

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
*CAMPUS* CORNÉLIO PROCÓPIO  
**CURSO DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**ROGERIO RIKARU NAKAO**

**AUTOMAÇÃO DE ENROLADEIRAS DE BOBINAS DE PAPEL: UM  
ESTUDO DE CASO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2013**

**ROGERIO RIKARU NAKAO**

**AUTOMAÇÃO DE ENROLADEIRAS DE BOBINAS DE PAPEL: UM  
ESTUDO DE CASO**

Proposta para Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do Curso superior de Tecnologia em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro do Nascimento Vargas

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2013**

**ROGERIO RIKARU NAKAO**

**AUTOMAÇÃO DE ENROLADEIRAS DE BOBINAS DE PAPEL: UM  
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 19h do dia 16 de dezembro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof.(a) Dr. Alessandro do Nascimento Vargas  
Professor(a) Orientador(a)  
UTFPR/ Campus Cornélio Procopio

---

Prof.(a) Dr. Marcelo Favoreto Castoldi  
Professor(a) Convidado(a)  
UTFPR/ Campus Cornélio Procopio

---

Prof.(a) Dra. Carolina Ribeiro Rodrigues  
Professor(a) Convidado(a)  
UTFPR/ Campus Cornélio Procopio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à minha família, pelo apoio nos momentos de dificuldade, pelo companheirismo e pela participação em todas as conquistas importantes em minha vida.

Às pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida, pois, certamente, um único parágrafo não seria suficiente para mencionar todas que possuem a minha gratidão.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alessandro do Nascimento Vargas, não apenas pela orientação, mas por me fazer confiante nos resultados desta pesquisa.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

NAKAO, Rogerio Rikaru. **Automação de enroladeira de bobinas de papel:** Um estudo de caso. 2013. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procopio, 2013.

Esta pesquisa mostra como recursos da automação podem ajudar a resolver problemas durante o processo de enrolamento em uma máquina aplicadora de parafina. O estudo aborda problemas na qualidade das bobinas que geralmente ocorrem por fatos relacionados ao controle da tensão mecânica aplicada ao material. Através da coleta de dados do processo, em forma de valores transformados em gráficos, foi possível estudar o comportamento do sistema de enroladeira, definir valores de alguns parâmetros e verificar os resultados.

**Palavras-chave:** Enroladeira. Automação. Controle de tensão. *Taper Tension*. Fenômeno telescópio.

## ABSTRACT

NAKAO, Rogerio Rikaru. **Winder automation of paper roll**: A case study. 2013. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2013.

This study shows how automation resources can help solve problems during the winding process in a paraffin application machine. The study discusses problems in the quality of the coils and such problems usually arise from the control of mechanical tension applied to the material. Through the data collection process in the form of values displayed as graphs it was possible to study the behavior of the winding system, set several value parameters and analyze the results.

**Keywords:** Winding. Automation. Control tension. Taper tension. Phenomenon telescope

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo simplificado da planta aplicadora de parafina.....	13
Figura 2: Defeito relacionado à tensão mecânica aplicada ao material .....	13
Figura 3: Diagrama do sistema de controle da enroladeira.....	16
Figura 4: CLP Siemens Step5.....	16
Figura 5: Inversor Eurotherm 690 plus .....	17
Figura 6: Motor de indução trifásico .....	18
Figura 7: Célula de carga para medição em rolos de passagem .....	19
Figura 8: Bobina com problema de fenômeno telescópico. ....	20
Figura 9: Gráfico dos dados colhidos durante produção de uma bobina com problemas pelo fenômeno telescópico.....	21
Figura 10: gráfico da demanda de tensão com <i>taper</i> .....	22
Figura 11: Gráfico obtido após primeiro ajuste.....	22
Figura 12: Gráfico obtido após ajustes PID e <i>taper</i> .....	23
Figura 13: Gráfico obtido após ajustes PID e <i>taper</i> .....	24
Figura 14: Gráfico obtido após ajustes PID e <i>taper</i> .....	25
Figura 15: Gráfico obtido após ajustes PID e <i>taper</i> .....	25
Figura 16: Bobina com <i>taper</i> e tensão adequados.....	26
Figura 17: Medição após ajustes finais .....	27
Figura 18: Gráfico Torque x Diâmetro x <i>Taper</i> .....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Logico Programável
IHM	Interface Homem Maquina
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PID	Proporcional Integrativo Derivativo
SM	Solicitação de Manutenção
TPM	Manutenção Total Produtiva



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	10
1.2.1 Objetivo Geral .....	10
1.1.2 Objetivo Específico.....	11
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 PROCESSO DE APLICAÇÃO DE PARAFINA.....	12
2.2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....	13
2.3 IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DE TENSÃO.....	14
2.4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO .....	14
2.5 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA ENROLADEIRA.....	15
2.5.1 Controlador Lógico Programável (CLP).....	16
2.5.2 Inversor de Frequência.....	17
2.5.3 Motor de Indução Trifásico .....	18
2.5.4 Célula de Carga .....	18
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
3.1 BOBINAS COM DEFEITO.....	20
3.2 BOBINA COM <i>TAPER</i> E TENSÃO ADEQUADOS.....	26
3.3 INFLUÊNCIA DO <i>TAPER</i> NA CORRENTE ELÉTRICA CONSUMIDA.....	28
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A embalagem, item fundamental nos dias de hoje, teve seu desenvolvimento sempre ligado ao progresso humano. Inicialmente usado para armazenar itens essenciais para sobrevivência, tais como água e alimentos, chega à atualidade servindo a quase todos os produtos industrializados, em diversas funções e formas.

A evolução tecnológica no setor tornou as embalagens mais eficientes, fazendo com que passassem de um simples item de proteção a um item fundamental, nas mais diversas áreas. E, com toda importância adquirida ao longo do tempo e, principalmente, com o início da produção em grande escala, surgiu um novo setor na indústria, o de embalagens.

Na indústria de embalagens, é comum o uso de sistema de impressão, de corte e de aplicação de produtos de maneira contínua. Isto significa que uma bobina é desenrolada, entra na máquina para receber o tratamento necessário e é novamente enrolada para ser enviada ao cliente. Durante o enrolamento do material, é fundamental que a bobina esteja de acordo com os padrões de qualidade exigidos, como os de dureza e alinhamento, já que uma alteração nesses parâmetros pode afetar o processo posterior.

As alterações nesses parâmetros é um problema a ser investigado, pois se trata de algo muito comum em máquinas que entregam o produto em forma de bobinas. Ao enrolar um material, seja plástico, papel ou até mesmo lâmina de aço, deseja-se que parâmetros mínimos de qualidade sejam atendidos. Em uma máquina de aplicação de parafina em papel, por exemplo, problemas conhecidos surgem, como fenômeno telescópio, desalinhamento, excesso ou falta de dureza. Isso acontece, geralmente, quando o puxador da enroladeira não consegue manter a tensão desejada durante o processo.

Portanto, aplicar corretamente os recursos da automação torna-se uma ótima saída para os distúrbios de produção gerados nesse tipo de equipamento.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O problema citado nesta pesquisa deve ser resolvido com o objetivo de reduzir custos operacionais e diminuir o desperdício de material. Uma bobina mal

enrolada causa diversas situações indesejáveis ao processo posterior. Um exemplo disso é a embalagem que utiliza aplicação de parafina em seu processo de produção, em especial, a de sabonete, como descrito a seguir:

1. Impressão e laminação;
2. Aplicação de parafina;
3. Corte e retirada de refile.

Na etapa 1, o material que vem do fornecedor de matéria-prima, em forma de bobinas com aproximadamente 5000 metros de comprimento e com largura suficiente para imprimir nove faixas da embalagem de sabonete, passa por uma máquina impressora, sendo a imagem do produto transferida para o filme plástico, que é unido através de processo de laminação a uma camada de papel. Nessa etapa, a bobina sai da máquina com um alinhamento não muito preciso, que deve ser seguido até a etapa de corte, esse alinhamento é possível pois nessa máquina existe um bom sistema de alinhamento do material.

Ao sair da impressão, a bobina vai para a aplicação de parafina. É nesse passo que está focada a pesquisa deste trabalho. Ao passar pelo processo de aplicação de parafina, deseja-se que a bobina resultante tenha as mesmas características da bobina que foi colocada na entrada, pois uma bobina desalinhada ou com eixo excêntrico causa vários problemas na fase de corte e retirada de refile, resultando em enorme perda de tempo e prejuízo para a produção. Para isso, faz-se necessário um controle na tensão do material ao longo do enrolamento.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo propor melhorias no processo de enrolamento durante a aplicação de parafina para reduzir o tempo de produção e o desperdício de material, e para eliminar paradas para ajustes de máquina. Uma bobina bem alinhada, com dureza e qualidade nas tensões aplicadas, garante uma

maior eficácia na etapa de corte do material, agiliza esse processo e, conseqüentemente, aumenta a produção.

O desgaste natural do equipamento tende a gerar influências negativas na qualidade do produto entregue. Com o intuito de minimizar tais influências, recursos da automação, ajustes corretos de parâmetros, como o PID (proporcional integrativo e derivativo) e a demanda de tensão (curva diâmetro X tensão) podem ser utilizados.

A popularidade dos controladores PID pode ser atribuída parcialmente ao seu desempenho robusto sobre uma grande faixa de condições operacionais e em parte a sua simplicidade funcional, que permite aos engenheiros operá-los de maneira simples e correta. Para implementar um controlador destes, três parâmetros devem ser determinados para um dado processo: ganho proporcional, ganho integral e ganho derivativo. (DORF, 2001, p. 545).

Assim, variações e demora na estabilização do sistema devem ser minimizados. Segundo Ogata (1985, p. 3), um sistema “é uma combinação de componentes que atuam conjuntamente e realizam um certo objetivo”.

### 1.1.2 Objetivo Específico

Ao iniciar uma pesquisa em busca de soluções, deve-se conhecer o problema a ser solucionado. A pesquisa em questão concentra-se nos problemas de qualidade da bobina enrolada em uma máquina aplicadora de parafina. Por sua vez, tais problemas são causados por variação e instabilidade na tensão aplicada ao material durante o processo. Identificar as causas e buscar soluções é um dos objetivos a serem alcançados por meio deste estudo.

Um dos problemas comuns nesse processo acontece quando a bobina não sai com as laterais alinhadas. Esse desalinhamento pode acarretar ainda outro tipo de defeito, que é a excentricidade do eixo. Entender as possíveis causas e definir uma estratégia de controle, em que resultados definidos pelo processo sejam alcançados, é o principal objetivo da presente pesquisa.

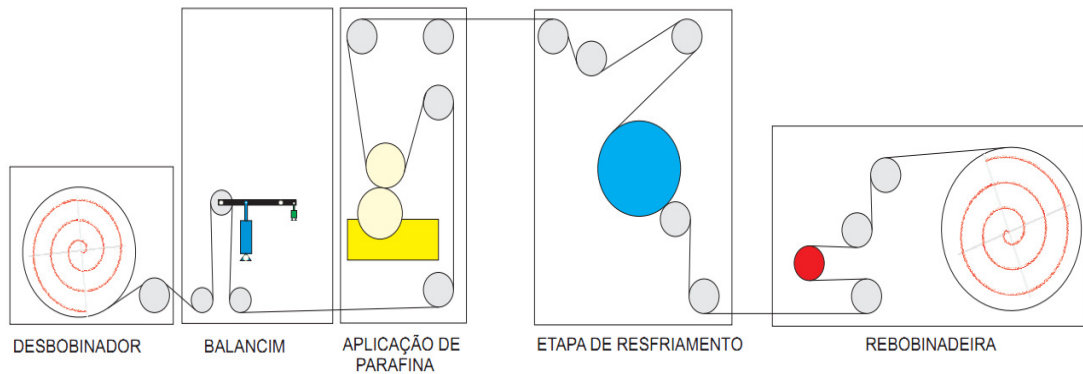
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 PROCESSO DE APLICAÇÃO DE PARAFINA

O processo de aplicação de parafina tem como objetivo impermeabilizar a face de papel que entra em contato com o produto a ser embalado. Durante o processo, a aplicação deve ser uniforme em toda superfície do material. Para isso ser possível, a planta aplicadora recebe o material no formato de bobinas com aproximadamente 1500 milímetros de diâmetro por 1200 milímetros de largura. O material recebido deve estar com as laterais alinhadas, para que seja colocado na máquina. Na etapa de desenrolamento, um freio pneumático, acoplado ao eixo central da bobina, mantém a tensão do material a ser introduzido e é controlado por um sistema de balancim. Por sua vez, tal sistema possui dois pistões, que apoiam um braço, por onde passa o material. O sistema de balancim mantém a tensão desejada, atuando em uma válvula que controla o freio.

Estando o material com a sua tensão de entrada devidamente ajustada, é aplicada a parafina aquecida a 160°C por meio de um rolo revestido de borracha que a captura e a transfere para o papel. Quando o material sai da aplicação de parafina, passa por um sistema de resfriamento, o qual consiste em um rolo de aço oco por onde passa água gelada a 15 °C. A velocidade de produção depende muito desse processo, pois é nessa etapa que ocorre o endurecimento da parafina. Com o rolo de água gelada, que tem a velocidade em sua superfície igual a da linha da máquina, fica um rolo que prensa e mantém a saída do material em velocidade constante, mesmo quando é puxado pela enroladeira. Por fim, o material é enrolado novamente.

Na enroladeira, o processo é controlado por um sistema automático, que oferece condições para que se possa determinar a ação a ser tomada, formado por motor de indução trifásico, um conjunto mecânico de redução, um inversor de frequência como acionamento e um par de células de carga que monitora o nível de tensão do material durante o processo.



**Figura 1: Modelo simplificado da planta aplicadora de parafina.**

## 2.2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento do projeto teve início com a identificação dos problemas mais frequentes relacionados ao processo de enrolamento. Ao levantar o histórico de manutenção da máquina, foi evidenciado um elevado índice de reclamações por problemas ligados ao controle e ajuste de tensão na bobina. A figura 2 mostra um exemplo de material que apresentou defeito, com causas diretamente relacionadas à tensão mecânica aplicada ao material.



**Figura 2: Defeito relacionado à tensão mecânica aplicada ao material**

O fenômeno telescópico, conhecido no chão de fábrica como telescopagem, pode ocorrer se houver deslizamento entre as espiras da bobina, ocasionando seu

deslocamento lateral. Em situações extremas, o defeito pode ocasionar riscos aos operadores (OLIVEIRA; NOVAES, 2010).

Com o intuito de resolver esse e outros problemas, foram utilizados conhecimentos adquiridos durante a formação acadêmica e dados do processo na forma de valores e gráficos, os quais auxiliaram na escolha dos ajustes e possíveis melhorias no sistema como um todo. Com os dados em mãos, foi iniciado o estudo e o processamento dos valores adquiridos. Depois, realizou-se o levantamento de ferramentas e de materiais e a programação de produção para execução e testes do projeto.

### 2.3 IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DE TENSÃO

Podemos considerar o controle da tensão mecânica aplicada ao material um item de extrema importância no processo de enrolamento, já que a maioria dos problemas relacionados à qualidade do processo está relacionada a interferências nesse parâmetro. O deslizamento entre as espiras pode causar o deslocamento lateral do material, ocasionando imperfeições, e também, como dito anteriormente, riscos aos operadores.

O deslizamento entre espiras ocorre se o torque aplicado pelas espiras externas não for suficiente para se propagar por todas as espiras até o centro da bobina, conforme oliveira (2010). Outro problema, citado por Yuen (2000 apud OLIVEIRA, 2010, p. 9), é o colapso das bobinas, provocado por excesso de torque aplicado, quando as espiras internas se projetam ao miolo danificando todo o volume.

### 2.4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO (PCM)

Para toda máquina existe uma equipe de manutenção envolvida e a ação a ser executada é definida pelo pessoal do PCM. A não ser quando ocorre a quebra do equipamento e uma manutenção corretiva é solicitada, no sistema de gestão

adotado em modelos como TPM (manutenção total produtiva), técnicas e procedimentos são utilizados, em especial no tratamento das paradas de máquina para corretiva.

Toda vez que uma máquina para por quebra e uma ação corretiva se faz necessária, uma SM (solicitação de manutenção) torna-se item obrigatório para o início dos trabalhos. Após a conclusão da manutenção corretiva, o mantenedor deve preencher a SM com informações pertinentes a ação executada.

Em posse das fichas de SM, o PCM tem em suas mãos informações valiosas, tais como: motivo mais frequente de uma quebra, tempo de máquina parada para manutenção, intervalos entre paradas, e outras informações. Isso possibilita definir pontos a serem atacados, de modo a se obter maior eficiência e relação custo x benefício em qualquer ação executada.

## 2.5 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA ENROLADEIRA

A automação é um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. (SILVEIRA, 1998, p. 23).

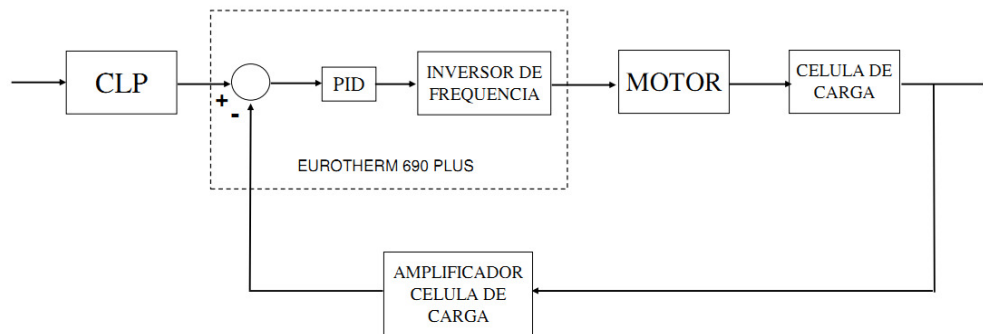
O termo automação frequentemente está associado ao aumento de produtividade. Essa ligação é facilmente compreendida já que atinge um alto nível de flexibilidade, devido à estreita relação com o conceito *software*, possibilitando ao sistema dotado do recurso de automação ter seu comportamento alterado a fim de obter uma gama diferenciada de resultados. (SILVEIRA, 1998 ).

O sistema enroladeira é um equipamento composto por uma série de componentes mecânicos. Sua função é produzir bobinas de diâmetro variável que atenda padrões definidos e seu funcionamento é automatizado, sendo composto pelos seguintes equipamentos:

- CLP Siemens S5;
- Inversor de frequência Eurotherm 690 plus;
- Motor de indução trifásico 11 KW SEW;



- Células de carga Montalvo;
- Amplificador de sinais Montalvo M3200 CE.



**Figura 3: Diagrama do sistema de controle da enroladeira**

### 2.5.1 Controlador Lógico Programável (CLP)

O controlador lógico programável (CLP) é o equipamento que faz a comunicação com a IHM (interface homem máquina). Recebe informação de velocidade de produção, condição de emergência, situação da máquina em produção e parada normal acionada pelo operador. E transmite ao drive inversor de frequência a informação necessária para o controle da enroladeira. O CLP pode ser considerado um computador para trabalhar em ambiente industrial (FRANCHI, 2008, p 23).



**Figura 4: CLP Siemens Step5**  
Fonte: Siemens

### 2.5.2 Inversor de Frequência

O inversor de frequência tem, como principal característica, a capacidade de controlar a velocidade e o conjugado de um motor de indução trifásico. Tal capacidade é desejável em uma automação de enroladeira, pois existe a necessidade de compensação do torque conforme a variação de diâmetro da bobina.



**Figura 5: Inversor Eurotherm 690 plus**  
**Fonte: Inverter drive**

O inversor utilizado (Figura 5) possui, além da parte de ciclo conversão, um sofisticado sistema eletrônico, a estrutura de controle incorporada ao seu corpo,

entradas e saídas analógicas e digitais, podendo ser facilmente programado através de um computador.

### 2.5.3 Motor de Indução Trifásico

O motor que movimenta o sistema da enroladeira é de indução trifásico, com rotor gaiola de esquilo. Um motor de construção relativamente simples, muito robusto e de fácil manutenção. Tais vantagens fazem dele o tipo de motor mais comumente utilizado pela indústria (FITZGERALD; KINGSLEY, 2006).



**Figura 6: Motor de indução trifásico**  
**Fonte: SEW Eurodrive**

### 2.5.4 Célula de Carga

A célula de carga é um dispositivo que tem como função converter pressão física em sinal elétrico. As células para enroladeiras, especialmente desenvolvidas para essa aplicação, são instaladas nas extremidades de algum rolo de passagem, estrategicamente posicionado, para que se possa obter precisão em sua medição. Dentro do sistema, tem a função de realimentação. Seu sinal passa por um amplificador para ser utilizado no sistema de controle.



**Figura 7: Célula de carga para medição em rolos de passagem**  
**Fonte: Montalvo**

### 3 RESULTADOS

Um dos papéis do setor de manutenção em uma indústria é buscar maneiras de melhorar a condição de funcionamento de um equipamento. Uma máquina em boas condições pode trazer diversos benefícios, tais como, aumento de velocidade de produção, melhora na qualidade do produto, diminuição no consumo de energia, redução do número de paradas por quebra, entre outros. Isso implica melhores resultados aos setores envolvidos diretamente com a produção.

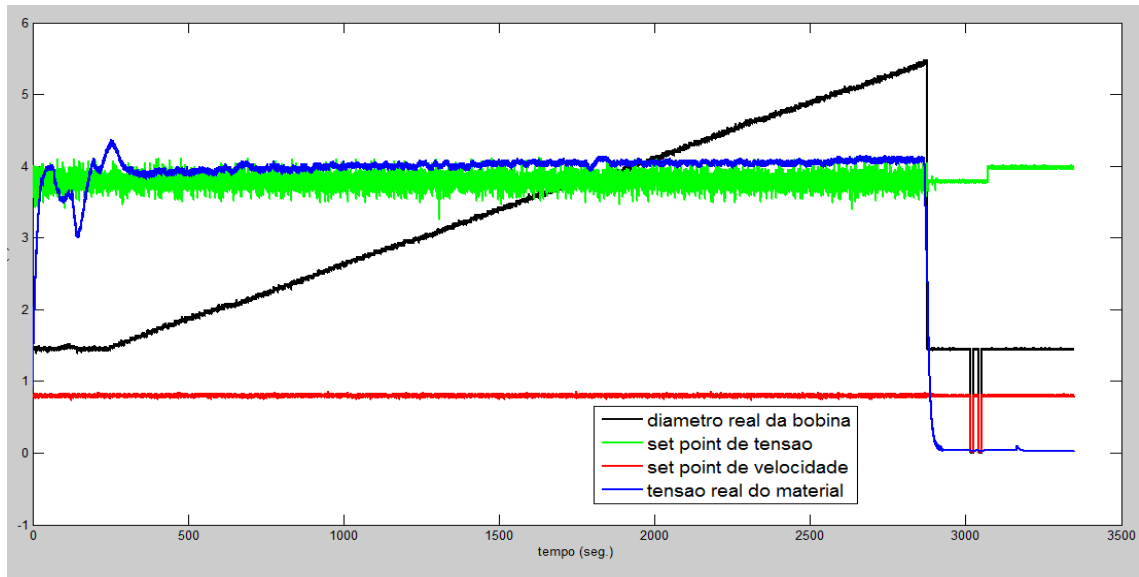
#### 3.1 BOBINAS COM DEFEITO

O defeito mais comum, identificado durante as pesquisas, foi o problema de fenômeno telescópico (Figura 8).



**Figura 8: Bobina com problema de fenômeno telescópico.**

A figura 9 mostra os dados colhidos durante a produção de uma bobina que apresentou falha. Tal problema frequentemente causava atraso à produção na medida em que as espiras não eram sobrepostas perpendicularmente e a bobina não podia ser finalizada com o diâmetro máximo.



**Figura 9: Gráfico dos dados colhidos durante produção de uma bobina com problemas pelo fenômeno telescópico.**

**Tabela 1: Valores ajustáveis no controlador do motor antes do estudo**

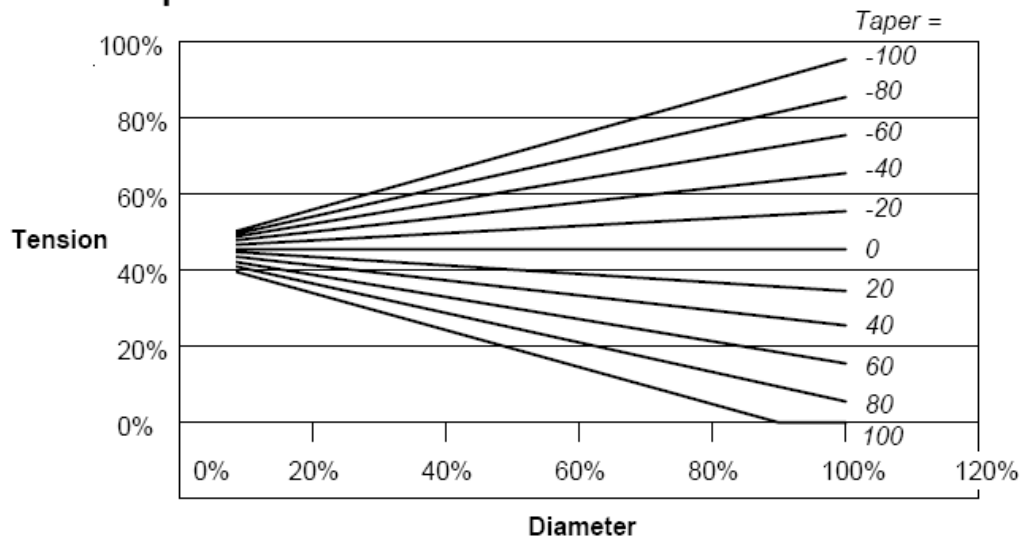
Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,5
Constante de tempo Integrativo	12 s
Constante de tempo Derivativo	0.017 s
<i>Taper Tension</i>	-8%

O gráfico apresentado na figura 9 mostra a curva de tensão real (em azul). Com a análise do sinal, é possível identificar que existe um pequeno pico em relação ao *set point* (em verde) no início do processo. Além disso, observa-se que a tensão real do material aumenta ao longo do enrolamento. Segundo Novaes (2010, p. 24), para efetuar um enrolamento com uma tensão mecânica adequada, de modo a evitar os problemas de qualidade em materiais de pequena espessura, é comum a aplicação de uma tensão inicial maior nas primeiras espiras, reduzindo

gradativamente para a tensão nominal à medida que o diâmetro aumenta. Essa estratégia é conhecida como *taper tension* ou patamar de tensão.

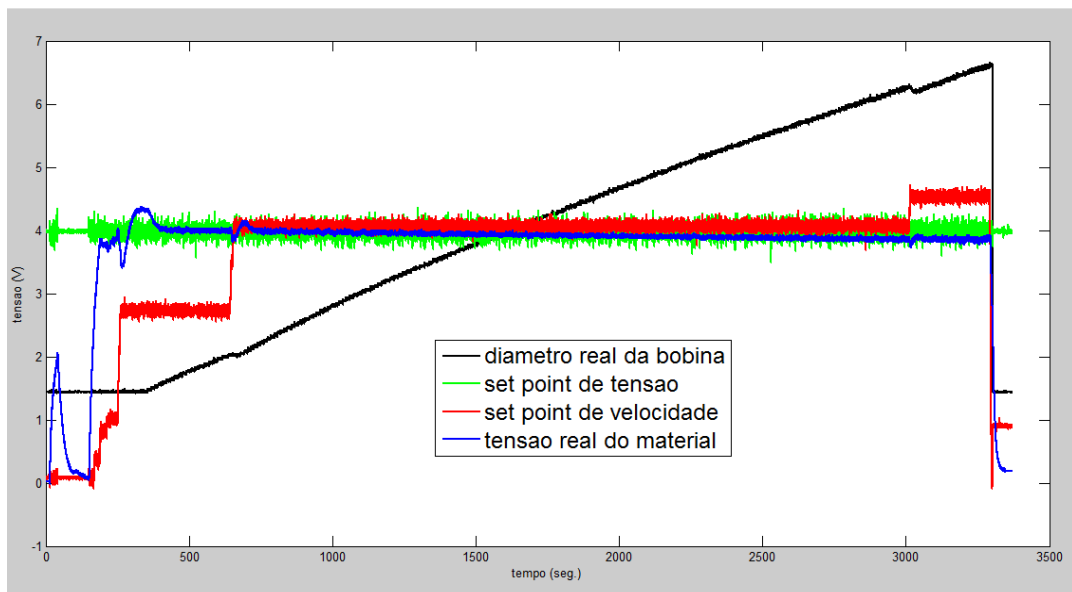
O gráfico da figura 10 mostra a curva da demanda de tensão com *taper* que é gerado dentro de um bloco de controle no inversor de frequência eurotherm 690.

### Linear Taper



**Figura 10: gráfico da demanda de tensão com *taper***  
**Fonte: Manual do software Eurotherm 690+**

Após a análise do primeiro gráfico obtido, foram iniciados os ajustes e realizados vários testes. A cada teste foi gerado um gráfico e novos parâmetros puderam ser definidos.



**Figura 11: Gráfico obtido após primeiro ajuste**

Tabela 2: Valores definidos no primeiro ajuste

Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,5
Constante de tempo Integrativo	12 s
Constante de tempo Derivativo	0.017 s
<i>Taper Tension</i>	8 %

Para o primeiro teste, somente o valor do *taper tension* foi modificado. Pode-se observar, no gráfico da figura 11, que o valor da tensão real do material diminui conforme o diâmetro real da bobina aumenta. Para se obter esta curva, um valor para o *set point* do patamar de tensão foi estipulado em 8%. Tal ação teve ótimo resultado em relação ao problema de telescopagem, porém problemas de instabilidade na tensão ocorreram durante as primeiras espiras da bobina. Tal instabilidade pode ser observada no sinal de tensão real do material. Essa variação causava solavancos no material em sentido longitudinal, resultando algumas vezes no seu rompimento. Diante deste problema, foi decidido iniciar ajustes nos valores PID (proporcional integrativo e derivativo).

A sequência de ajustes pode ser observada nas figuras 12, 13, 14 e 15.

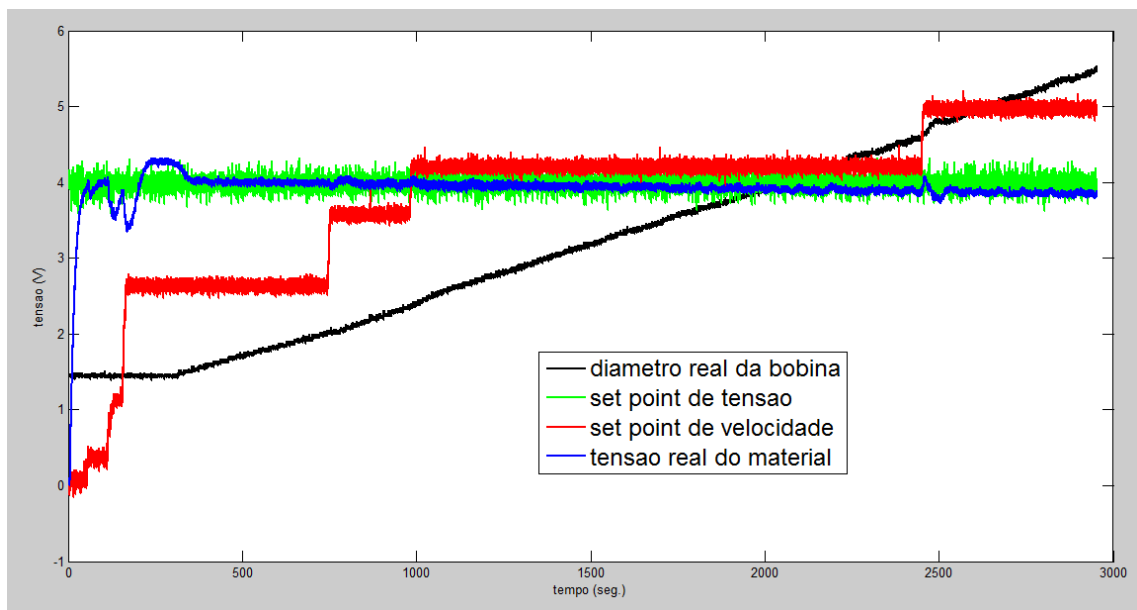
Figura 12: Gráfico obtido após ajustes PID e *taper*



Tabela 3: Novos valores definidos para o gráfico da Figura 12

Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,1
Constante de tempo Integrativo	5 s
Constante de tempo Derivativo	0.015 s
<i>Taper Tension</i>	10 %

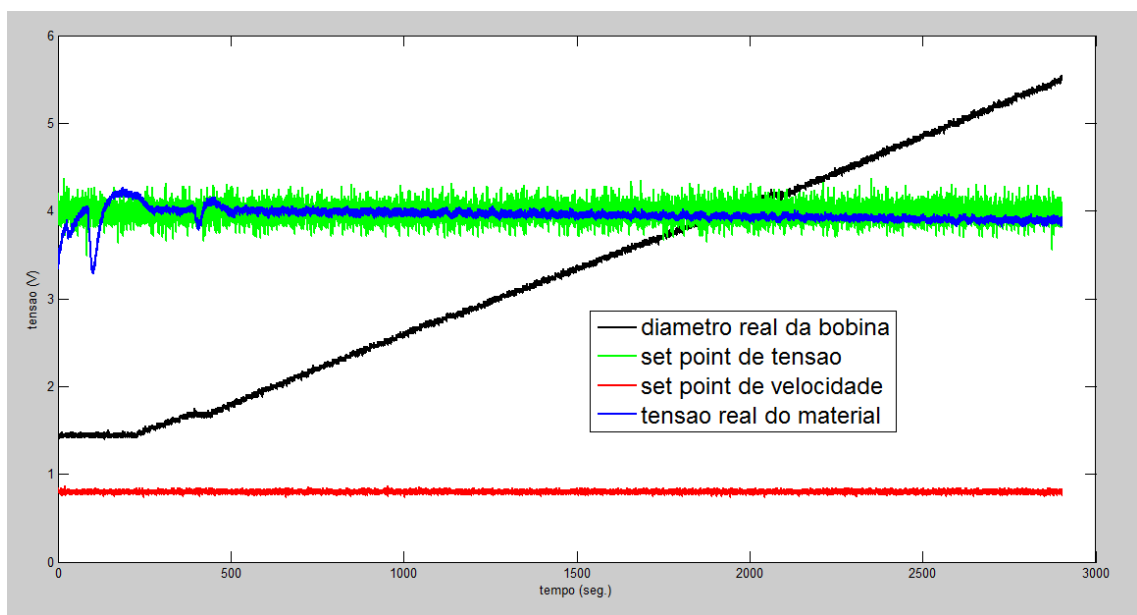


Figura 13: Gráfico obtido após ajustes PID e taper

Tabela 4: Valores dos ajustes para o gráfico da Figura 13

Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,52
Constante de tempo Integrativo	5 s
Constante de tempo Derivativo	0.015 s
<i>Taper Tension</i>	10 %

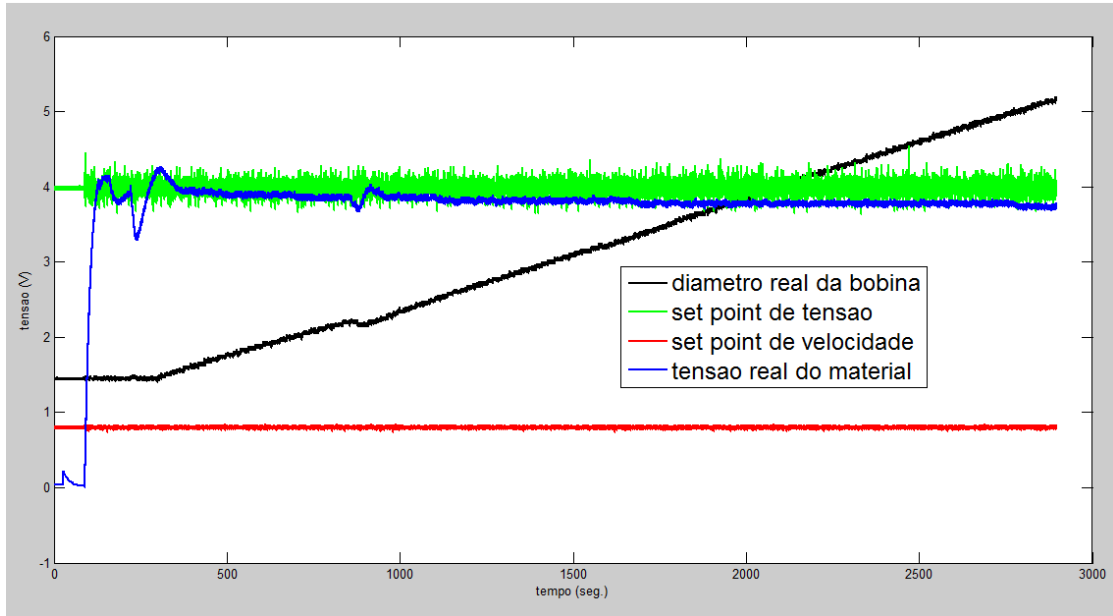


Figura 14: Gráfico obtido após ajustes PID e taper

Tabela 5: Valores dos ajustes para o gráfico da Figura 14

Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,5
Constante de tempo Integrativo	5 s
Constante de tempo Derivativo	0.017 s
Taper Tension	10 %

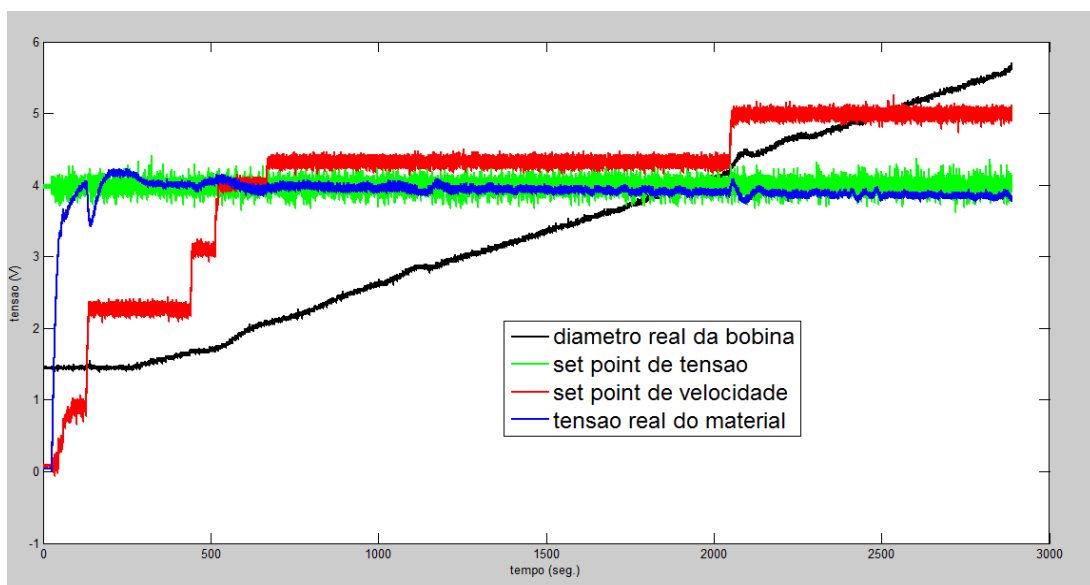


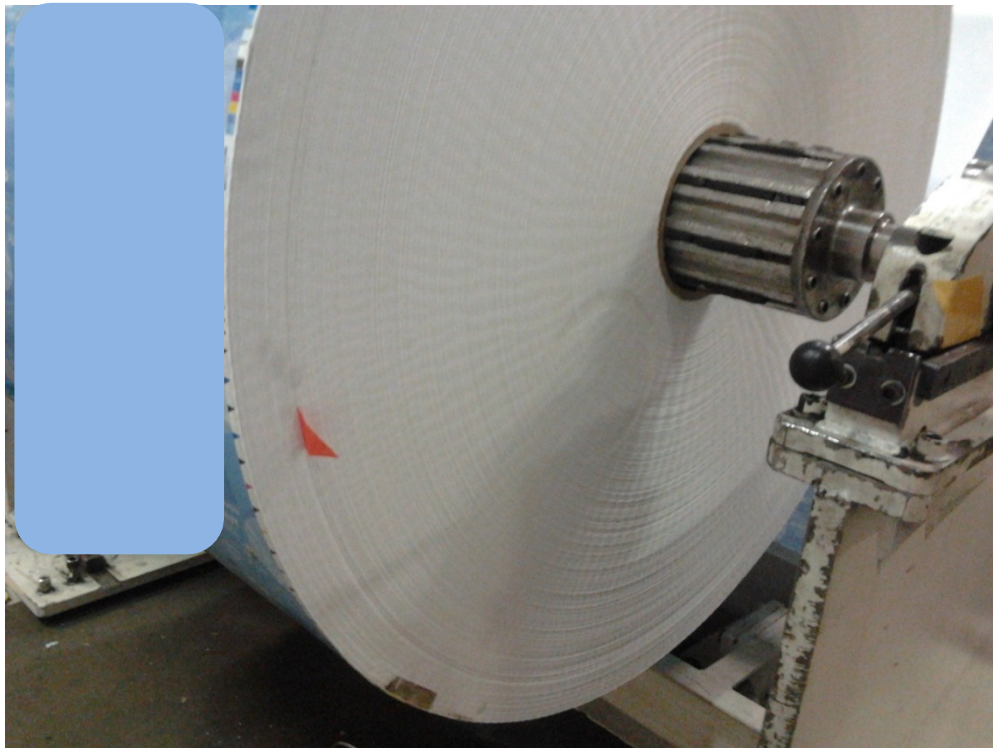
Figura 15: Gráfico obtido após ajustes PID e taper

**Tabela 6: Valores dos ajustes para o gráfico da Figura 15**

Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,2
Constante de tempo Integrativo	5 s
Constante de tempo Derivativo	0.018 s
<i>Taper Tension</i>	10 %

### 3.2 BOBINA COM *TAPER* E TENSÃO ADEQUADOS

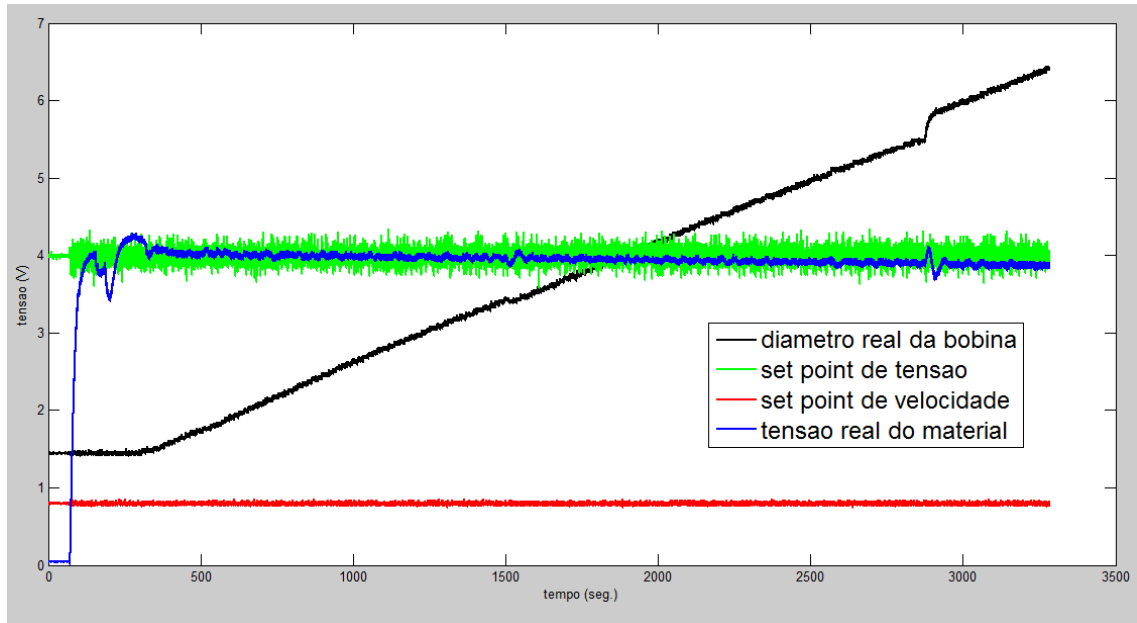
Após os ajustes, uma nova medição foi feita, e as bobinas resultantes (figura 16) demonstraram bons resultados.



**Figura 16: Bobina com *taper* e tensão adequados**

Já na fase de corte e retirada de refile, houve diminuição do tempo de processamento da bobina, pois, durante o acabamento, o material passa por um sistema de alinhamento e quanto menos desvios houver mais preciso será o corte do material, conseqüentemente, a velocidade também aumenta. Durante os testes

na fase de acabamento (corte), obteve-se velocidade de produção de 400 metros por minuto, ou seja, a velocidade máxima do equipamento.



**Figura 17: Medição após ajustes finais**

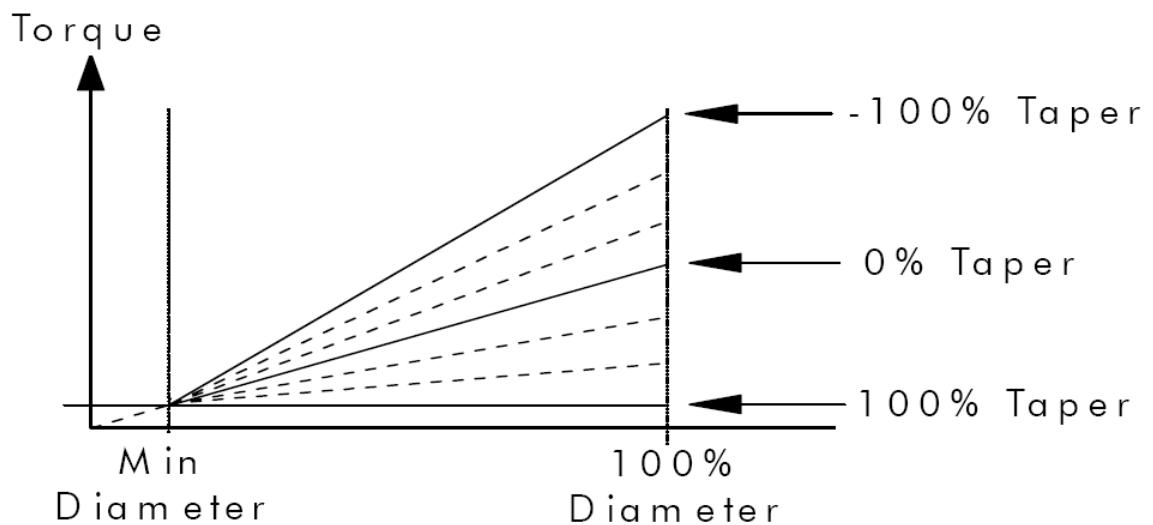
**Tabela 7: valores de ajuste depois do estudo**

Parâmetro	Valores
Ganho Proporcional	1,3
Constante de tempo Integrativo	5 s
Constante de tempo Derivativo	0.015 s
Taper Tension	8 %

As alterações possibilitaram uma partida mais suave do equipamento, como pode ser observado na curva da tensão real, no gráfico da figura 17. O aspecto da bobina resultante (figura 16) mostra a melhora na qualidade e o perfeito alinhamento com todas as espiras que a formam, perpendiculares ao eixo central, condição de extrema importância para os processos envolvidos.

### 3.3 INFLUÊNCIA DO *TAPER* NA CORRENTE ELÉTRICA CONSUMIDA

Ao aplicar a curva correta de *taper tension*, obteve-se uma diminuição da corrente aplicada ao motor, devido à curva de torque que o motor é submetido quando inserido à função *taper* em seu funcionamento. No gráfico torque X diâmetro X *taper* (figura 18), pode-se observar a influência do *taper*.



**Figura 18: Gráfico Torque x Diâmetro x *Taper***  
**Fonte: Manual do software Eurotherm**

É possível observar que, no gráfico (figura 18), quanto maior a influência do *taper*, menor é o torque exigido. Desta maneira, conseguiu-se uma diminuição na ordem de 25% na corrente fornecida ao motor. Antes, chegava a 120% da corrente nominal no diâmetro máximo da bobina e, após o ajuste do *taper*, foi para 95%.

## 4 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo melhorar a qualidade das bobinas enroladas em uma máquina aplicadora de parafina, através de ajustes de parâmetros como os de controle e *taper tension*. Com a melhoria no processo, um aumento considerável de velocidade de produção, em especial na etapa de corte e retirada de refile, pode ser observado.

Tal melhora acontece porque a bobina, bem alinhada e se comportando como um corpo sólido, pode ser desenrolada em uma máquina de corte a velocidades superiores a 350 metros por minuto, chegando a 400 metros por minuto, que é a velocidade máxima para as máquinas que cortam as embalagens de sabonete.

O descarte de material também diminuiu ao evitar-se que as bobinas fossem enroladas com pouca tensão, ficassem moles e amassassem durante a armazenagem, correndo o risco de deformarem durante o transporte. A corrente elétrica consumida pelo motor teve diminuição de 25%, trabalhando abaixo da linha dos 100%. Isso garante a integridade física e evita a deterioração prematura dos componentes mecânicos, especialmente o motor que passa a fazer menos esforço para movimentar o sistema.

## REFERÊNCIAS

DORF, Richard C., BISHOP, Robert H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLAY, J. C. **Máquinas elétricas: introdução à eletrônica de potência**. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

FRANCHI, Claiton Moro. **Controladores lógicos programáveis**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008.

INVERTER DRIVE **Catálogo de produtos on line**. Disponível em <<http://www.inverterdrive.com/group/ac-inverter-drives-400v/SSD-690PD-0220-400/>>. Acesso em: 9 nov. 2013.

MONTALVO **Catálogo de produtos on line**. Disponível em <<http://www.montalvo.com/support/tension-control-product-archive/discontinued-load-cells/k-beb-series-load-cells/>>. Acesso em: 9 nov. 2013.

OLIVEIRA, Gilberto N. **Modelagem e controle de velocidade e tensão de um laminador de encruamento**. 2010. 276 f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 3 ed. Rio de Janeiro: Prentice/Hall do Brasil, 1985.

SEW EURODRIVE **Catálogo de produtos on line**. Disponível em <<http://br.sew-eurodrive.com/produkt/motores-ca-dz-dx-dv.htm>>. Acesso em: 9 nov. 2013.

SIEMENS **9\_SIMATIC\_S5\_catalog\_ST50\_en**. Disponível em <[http://www.automation.siemens.com/automation/jp/Documents/9\\_SIMATIC\\_S5\\_catalog\\_ST50\\_en.pdf](http://www.automation.siemens.com/automation/jp/Documents/9_SIMATIC_S5_catalog_ST50_en.pdf)>. Acesso em: 9 nov. 2013.

SILVEIRA, Paulo Rogério da. **Automação e Controle Discreto**. 4. ed. São Paulo: Érica, 1998.