações nas conexões.

Neste caso, como existe um conjunto de clientes que fazem uso da rebobinagem de motores, considerando que a aquisição de um equipamento industrial para rebobinagem não é viável economicamente e, levando em conta que existe uma oportunidade para melhoria dos serviços prestados pela empresa, justifica-se o desenvolvimento de um equipamento que execute passos essenciais na rebobinagem de motores elétricos, o que traz rapidez e qualidade ao produto final.

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS

Construir uma rebobinadeira com dispositivos capazes de atender o torque mínimo necessário para a confecção correta das bobinas. A velocidade do equipamento deve atender um mínimo que permita um ganho de fabricação mantendo a qualidade do produto.

A rebobinadeira deve atender os tipos de motores recebidos pela empresa: motores trifásicos na faixa de 0,75 CV, 4 polos, a motores de 7,5 CV, 2 polos, provenientes dos frigoríficos da região, motores monofásicos de ventiladores com 0,5 CV, 6 polos, motores de exaustores com 1,5 CV, 4 polos e motores de moto-bombas com 2,0 CV, 2 polos.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para este projeto são:

- a) Por meio dos procedimentos atuais de bobinagem, determinar os parâmetros necessários à produção automática de bobinas por meio de um equipamento;
- b) Elaboração de um procedimento funcional com definição das entradas/saídas para automação do dispositivo;
- c) Construção de um equipamento protótipo automático capaz de produzir bobinas mais rapidamente, de maior confiabilidade e melhor acabamento;
- d) Testar a precisão do protótipo com a rebobinagem de, no mínimo, dois motores para avaliar o equipamento, bem como a margem de erro.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A confecção das bobinas deve seguir o padrão do projeto original do fabricante, ou seja, conservando o tamanho, o diâmetro do fio esmaltado e o quantitativo de espiras.

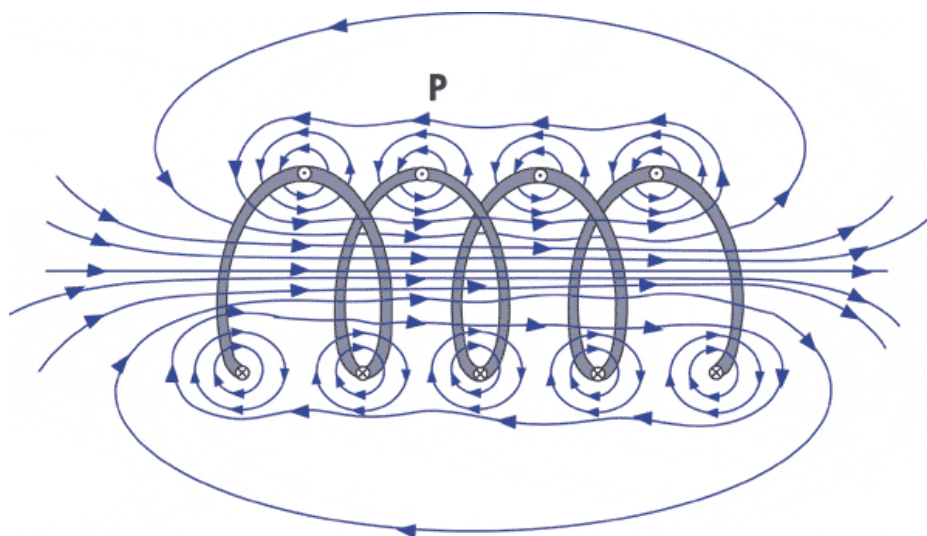
A disposição das bobinas deverá seguir o diagrama planejado construído originalmente, segundo o projeto. A identificação de cada grupo de bobinas poderá ser feita no momento da sua colocação ou após todos os grupos serem colocados (com o decorrer da experiência adquirida, o bobinador define a melhor forma de trabalho).

A automatização da rebobinadeira se baseia no uso de relés, um motor de indução, um controlador lógico programável e contator/disjuntor motor. Desta forma, a seguir, serão apresentados alguns conceitos fundamentais relacionados ao uso de bobinas, conceitos da terminologia da bobinagem e da classificação dos enrolamentos. No capítulo 3 das páginas 26 a 48 serão apresentados os dispositivos utilizados na construção da rebobinadeira automática.

### 2.1 BOBINAS E MAGNETISMO

As bobinas são confeccionadas e inseridas nos motores de indução com o objetivo de produzirem campos magnéticos.

Se uma bobina é conectada a uma fonte de tensão, nela circula uma corrente elétrica e, devido à Lei de Oersted, conforme encontrado em GUSSOW, M. (2009), um campo magnético é estabelecido em torno da bobina, conforme pode ser visto na figura 2.



**Figura 02 - Campo magnético produzido por uma bobina**  
 Fonte: [www.physicsforums.com](http://www.physicsforums.com), acesso em 26/05/2014.

Ainda de acordo com GUSSOW, M. (2009), a intensidade de um campo magnético numa bobina de fio depende da intensidade da corrente que flui nas espiras da bobina. Quanto maior a corrente, mais forte o campo magnético. Além disso, quanto mais espiras, mais concentradas as linhas de força. O produto da corrente vezes o número de espiras da bobina, que é expresso em unidades chamadas de ampères-espira (Ae), é conhecido como força magnetomotriz (Fmm).

Na forma da equação, [01]

$$F_{mm} = NI \quad [01]$$

Sendo:

Fmm: força magnetomotriz [Ae];

N: número de espiras

I: corrente [A].

Assim, como encontrado em GUSSOW, M. (2009) uma bobina com um determinado comprimento  $\ell$ , com núcleo de ar, produz no seu interior uma intensidade campo magnético H, dada pela seguinte equação:[02]

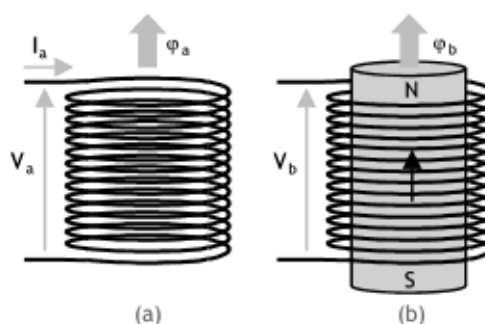
$$H = \frac{Fmm}{\ell} = \frac{NI}{\ell} \quad [02]$$

Sendo:

H: Intensidade de campo magnético, Ae.

$\ell$  : comprimento da bobina.

É importante observar que se for aumentado o comprimento da bobina mantendo a mesma quantidade de ampères-espira, a intensidade de campo diminui. Também se um núcleo ferromagnético for introduzido na bobina, o comprimento  $\ell$  usado no cálculo da intensidade de campo, será o comprimento desse material, conforme figura 03



**Figura 03 - Bobinas e dimensões.**  
 Fonte: [www.mspc.eng.br](http://www.mspc.eng.br), acesso em 27/05/2015.

## 2.2 TERMINOLOGIA DA BOBINA

Os termos a seguir, de acordo com (EBERLE, 19--), são utilizados na descrição dos enrolamentos:

- a) Espira: é formada pela ligação de dois condutores em série deslocados um a outro de um passo de bobina.
- b) Bobina: é formada por várias espiras em série colocadas no mesmo par de ranhuras e pertencentes à mesma camada. A bobina é formada por dois lados de bobina e as cabeceiras.

- c) Grupo: é formado pelo conjunto de bobinas de um par de polos e pertencentes à mesma fase.
- d) Fase: são vários grupos dependendo do número de polos.
- e) Conjunto: é o enrolamento completo. Para máquinas trifásicas é formado por três fases e para máquinas monofásicas é formado pelo enrolamento efetivo e auxiliar.
- f) Passo: indica o tamanho de cada bobina.
- g) Polo: são formações eletromagnéticas definidas pela corrente do enrolamento do motor e definem a rotação do motor.
- h) Defasagem: é o ângulo em graus ou em números de ranhuras entre duas fases e depende do sistema de alimentação. Para motores trifásicos a defasagem entre uma fase e outra é de 120 graus elétricos.

### 2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS ENROLAMENTOS

A associação de diversos condutores na forma de bobinas e a reunião destas bobinas em grupos resulta o que é conhecido por enrolamento.

As bobinas de cada grupo são ligadas entre si, apresentando cada grupo um início e um fim, colocados uniformemente nas ranhuras do núcleo do estator para gerar o campo magnético.

Os enrolamentos das máquinas de corrente alternada, trifásicas e monofásicas podem ser classificados de várias formas. Assim, segundo (WEG, 19--) ou ainda (KOHLBACH, 19--), os enrolamentos podem ser divididos em:

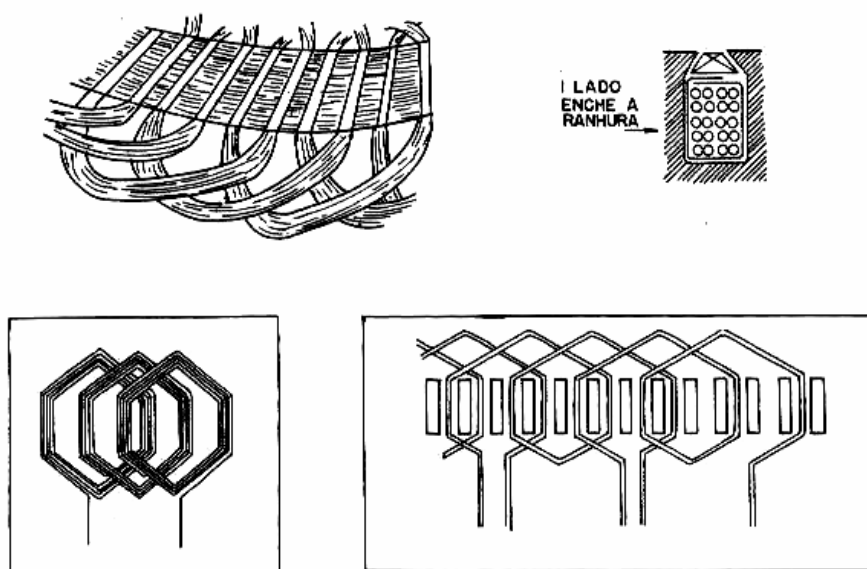
- a) Monofásico: é formado por uma fase efetiva e uma fase auxiliar defasadas de 90 graus elétricos;
- b) Trifásico: é formado por três fases iguais e distribuídas simetricamente, defasadas de 120 graus elétricos, na forma concentrada ou distribuída;
- c) Concentrado: é o enrolamento cujo lados de bobina ocupam uma ranhura do polo;
- d) Distribuído: é o enrolamento cujas bobinas ocupam diversas ranhuras por polo;

- e) Camada única: é o enrolamento no qual existe somente um lado de bobina em cada ranhura;
- f) Camada dupla: é o enrolamento no qual existem dois lados de bobina em cada ranhura;
- g) Misto: é a combinação dos enrolamentos de camada única e camada dupla num único enrolamento.
- h) Por polos: é o enrolamento onde cada grupo de bobina forma apenas um polo;
- i) Por polos consecuentes: é o enrolamento onde cada grupo de bobina forma dois polos.

Além disso, os enrolamentos dos motores de CA podem ter diversas formas e distribuições, dentre as quais podem ser destacadas:

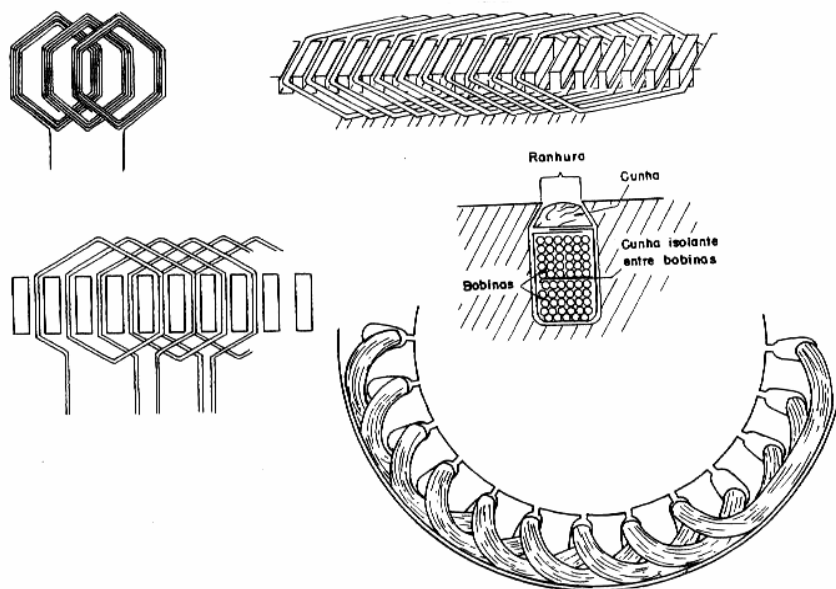
- a) Enrolamento meio imbricado conforme figura 04
- b) Enrolamento imbricado conforme figura 05
- c) Enrolamento concêntrico conforme figura 06

No enrolamento meio imbricado cada lado de bobina ocupa toda a área da ranhura.



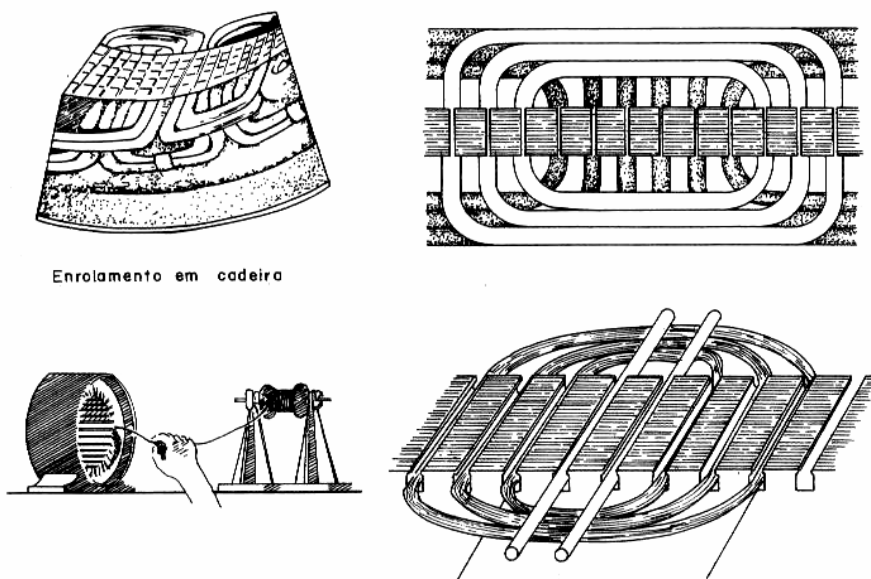
**Figura 04 - Enrolamento meio imbricado.**  
 Fonte: ftp.ifes.edu.br, acesso em 20/05/2015.

No enrolamento imbricado as bobinas tem passos idênticos e cada ranhura é ocupada por dois lados de bobina e existem tantas bobinas quantas são as ranhuras do estator.



**Figura 05 - Enrolamento imbricado.**  
Fonte: ftp.ifes.edu.br, acesso em 20/05/2015.

No enrolamento concêntrico o formato das suas bobinas normalmente é oval e o enrolamento é constituído por grupos contendo duas, três e até mais bobinas de tamanhos diferentes.



Enrolamento em cadeira

**Figura 06 - Enrolamento concêntrico.**  
 Fonte: ftp.ifes.edu.br, acesso em 20/05/2015.

## 2.4 PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA BOBINAGEM MANUAL

Ao receber um motor para reparo, o profissional responsável deve providenciar sua identificação. Em seguida todos os dados da placa de identificação do motor são anotados.

Depois, com o motor aberto e sem a presença do rotor, é feita uma inspeção visual interna, registrando-se avarias encontradas e anotando algumas informações com relação às características construtivas do estator e do enrolamento.

São anotadas características como:

- a. Número de ranhuras;
- b. Tipo de enrolamento (imbricado, concêntrico);
- c. Número de bobinas por grupo;
- d. Número de grupos por fase;
- e. Ligação entre grupos de bobinas;
- f. Passo de bobina;
- g. Passo Polar;
- h. Passo de Fase;

i. Esquema de ligação (número de terminais).

Se persistirem dúvidas, o fabricante desse ser consultado para confirmação dos dados originais (de fábrica). Com esses dados coletados, providencia-se a confecção do diagrama planejado do enrolamento, que fica anexado à ficha de controle do motor.

Após esta etapa, inicia-se a retirada do enrolamento. Observa-se o tamanho da cabeceira das bobinas para confecção do molde, conta-se o número de espiras e mede-se a bitola (diâmetro) do fio esmaltado.

Depois, confecciona-se as bobinas visto na figura 07 conforme o projeto original do fabricante, ou seja, conservando o tamanho, o diâmetro do fio esmaltado e o quantitativo de espiras, quando se diz quantitativo de espiras quer dizer que, se por exemplo, a bobina tem 100 espiras e é feita por 2 fios ela terá 50 voltas, que no total serão 100 espiras, entende-se que o número de voltas é o número de espiras dividido pelo número de condutores que veio no cabo de ligação da bobina.



**Figura 07 - Rebobinadeira manual.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A disposição das bobinas deverá seguir o diagrama planejado construído inicialmente, segundo o projeto original. A identificação de cada grupo de bobinas



poderá ser feita no momento da sua colocação ou após todos os grupos serem colocados (com o decorrer da experiência adquirida, o bobinador define a melhor forma de trabalho). Definem-se as ranhuras a serem ocupadas, em função do passo de bobina e, de acordo com o esquema planificado, tendo o cuidado para que os terminais fiquem do lado que serão executadas as ligações internas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP's) são equipamentos eletrônicos bastante utilizados em automação, formado por circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada, gerando sinais de saídas, de acordo com a lógica pré-definida. O princípio de funcionamento dos CLP's se baseia na sua programação, uma sequência de comandos organizada de forma lógica que define as ações a serem realizadas conforme o algoritmo criado previamente. Ao se mudar ou incrementar a programação, obtém-se novas respostas (saídas) às entradas aplicadas. A figura 08 mostra o funcionamento de um CLP.



**Figura 08 - Ciclo de varredura de um CLP.**  
**Fonte: Apostila controladores lógicos programáveis**

Segundo Natale, F. (1998), pode-se dividir o ciclo de funcionamento de um CLP em três partes: entradas, programa e saídas.

As entradas de um CLP são as que levarão sinais do sistema a qual se deseja controlar. As informações destas variáveis são levadas através de sensores: indutivos, fotoelétrico, mecânicos, que fornecem dois níveis lógicos: um ou zero, que

corresponde a +Vcc e zero Volts respectivamente e níveis analógicos de tensão (0 a 10 Vcc) ou corrente (4 a 20 mA). As saídas apresentam as mesmas características apresentadas pelas entradas, enviando sinais para o sistema a ser controlado.

A Unidade Central de Processamento do CLP é responsável pela execução das instruções que formam o programa, acessando os dados encontrados nas entradas executando a lógica elaborada no programa e efetuando as ações de saída igualmente programadas.

### 3.2 TIPOS DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

São classificados como compactos ou modulares, dependendo dos seus elementos constituintes.

Os CLPs compactos têm incorporados em uma única unidade: CPU e os módulos de E/S, sendo estes últimos os únicos disponíveis ao usuário. Esta estrutura é empregada para CLPs de pequeno porte. Suportam entradas e saídas analógicas, contadores rápidos, módulos de comunicação, interfaces homem/máquina (IHM), expansões de I/O. A figura 09 mostra um CLP compacto da WEG



**Figura 09 - Controlador Lógico Programável Compacto WEG.**  
Fonte: Autoria própria.

Os CLPs modulares executam uma determinada função em cada módulo. Há possibilidade de ter um processador e memória em um único módulo com fonte separada, ou então, as três partes juntas. As entradas e saídas são separadas em módulos de acordo com suas características, que são colocadas em certas posições (racks – unidade física dotada de barramento de alimentação e comunicação onde 15 são conectados os módulos de um CLP), formando uma configuração de médio e grande porte. São constituídos de rack, fonte de alimentação, CPU e módulos de E/S. Segundo Franchi, C. M.; Camargo, V. L. A., (2008), estes CLPs vão desde os denominados MicroCLPs, que suportam pequenas quantidade de E/S até os CLPs de grande porte, que tratam até milhares de pontos de E/S. A figura 10 mostra um CLP modular da marca WEG.



**Figura 10 - Controlador Lógico Programável modular WEG.**  
Fonte: [paineleletricopreventiva.com.br](http://paineleletricopreventiva.com.br) acesso em 22/05/2015.

### 3.3 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Segundo Franchi, C. M.; Camargo, V. L. A., (2008), a linguagem de programação é um conjunto padronizado de instruções que o sistema computacional

é capaz de reconhecer. Nos últimos anos, houve um grande avanço nas técnicas e nas linguagens de programação, visando atender aos mais diversos setores.

Ainda segundo Franchi, C. M.; Camargo, V. L. A., (2008), a necessidade de estabelecer um padrão aberto para os CLPs criou um grupo de trabalho no IEC (International Electrotechnical Commission) para estabelecer normas em todo o ciclo de desenvolvimento dos CLPs. Em 1990 o IEC publicou a norma IEC 1131, que foi revisada alguns anos depois, recebendo o número IEC 61131 e a sua terceira parte (IEC 61131-3) trata das linguagens de programação.

Franchi, C. M.; Camargo, V. L. A., (2008), afirmam que quanto às linguagens de programação, a norma IEC 61131-3 definiu cinco tipos de linguagens: Diagrama de Blocos de Funções (FBD – Function Block Diagram), Linguagem Ladder (LD – Ladder Diagram), Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC – Sequential Function Chart), Lista de Instruções (IL – Instruction List) e Texto Estruturado (ST – Structured Text).

Entretanto, a Linguagem Ladder, baseada na lógica de relés e contatos elétricos, é a linguagem mais difundida e encontrada em quase todos os CLPs da geração atual.

A linguagem usa símbolos como bobinas e contatos. Os contatos são programados em linha e representam as condições que serão avaliadas de acordo com a lógica. As bobinas representam o controle de uma saída ou memórias internas.

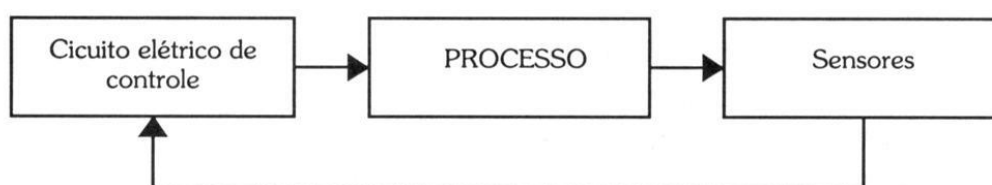
Dado a necessidade de automatizar o protótipo, foi utilizado a programação de linguagem ladder pelos motivos citados abaixo:

- a) Fácil diagnóstico durante o projeto
- b) Podem ser programados sem interromper o processo produtivo
- c) Possibilidade de criar um banco de armazenamento de programas
- d) Necessita de uma reduzida equipe de manutenção

### 3.4 SENSORES

Atualmente, a maioria dos sensores utilizados são elétricos ou eletrônicos. Os sensores são largamente usados na medicina, automação, controle de processos industriais e robótica.

Segundo Bonacorso, N. G. (2004), os sensores elétricos são componentes que captam as informações necessárias no decorrer do processo e as enviam ao circuito elétrico de controle, conforme mostra a figura 11.



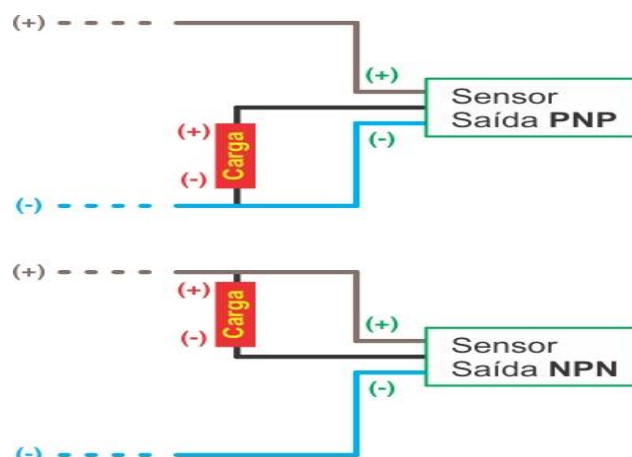
**Figura 11 - Localização de um sensor no processo.**  
Fonte: Bonacorso (2004).

Segundo Bonacorso, N. G. (2004), estes sensores detectam a aproximação de materiais orgânicos, plásticos, pós, líquidos, madeiras, papéis, metais etc. O seu princípio de funcionamento se baseia na detecção da variação do campo elétrico de alta frequência devido à aproximação do objeto,

O acionamento ocorre sem que haja o contato físico entre o acionador e o sensor, aumentando com isso a vida útil do sensor. O estágio de saída deste tipo de sensor é um transistor PNP ou NPN, podendo ter ainda as seguintes configurações elétricas:

- a) Função NA (3 terminais)
- b) Função NF (3 terminais)
- c) Saída complementar (4 terminais acessíveis).

Estas configurações são apresentadas na figura 12.



**Figura 12 - Configurações elétricas dos sensores de proximidade.**  
 Fonte: [www.digel.com.br](http://www.digel.com.br) acesso em 27/05/2015.

Na saída com transistor PNP a carga a ser acionada pelo sensor deve ser conectada entre o terminal negativo e o terminal NA ou NF. Já na saída com transistor NPN, a carga deve ser conectada entre o terminal positivo e o terminal NA ou NF, conforme a lógica de controle utilizada. O sensor de proximidade pode ser indutivo ou capacitivo.

### 3.5 RELÉS

Os relés, segundo Silva, M. E. (2015), são os elementos fundamentais de manobra de cargas elétricas, pois permitem a combinação de lógicas no comando, bem como a separação dos circuitos de potência e comando. Os mais simples constituem-se de uma carcaça com cinco terminais. A figura 13 mostra os terminais (1) e (2) correspondentes a bobina de excitação. O terminal (3) é o de entrada e os terminais (4) e (5) correspondem aos contatos normalmente fechado (NF) e normalmente aberto (NA), respectivamente.

Uma característica importante dos relés, como pode ser observado na figura 13, é que a tensão nos terminais (1) e (2) pode ser 5 Vcc, 12 Vcc ou 24 Vcc, enquanto simultaneamente os terminais (3), (4) e (5) podem trabalhar com 127 Vca ou 220 Vca.

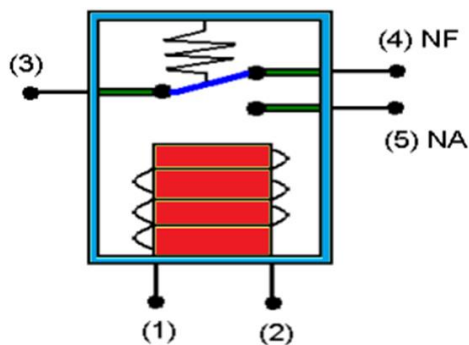


Figura 13 - Diagrama esquemático de um relé.  
Fonte: Silva (2015).

### 3.6 BOTOEIRAS OU BOTÕES DE COMANDO

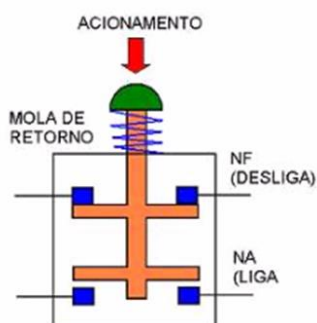
Quando se fala em ligar um motor, o primeiro elemento que vem à mente é o de uma chave. Entretanto, no caso de comandos elétricos os botões que ligam os motores são diferentes de um interruptor, utilizadas para ligar uma lâmpada, no protótipo sendo utilizado o botão azul para inverter o sentido de giro, o verde para poder iniciar o procedimento e o vermelho para resetar o contador digital.



Figura 14 - Botoeiras.  
Fonte: Autoria própria.



A principal diferença está no fato de que ao movimentar a chave residencial ela vai para uma posição e permanece nela, mesmo quando se retira a pressão do dedo. Na “chave industrial” ou botoeira, figura 14, há o retorno para a posição de repouso através de uma mola segundo Silva, M. E. (2015), podendo ser observado na figura 15.

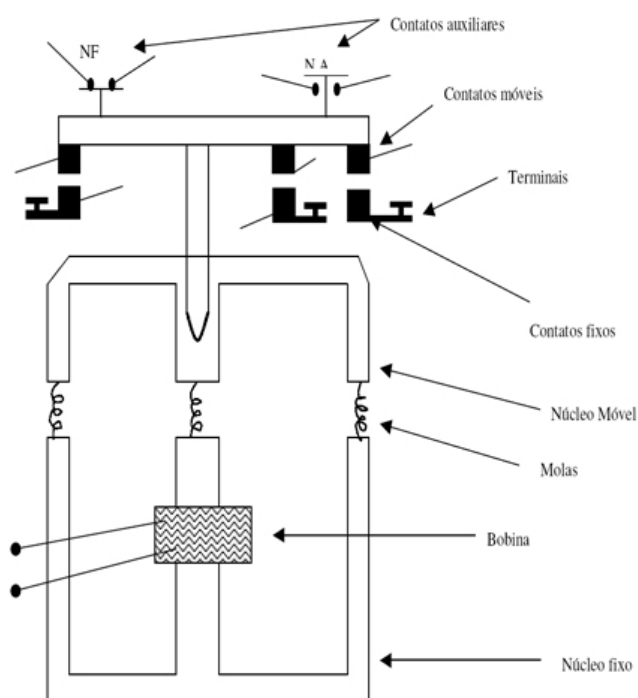


**Figura 15 - Esquema de uma botoeira.**  
**Fonte: Silva (2015).**

A botoeira faz parte da classe de componentes denominada elementos de sinais. Existem botoeiras com apenas um contato podendo ser do tipo NA ou NF.

### 3.7 CONTADORES E DISJUNTOR MOTOR

Os contadores são dispositivos eletromagnéticos construídos para uma elevada frequência de operações, servem para ligar e desligar um motor, por exemplo, e são utilizados geralmente para comandos elétricos automáticos à distância. É constituído por uma bobina que quando alimentada cria um campo magnético que atrai o núcleo móvel fechando o circuito. Cessando a alimentação da bobina, o campo deixa de existir, provocando o retorno do núcleo através de molas, conforme mostra a figura 16.



**Figura 16 - Esquema de um contator.**  
**Fonte: Refrigere (2015).**

O disjuntor-motor, figura 17, é um dispositivo composto por disparadores térmicos e magnéticos que atua na partida do motor elétrico, assegurando o comando e a proteção do motor nos seguintes casos: queima causada por variação de tensão e corrente na rede, elevação de temperatura do motor e condutores e contra sobrecargas. Para essa proteção o disjuntor-motor deve exercer 4 funções básicas:

- a) Seccionamento: sua função é isolar da rede os condutores ativos quando o motor está desligado e protege quanto há falta de fase;
- b) Proteção contra curto-circuito: essa função detém e interrompe o mais rápido possível correntes elevadas de curtos-circuitos para impedir a deterioração da instalação;
- c) Proteção contra sobrecargas: tem como função deter correntes de sobrecarga e interromper a partida, antes que a temperatura do motor e dos condutores fique muito elevada o que pode ocasionar a queima do material (verniz);
- d) Comutação: sua função é ligar e desligar o motor, podendo ser manual ou automático.



**Figura 17 - Disjuntor motor.  
Fonte: Autoria própria.**

### 3.8 A CONTAGEM DAS VOLTAS

A contagem das voltas é o item fundamental necessário à correta bobinagem e é realizado por um sensor do tipo indutivo. O sensor foi posicionado em um ponto fixo para contar cada volta completa de cada bobina.

O sensor indutivo, figura 18, substituirá o contador tradicionalmente utilizado, um contador de batidas, pois não requer contato físico para atuar. Esse fator proporciona uma maior durabilidade, segurança e velocidade de trabalho do equipamento.



**Figura 18 - Sensor indutivo.  
Fonte: Autoria própria.**

Visto a contagem será feita pelo sensor citado na figura 18, acoplado a um contador digital, figura 19, que é fixado no painel da máquina. Desta forma, pode-se ter uma boa visualização das voltas que estão sendo confeccionadas.

Ao pressionar a tecla PGM, o display indica a contagem programada. Para alterar, pressiona-se as teclas (+) ou (-). Pressionando-se novamente a tecla, ou após dez segundos sem pressionar nenhuma tecla o aparelho grava os dados na memória e retorna ao funcionamento normal.

Caso o controlador esteja configurado como controlador presetável com totalizador é possível visualizar a contagem total de unidades incrementadas mantendo a tecla (+) pressionada. Para zerar o totalizador<sup>1</sup> pressiona-se a tecla (+), (-) e F.

---

<sup>1</sup> Maiores informações sobre o contador podem ser encontradas no site da empresa: [http://www.salfatis.com.br/manuais/inova\\_9402.pdf](http://www.salfatis.com.br/manuais/inova_9402.pdf)



Figura 19 - Contador digital.  
Fonte: Autoria própria

A figura 19 mostra o *display* que indica a contagem decorrida ou a contagem programada para o processo.

**PGM:** Tecla de programação.

- **Tecla Down:** diminui a contagem programada.

+ **Tecla Up:** aumenta a contagem programada.

**F - Tecla de reset:** reseta a contagem a cada toque.

**C1:** Led do relé.

### 3.9 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO

A figura 20 mostra a imagem da rebobinadeira com 3 botões de impulsos e um botão de emergência, 4 luzes, 1 contador, 1 CLP e um inversor.



**Figura 20 - Painel de comando.**  
**Fonte: Autoria própria**

Para fazer o acionamento da rebobinadeira é necessário conferir o botão de emergência, que deverá estar liberado. Se estiver apertado, gira-se o mesmo para que ele suba. Verifica-se também o sentido de rotação do motor pela IHM do inversor. Se estiver com o sentido de rotação invertido, pressiona-se o botão azul e confere-se novamente a IHM (interface homem/máquina).

Após isso, aperta-se o botão vermelho do painel da máquina para que a contagem retorne a zero, reinicializando o número de voltas do contador. Em seguida é necessário apertar o botão verde para dar início à confecção da bobina. Isto poderá ser conferido pela luz de informação disposta logo abaixo do contador (uma luz verde deverá acender), mas só entrará em ação após o operador pisar em um pedal situado no chão (figura 21).





**Figura 21 - Pedal de acionamento.**  
**Fonte: Autoria própria**

Ao final da contagem o contador fechará sua saída freando o motor até sua parada total. No momento que isso ocorrer, uma luz amarela piscará indicando o fim das voltas pré-determinadas.

Após o término da bobina e da remoção da mesma, um novo ciclo poderá ser iniciado apertando-se novamente o botão vermelho para zerar o número de voltas do contador e desligar a luz amarela. O ciclo inicia apertando-se o botão verde.

### 3.10 MONTAGEM MECÂNICA

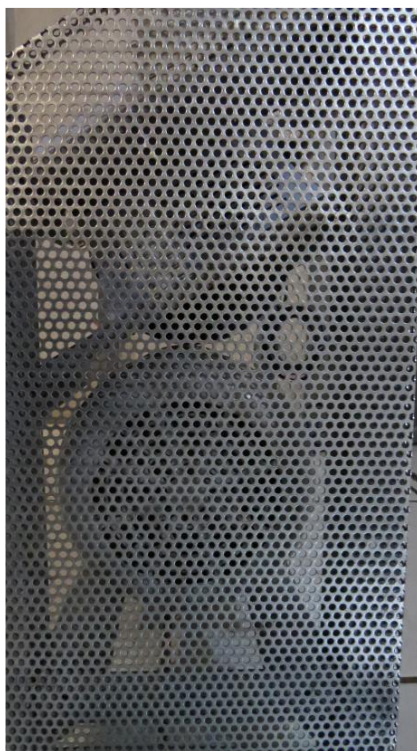
A rebobinadeira constitui um dispositivo eletromecânico contendo motor, inversor de frequência, controlador lógico programável, sinalizadores e outros elementos de acionamento.

Possui as dimensões de 55 cm de comprimento por 51 cm de altura e 24 cm de largura. Sua estrutura foi uma adaptação de um exaustor sendo reutilizados materiais de refugo como chapas, cantoneiras e vigas U. Para montagem foi utilizada solda elétrica.



**Figura 22 - Estrutura da rebobinadeira.**  
**Fonte: Autoria própria**

Para proporcionar uma ventilação mais eficaz foi colocada no lado posterior (lado do ventilador do motor) uma capa com tela moeda conforme figura 23, para que tenha livre fluxo de ar.



**Figura 23-Tela de proteção.**  
**Fonte: Autoria própria**



Também foram reutilizadas a polia e os mancais da estrutura do exaustor. Mudou-se apenas a altura em relação à aplicação anterior. Também foi colocada uma chapa para o arranjo funcional dos equipamentos utilizados na parte elétrica.



**Figura 24 - Vista superior.**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.11 MONTAGEM ELÉTRICA

Os botões de acionamento foram colocados na parte superior da máquina para facilitar a operação da rebobinadeira. A figura 25 mostra a posição dos botões de acionamento, de inversão do sentido de rotação, da parada e botão de emergência.



**Figura 25 - Painel de comando.**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.11.1 INSTALAÇÃO DO SENSOR INDUTIVO, INVERSOR E MOTOR

O sensor indutivo foi fixado em uma chapa de aço soldada no interior da estrutura fixa. Desta forma o sensor pode ser acionado a cada volta da polia. A figura 26 mostra a chapa de montagem, com o sensor, devidamente soldada à estrutura.



**Figura 26 - Posição do sensor na rebobinadeira.**  
**Fonte: Autoria própria**

Para a montagem do circuito e instalação física dos sensores e da placa metálica foram efetuados testes de forma a garantir que houvesse distância suficiente para manter a integridade dos sensores e, ao mesmo tempo, que estes fossem devidamente atuados pela placa metálica.

A rebobinadeira é acionada por um inversor de frequência, figura 27, para que não tenha partida direta, mas sim uma rampa de aceleração, que é o tempo de sair da inercia (parado) e chegar a velocidade ajustada pelo potenciômetro, e desaceleração que é ajustado em um parâmetro do inversor que é o tempo de parada.



**Figura 27 - Inversor CFW500 usado na rebobinadeira.  
Fonte: Autoria própria**

Também foi colocado um motor, figura 28, da marca Nova de 1 CV e 4 polos (1725 rpm) para acionar o sistema. Os dados do motor e sua placa estão na Tabela 1 e na figura 29, respectivamente.

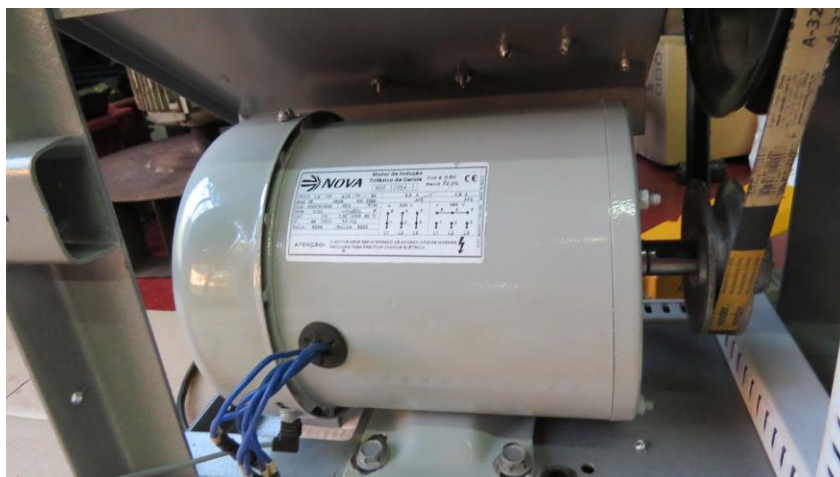


Figura 28 - Motor usado na rebobinadeira.  
Fonte: Autoria própria

Tabela 1 - Características do motor de indução utilizado

Dados da placa	
Frequência (Hz)	60
Velocidade de entrada (RPM)	1725
Rendimento (%)	72,3
Tensão de alimentação (Vca)	220
Corrente nominal (A)	3,3
Potência (CV)	1

Fonte: Autoria própria

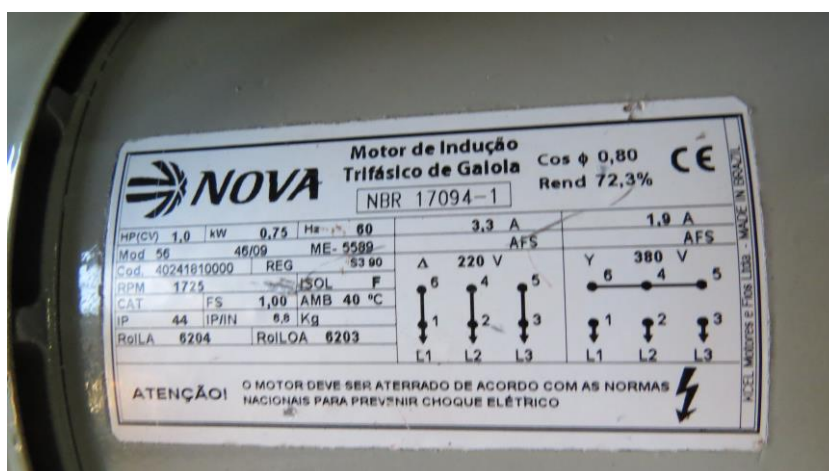
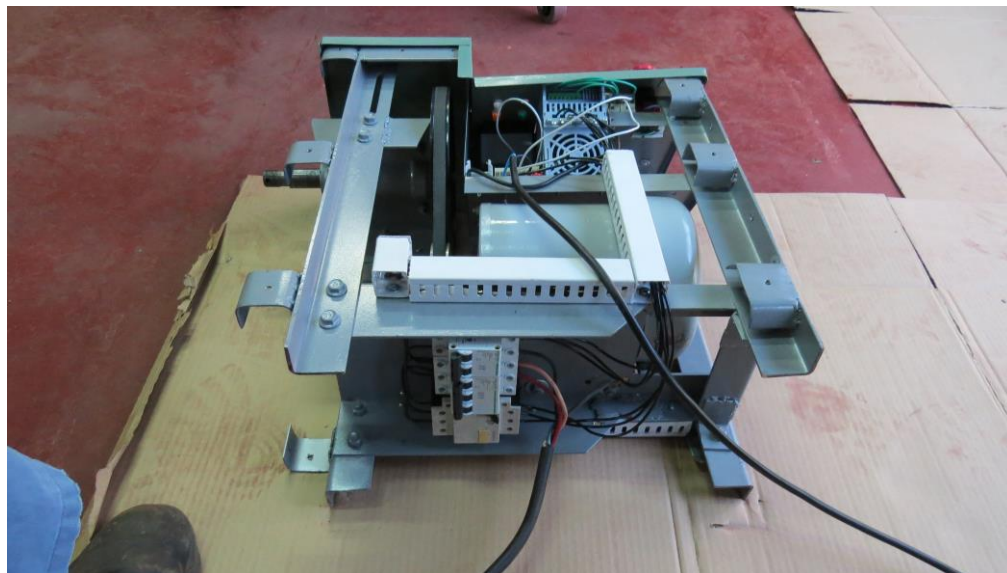


Figura 29 - Placa de identificação do motor.  
Fonte: Autoria própria

A parte de força foi alocada na parte de baixo da rebobinadeira, como pode ser observado na figura 30. Para proteção do sistema foi colocado um disjuntor tripolar para proteger o sistema, um disjuntor bipolar para proteger o comando e um disjuntor-motor tripolar para proteger o motor.



**Figura 30 - Posicionamento dos disjuntores.**  
**Fonte: Autoria própria**



### 3.12 LISTA DE MATERIAIS.

Para fazer a montagem do protótipo foram utilizados os materiais apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Materiais utilizados**

<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
01	Clp WEG Clic 02	670,00
01	Inversor WEG CFW 500	730,00
01	Motor 01cv	Doação
05	Borne SAK	35,00
20	Cabo 1x0,70m <sup>2</sup>	10,00
03	Botão de pressão	25,00
01	Botão de emergência	13,00
02	Rolamentos 6205	30,00
01	Pedal	83,00
01	Sensor	45,00
03	Cabo 4x2,5mm <sup>2</sup>	13,00
01	Disjuntor tripolar	38,00
Total		1.692,00

**Fonte: Autoria própria**

### 3.13 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Para controlar o acionamento do pedal, a contagem de voltas, acionamento de relés e do motor, utilizou-se um CLP.

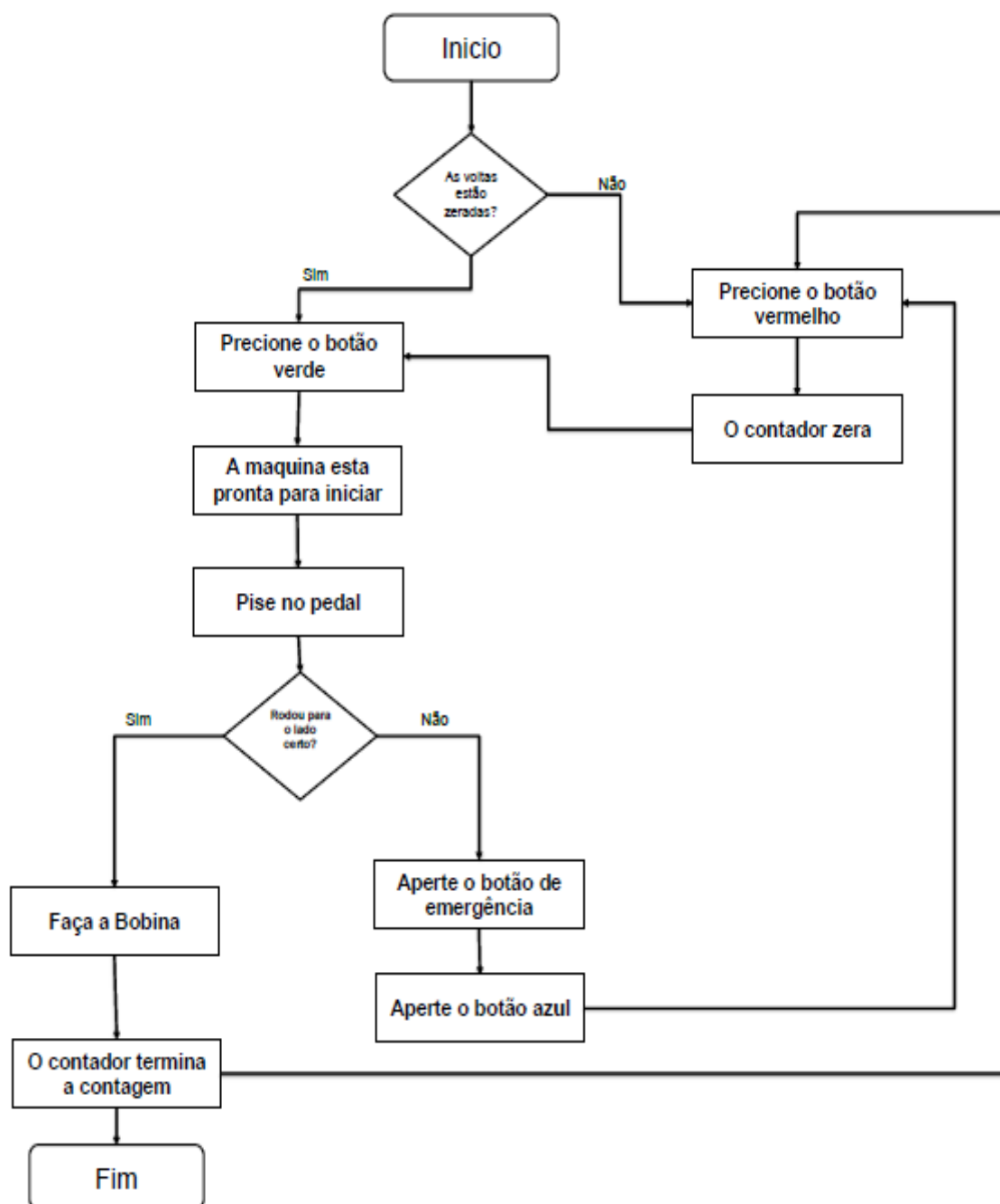
O CLP escolhido para realização da programação foi o CLP compacto da série CLIC 02 da WEG. A escolha deste CLP foi por atender a quantidade de entradas e saídas necessárias para a automação da rebobinadeira.

O CLP foi instalado junto com o protótipo sendo comprado somente para essa finalidade. A figura 31 mostra o CLP.



**Figura 31 - CLP Clic 02 WEG.**  
**Fonte: Autoria própria**

Para melhor entendimento do procedimento operacional, foi criado um fluxograma que mostra o ciclo. Este fluxograma pode ser observado na figura 32.



**Figura 32 – Fluxograma de funcionamento.**  
**Fonte: Autoria própria**

Para entender o funcionamento, considere-se num primeiro momento a rebobinadeira parada.

Para que a rebobinadeira possa executar o movimento, algumas condições devem ser satisfeitas. O relé de contagem deve estar aberto. Caso ele esteja fechado o equipamento não consegue ser acionado ou, no caso de a rebobinadeira



já estar desempenhando algum deslocamento e caso um dos relés de contagem feche, o equipamento interrompe seu movimento imediatamente até que sejam repostas suas condições de operação, continuando o movimento interrompido.

Se o pedal não for acionado a rebobinadeira não entrará em movimento. Caso o pedal seja aberto durante o efetuar de uma bobina o movimento simplesmente irá parar e, estando acionado, voltará a funcionar normalmente.

A programação da sequência de operações da operação da lógica de acionamento foi feita na linguagem Ladder e foi programada no software Clic02 Edit do próprio CLP. A figura 33 mostra parte do diagrama Ladder utilizado para o controle da rebobinadeira.

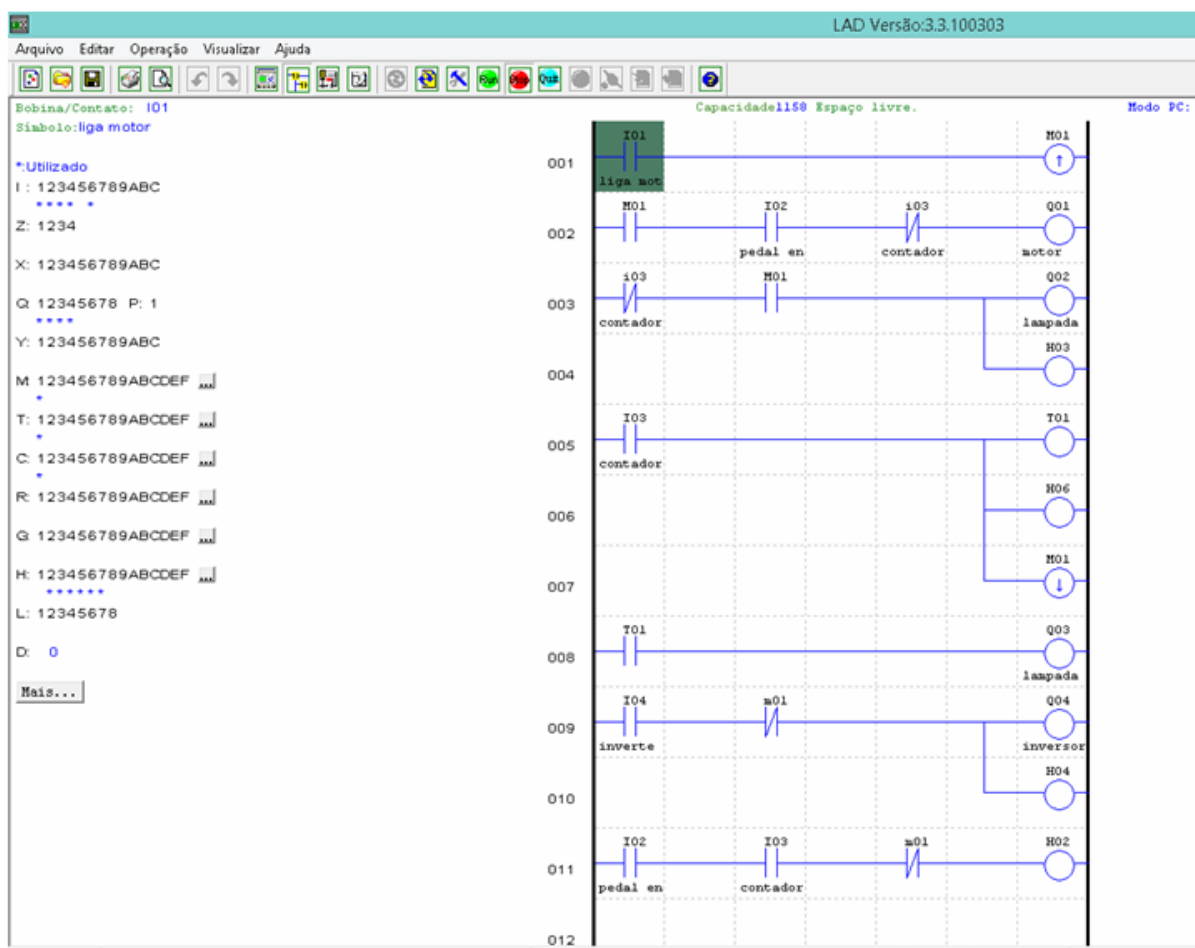


Figura 33 - Parte do programa escrito em Ladder.  
Fonte: Autoria própria

Uma vez que a programação foi concluída, a mesma foi transferida para o CLP através de um cabo de rede e da porta USB.

## 4 RESULTADOS

Para avaliar a funcionalidade da rebobinadeira foram realizados dois testes com dois motores diferentes: o primeiro com bobinas concêntricas e o segundo com bobinas imbricadas.

Em cada teste foram avaliados:

- a) O tempo de trabalho;
- b) A precisão das bobinas, que se refere ao número correto de voltas e o formato adequado delas;
- c) A qualidade final das bobinas.

O trabalho de rebobinagem e os resultados foram acompanhados pelo rebobinador responsável pelo setor de rebobinagem.

A rebobinagem é feita com o uso de moldes prontos, que são acoplados a qualquer rebobinadeira seja ela elétrica ou manual, automática ou artesanal.

### 4.1 PRIMEIRA AVALIAÇÃO

A primeira avaliação da rebobinadeira foi realizada com a rebobinagem de um motor da marca Eberle, visto na figura 34. Trata-se de um motor de 10 CV, trifásico, utilizado com um freio magnético de um elevador.

O enrolamento original deste motor tem as seguintes características:

- a) Enrolamento concêntrico;
- b) 12 bobinas com 18 espiras;
- c) Grupos de 2 (36 espiras no total para cada bobina);
- d) Fios 19, 20 e 21 AWG;
- e) Ligação série.



**Figura 34 - Motor Eberle.**

**Fonte: Autoria própria**

O tempo de confecção de cada bobina foi de 30 segundos aproximadamente. A velocidade precisa variar de acordo com a espessura do fio a ser usado. Quanto maior a seção do fio ou maior a quantidade de rolos utilizados, menor deve ser a velocidade para manter a segurança do operador e da bobina a ser feita.

O tempo aproximado total utilizado para a realização deste enrolamento foi de 720 segundos (12 minutos).

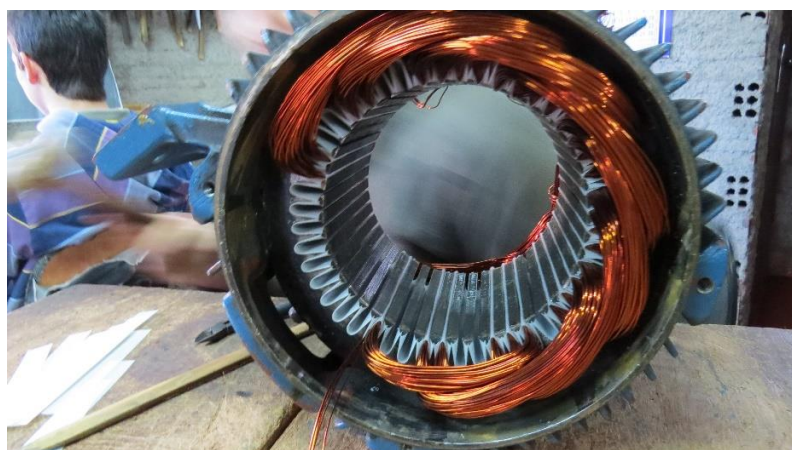
Na rebobinadeira manual esse tempo não seria inferior a 30 minutos.

Na imagem 35 mostra o protótipo sendo testado onde a bobina foi feita corretamente como podemos observar nas figuras 36 onde está com quase todas bobinas colocadas, na figura 37 onde já está pronto para ser soldado, e na figura 38 onde o motor está montado e pronto a ser entregue para o cliente.



**Figura 35 - Bobina sendo feita no molde concêntrico.**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 36 - Motor com quase todas bobinas colocadas.**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 37 - Motor pronto para ser soldado.**

**Fonte: Autoria própria**





**Figura 38 - Motor pronto a ser entregue ao cliente.**

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.2 SEGUNDA AVALIAÇÃO

A segunda avaliação foi feita com a rebobinagem de um de um motor da marca WEG mostrado na figura 39. Trata-se de um motor de 4 CV, trifásico, utilizado em um moedor de milho.



**Figura 39 - Motor Weg.**

**Fonte: Autoria própria**

O enrolamento original deste segundo motor tem as seguintes características:

- a) Enrolamento imbricado;
- b) 6 bobinas com 15 espiras;
- c) Grupos de 4 (60 espiras no total para cada bobina);

- d) Dois fios 21 AWG;
- e) Ligação série.

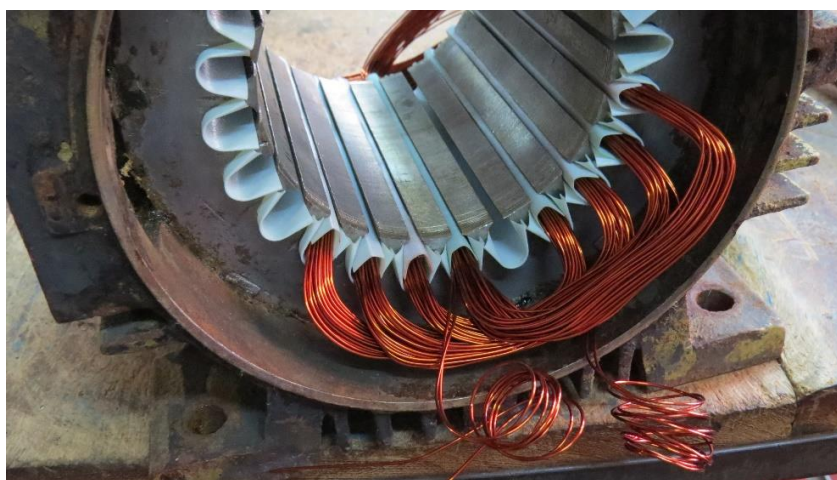
O tempo de confecção de cada bobina foi de 60 segundos aproximadamente. O tempo aproximado total utilizado para a realização deste enrolamento foi de 420 segundos (7 minutos).

Na rebobinadeira manual esse tempo não seria inferior a 20 minutos.

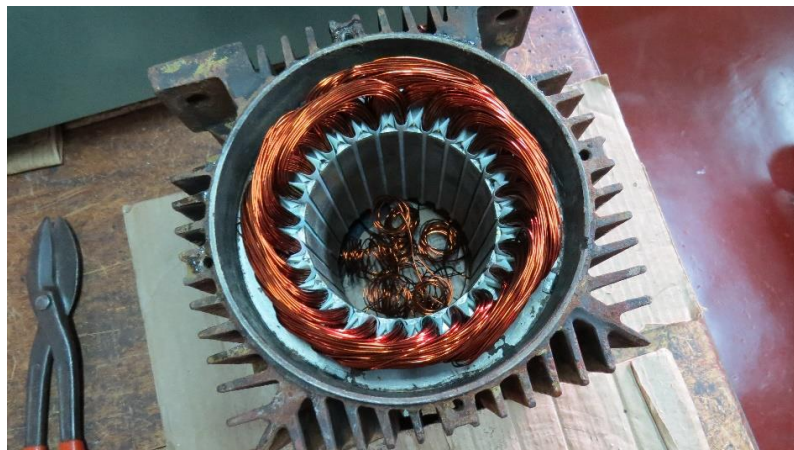
Na figura 40, pode ser observado o momento em que e feito a bobina no molde imbricado, já nas figuras 41 e 42 pode ser visto como as bobinas ficaram.



**Figura 40 - Motor sendo feito no molde imbricado.  
Fonte: Autoria própria**



**Figura 41 - Motor com bobina colocada.  
Fonte: Autoria própria**



**Figura 42 - Motor pronto para ser amarrado.  
Fonte: Autoria própria**

Nos dois casos teste o número de espiras e o formato das bobinas atenderam perfeitamente os requisitos originais. Além disso, a qualidade final dos enrolamentos ajustou-se ao padrão de qualidade da empresa.

#### 4.3 PROBLEMAS ENCONTRADOS

Durante o processo de testes a rebobinadeira apresentou uma única falha durante a frenagem. Detectou-se um erro de sobrecarga nos barramentos de CC. O problema foi solucionado abaixando-se a frequência um pouco e aumentando-se o tempo de frenagem.

## 5 CONCLUSÃO

A fabricação e montagem de enrolamentos de motores de indução pode ser feita de forma manual, completamente automatizada ou semi-automatizada. Neste trabalho montou-se uma rebobinadeira elétrica com contagem do número de voltas e regulagem de velocidade.

Desta forma o objetivo geral do trabalho foi atendido, uma vez que nos testes registrados neste texto foram rebobinados motores com 10 CV e 4 CV, atendendo a faixa de clientes recebidos pela empresa, além de serem cumpridos os objetivos específicos de especificação de procedimentos operacionais e de especificação de materiais para montagem do dispositivo.

Além dos motores descritos no texto, também foi registrada outra máquina com 1 CV, tal que os resultados gerais podem ser resumidos na seguinte tabela:

**Tabela 3 - Resumo dos resultados obtidos**

<b>Característica</b>	<b>Motor 1</b>	<b>Motor 2</b>	<b>Motor 3</b>
Potência (CV)	10	4	1
Enrolamento	Concêntrico	Imbricado	Imbricado
No. bobinas	12	6	3
No. espiras	18	15	52
No. grupos	2	4	3
Fio (AWG)	19, 20 e 21	21	23
Tempo manual (s)	1800	1200 s	150
Tempo atual (s)	720	420 s	80
Ganho de tempo (s)	1080	780 s	70

**Fonte: Autoria própria**

Através dos resultados indicados na tabela, observa-se que o objetivo específico no qual se pretendia construir um equipamento automático capaz de produzir bobinas mais rapidamente, de maior confiabilidade e melhor acabamento também foi atendido, uma vez que os tempos atuais de rebobinagem diminuíram para menos da metade do tempo com rebobinagem manual.

Acrescenta-se a estes ganhos de tempo a precisão no número de voltas de cada bobina não precisando conferência ou retrabalho. Alia-se a este conjunto de resultados uma melhora expressiva, não comentada anteriormente, relacionada à



ergonomia e também à monotonia inerente ao trabalho. O pedal utilizado para acionar a bobinadeira permite o funcionamento com um toque apenas diminuindo o cansaço físico. O número de voltas é pré-programado e resetado por um botão ao fim da bobina, não havendo contagem manual, erro e retrabalho.

Como sugestões para melhoria deste trabalho podem ser citadas duas modificações.

A primeira é a programação da velocidade adequada em função da seção do fio, uma vez que dependendo do número de bobinas e do fio utilizado, a velocidade precisa ser ajustada.

No dispositivo construído, o avanço de uma bobina para outra é manual. É necessário apertar o botão vermelho do painel para resetar o contador e, em seguida, o verde para reiniciar o dispositivo com um toque no pedal. Desta forma, como segunda alteração, sugere-se um avanço automatizado para uma nova bobina após a contagem do número de espiras.

## REFERÊNCIAS

BONACORSO, Nelso Gauze; NOLL, Valdir. **Automação eletropneumática**. São Paulo: Érica, 1997. 137p.

EBERLE S.A. - INDÚSTRIA E TECNOLOGIA. **Manual de bobinagem**: motores elétricos. São Paulo: [s.n.], [19--]. 275 p.

FRANCHI, Claiton Moro. **Controladores lógicos programáveis**: sistemas discretos. 2. ed. São Paulo, SP: Érica, 2009. 352 p.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade básica**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Pearson Makron Books, 2007. 639 p.

KOHLBACH S.A.. **Manual de bobinagem**= winding manual. Jaraguá do Sul: [s.n.], [19--]. 116 p.

NATALE, Ferdinando. **Automação industrial**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2008. 252 p.

REFRIGERE, **Minicurso de refrigeração**. Disponível em: <<http://refrigere.no.comunidades.net/index.php?pagina=1682701894>>. Acessado em: 12 de abril de 2015.

SILVA, Marcelo Eurípedes. **Apostila de Automação Industrial**. Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYr8AJ/automacao-industrial>>. Acessado em: 12 abril. 2015.

WEG S.A.. **Manual de bobinagem**= wickelschemen-handbuch = winding manual. Jaraguá do Sul: Weg, [19--]. 168 p.

Figura 02 – Campo magnético produzido por uma bobina. Fonte [www.physicsforums.com](http://www.physicsforums.com), acesso em 26/05/2014.

Figura 03 - Bobinas e dimensões. Fonte: [www.mspc.eng.br](http://www.mspc.eng.br), acesso em 27/05/2015.

Figura 04 - Enrolamento meio imbricado. Fonte: <ftp.ifes.edu.br>, acesso em 20/05/2015.

Figura 05 - Enrolamento imbricado. Fonte: <ftp.ifes.edu.br>, acesso em 20/05/2015.

Figura 06 - Enrolamento concêntrico. Fonte: <ftp.ifes.edu.br>, acesso em 20/05/2015.

Figura 08 - Ciclo de varredura de um CLP. Fonte: Apostila controladores lógicos programáveis – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Figura 10 - Controlador Lógico Programável modular WEG. Fonte: <paineleletricopreventiva.com.br> acesso em 22/05/2015

Figura 12 - Configurações elétricas dos sensores de proximidade. Fonte: <www.digel.com.br> acesso em 27/05/2015.

## APÊNDICE – A Diagrama uni filar

