



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04
de dezembro 2020

Proposta de alinhamento da manufatura de acabamento de tecidos para decoração.

Wallace Nóbrega Lopo
Pós-Graduação – UNIFEBE
Luiz Gustavo dos Santos Baby
Pós-Graduação – UNIFEBE

Resumo: O mercado têxtil está cada vez mais competitivo e com isso, além de preços mais atraentes, a qualidade torna-se um diferencial; nessa frente, a instabilidade dimensional dos artigos é um dos fatores mais importantes a ser controlado na qualidade. A termofixação é uma prática realizada que busca promover a estabilidade dimensional do tecido através da ação de calor, proporcionando menores variações dimensionais durante os processos posteriores ao qual será submetido. Esse processo é geralmente realizado em rama, onde guias laterais transportam o tecido fixo em largura pré-determinada ao longo de câmaras aquecidas, no entanto outra opção de equipamento utilizado para termofixar é a calandra térmica, no entanto ela não possui guias que seguram o tecido, gerando um encolhimento após a operação. O objetivo do artigo é definir qual a melhor combinação dos parâmetros de temperatura, pressão e velocidade na calandra, para a melhor estabilização dimensional de artigos para fabricação de cortinas decorativas. Para isso foi utilizado a metodologia da pesquisa operacional num estudo de caso, onde foram realizadas 27 combinações dos parâmetros. Nas análises de resultados foi detectado que um dos parâmetros não possui correlação significativa com o encolhimento, porém foi possível encontrar uma equação relevante que explica a relação das variáveis temperatura e velocidade com o encolhimento do tecido.

Palavras-chave: Termofixação, Padronização, Estabilidade Dimensional, Tecido Plano, Têxtil.

Alignment proposal for the fabric finishing manufacture for decoration.

Abstract: The textile market is increasingly competitive and with this, in addition to more attractive prices, quality becomes a differential; on this front, the dimensional instability of articles is one of the most important factors to be controlled for quality. Thermofixation is a practice that seeks to promote the dimensional stability of the fabric through the action of heat, providing smaller dimensional variations during the subsequent processes to which it will be subjected. This process is usually carried out in a rama, where lateral guides transport the fixed fabric in a predetermined width along heated chambers, however another option of equipment used for thermosetting is the thermal calender, however it does not have guides that hold the fabric, generating a shrinkage after the operation. The purpose of the article is to define the best combination of temperature, pressure and speed parameters in the calender, for the best dimensional stabilization of articles for the manufacture of decorative curtains. For this, the methodology of operational research was

used in a case study, where 27 combinations of parameters were performed. In the results analysis it was detected that one of the parameters has no significant correlation with the shrinkage, however it was possible to find a relevant equation that explains the relationship of the temperature and speed variables with the shrinkage of the tissue.

Keywords: Thermosetting, Standardization, Dimensional stability, Flat fabric, Textile.

1. Introdução

No Brasil, a cadeia produtiva têxtil representa grande importância econômica e social; seus indicadores possuem grande relevância quando comparados a números de outros setores da indústria de transformação, tanto em valores de produção quanto na capacidade de gerar empregos. Em 2018, foram produzidos R\$ 129,5 bilhões e gerados 1,5 milhões de postos de trabalho; o que representa 18,3% do total empregado no setor industrial (IEME, 2019, p.15). Mais especificamente, o setor de tecelagem plana, apresentou crescentes valores de produção, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Valor da produção nacional (em bilhões de reais)

| Segmento | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|
| Tecidos Planos | 22,01 | 23,63 | 24,9 | 25,07 | 26,37 |

Fonte: IEMI (2019)

Como é possível observar, ocorreu um crescimento no valor da produção nacional de tecidos planos, ao longo desses cinco anos, o que reforça a importância desse setor na indústria têxtil. O processo de produção de tecidos planos demanda da estabilização da estrutura que compõem o material a fim de que não ocorram alterações ao longo da sua utilização; o controle dessa estabilização demanda o controle da variação dimensional.

A variação dimensional dos tecidos após a fixação gera transtornos as próximas etapas do processo de confecção. O processo de termofixação em calandra, é possível observar, conforme Salem, Marchi e Menezes (2005) uma grande variabilidade nas dimensões dos tecidos e um encolhimento demasiado naquele tecido utilizado na fabricação do sobre lençol, podendo impossibilitar a utilização desse tecido para esse fim.

O controle e padronização dos parâmetros de operação da calandra deverão ser analisados nessa pesquisa que se propõe. Após essas definições do processo de fixação haverá uma maior eficiência da operação devido à redução de alterações dimensionais ao longo do processo. Diante dessa situação, como padronizar o processo de acabamento desse produto na calandra, com o intuito e minimizar os efeitos da mesma no que se refere ao encolhimento final do tecido plano?

Para responder a esse questionamento, o artigo propõe como objetivo, simular a operação de fixação de tecidos planos em calandra realizando experimentos, alterando-se as combinações dos parâmetros da operação, com o intuito de definir o melhor padrão dessa combinação para minimizar os efeitos da instabilidade dimensional no produto final. Para realizar essa pesquisa, será necessário primeiro definir as variáveis do processo de acabamento do produto para depois, realizar ensaios com as combinações dessas variáveis.

Depois será utilizado o modelo de análise de regressão para verificar a influência de cada variável do processo e definir a melhor combinação de parâmetros de operação.

Lembre-se que uma formatação correta é essencial para uma boa avaliação do seu trabalho. Artigos fora da formatação serão retirados do processo de avaliação.

2. Fundamentação Teórica

Os tecidos planos são o resultado do entrelaçamento em ângulo reto de dois conjuntos de fios. Os fios dispostos no sentido horizontal são chamados de fios de trama, e os fios dispostos no sentido vertical são denominados fios de urdume. (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014, p.85). Ainda segundo os autores, o tear é que realiza o entrelaçamento dos fios de trama e urdume. Para que a operação seja realizada é necessária a execução de uma operação preliminar de preparação dos fios de urdume, chamada de urdimento.

Para preparar os fios de urdume, os cones de fios ficam dispostos em gaiolas e os fios são guiados através de um pente que posteriormente são enrolados paralelamente no tambor de um equipamento chamado de urdeadeira. Uma vez concluído o processo os fios são transferidos para um carretel. (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014, p.87). Em tecelagem plana existem alguns padrões de ligação e entrelaçamento entre os fios de trama e urdume, esses padrões, segundo Senai (2015, p.80).

Após o tecimento, o produto passa para a próxima etapa de produção, o tingimento é um processo de beneficiamento que proporciona cor ao tecido através da adição de corantes e pigmentos. Podem ser realizados três processos distintos: descontínuo ou por bateladas, semicontínuo e contínuo. O processo descontínuo é indicado para lotes menores e na mesma máquina podem ser feitos todos os processos de preparação, como purga e alvejamento, além do tingimento, e lavagem final. (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014, p.103)

“Já o processo semicontínuo ocorre com a impregnação do tecido em banho de tingimento realizado por Foulard. [...] Esse processo também é conhecido como *pad-batch*.”. Durante o processo contínuo a reação do corante com a fibra é acelerada devido a adição de vapor ou temperatura. O tecido preparado entra na máquina e sai tingido e lavado. É o método mais indicado para grandes lotes. (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014, p.103)

O processo de termofixação busca promover estabilidade dimensional ao tecido através da ação do calor sobre o mesmo, ou seja, menores variações dimensionais ao longo dos tratamentos que o substrato será exposto. Porém esse processo é exclusivo para fibras de, poliéster, poliamida, elastano e poliacrilonitrilo, puras, combinadas entre si ou com outras fibras. (SENAI, 2015, p.16). Segundo Pezzolo (2012), a termofixagem ou fixagem a quente consiste em um processo de acabamento onde o tecido é submetido ao calor para garantir sua estabilidade, impedindo deformações posteriores.

Existem formas diferentes de realizar a pré-fixação, uma opção é a por contato. Nela o substrato entra em contato com uma superfície metálica aquecida a temperaturas que variam de 250°C a 300°C e o tempo de contato é na ordem de segundos. O maquinário utilizado para a operação é o secador de cilindros ou de tambores, usados para tecidos de cala ou então a calandra para tecidos de malha. Calandra é uma máquina menor composta de um tapete que comprime o tecido em um cilindro que contém óleo quente. O tapete da calandra faz o transporte do tecido, transportando-o em contato com o cilindro aquecido. (SENAI, 2015, p.16)

A termofixação é realizada em trama em temperaturas entre 130°C e 210°C, dependendo das fibras do tecido. O objetivo da termofixação é promover a estabilidade dimensional. (SALEM; MARCHI; MENEZES, 2005, p.27). Pode-se considerar a

termofixação um processo de pré-tratamento, pois pode ser realizada antes do tingimento, como nos casos de tecidos sintéticos como poliéster, poliamida e suas misturas os quais são tintas em Turbo. (SALEM; MARCHI; MENEZES, 2005, p.72)

Geralmente é realizada a termofixação antes do tingimento em Turbo, para evitar alguns problemas, como o encolhimento do tecido durante o processo, gerando manchas e quebras. É fundamental também atentar para cuidados na operação da termofixação, como evitar respingos de água ou óleo sobre a superfície, o que geraria manchas no processo de tingimento. (SALEM; MARCHI; MENEZES, 2005, p.73)

Já a termofixação realizada após o tingimento é realizada quando trabalha-se com fios tintos e serve exclusivamente para proporcionar ao tecido a largura e a gramatura desejada. (SALEM; MARCHI; MENEZES, 2005, p.73). Dados como tempo e temperatura são muito importantes para o processo de termofixação e devem constar na ficha técnica. Salem, Marchi e Menezes (2005, p.73) descrevem na Tabela 1 os parâmetros orientativos para a poliamida e poliéster:

Tabela 1 – Parâmetros de termofixação

| | PA 6 | PA 6.6 | Poliéster |
|---------------------------|-------------|---------------|------------------|
| Temperatura | 150 – 180°C | 170 – 200°C | 180 – 210°C |
| Tempo de Exposição | 30 – 60s | 30 – 60s | 30 – 60s |

Fonte: Salem, Marchi, Menezes (2005, p.73)

Conforme é possível constatar, as diferentes fibras têxteis requerem diferentes temperaturas de termofixação, o que reforça a necessidade de estudar e padronizar os processos de beneficiamentos dos produtos. A medição das variáveis do processo se faz necessária, para garantir a padronização do produto. O estudo dessas medições, no caso a metrologia, também será necessário no estudo na pesquisa. Segundo Lobo (2010, p.175), a metrologia consiste no controle de medidas a fim de manter os erros de fabricação dentro de limites aceitáveis. A medição pode ser direta, quando feita com instrumentos de medição, ou indireta, comparando a peça com um padrão.

O estudo proposto, que tem como o objeto garantir a qualidade do produto que corrobora com Lobo (2010, p.17) quando descreve a qualidade como características específicas dos produtos finais ou intermediários da empresa, as quais devem atender as expectativas e proporcionar a satisfação do cliente. Para a realização do controle dessa qualidade no processo, é necessário entender as necessidades e expectativas do cliente que irá utilizar o produto. Esse cliente pode ser interno a empresa, em um processo intermediário antes do produto acabado. Por fim, essas características devem ser convertidas em grandezas mensuráveis, denominadas itens de controle. (LOBO, 2010, p.19). Ainda segundo o autor, o controle da qualidade envolve técnicas e atividades de caráter operacional com os objetivos de acompanhar (monitorar) processos e eliminar as causas de deficiências.

Berry et al. (2011, p.79, tradução nossa) definem regressão como relação entre duas ou mais variáveis. Essas relações são obtidas através da observação de dados. Primeiramente os dados devem ser plotados para verificar se possui alguma característica linear, nesse caso a regressão chama-se linear e uma reta retrata a relação entre as variáveis.

Segundo Martins e Laugene (2005, p.232), as planilhas computacionais, como Microsoft Excel realizam os cálculos automaticamente para definição da reta que melhor representa os dados lançados na planilha.

A fim de verificar o nível de ajustamento dessa reta é calculado o coeficiente de correlação, que varia entre +1 e -1, onde o valor positivo indica uma reta crescente, enquanto o negativo uma reta decrescente. Para uma boa correlação são indicados valores de r sejam maiores que 0,7. (MARTINS; LAUGENE, 2005, p.233)

O coeficiente de correlação (ρ) mede a possível relação linear existente entre as variáveis aleatórias, sendo sempre um valor entre -1 e 1, sendo que quanto maior a tendência de relação linear positiva o valor será mais próximo de 1, enquanto uma maior tendência de relação linear negativa o valor se aproximará de -1. Já quando o valor de ρ está próximo de zero, não há relação linear. (CHARNET et al., 2008, p.70)

Segundo Charnet et al. (2008, p.88), o coeficiente de determinação (R^2) indica quanto o modelo gerado explica os dados observados, sendo seus valores pertencentes ao intervalo [0;1], sendo que quanto mais próximo de 1 melhor o ajustamento. Essa medida é utilizada principalmente para comparar dois modelos gerados para um mesmo conjunto de dados, a fim de se optar pelo modelo que melhor explica os dados observados, ou seja, o valor de R^2 mais próximo de 1 possível. Por exemplo, um modelo de previsão de vendas que possui um valor de R^2 igual a 0,602 permite concluir que o modelo explica 60,2% da previsão de vendas.

A tabela de análise de variância (ANOVA) é utilizada para testes estatísticos de hipóteses e a coluna “F significativo” trazida no Microsoft Excel representa o valor-p, onde valores abaixo de 0,05 indicam boa significância. (CHARNET et al., 2008, p.64).

Um modelo com três variáveis caracteriza a regressão como múltipla, por possuir mais que uma variável, e a equação que explica sua característica linear é:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 \quad (1)$$

Onde β são chamados de coeficientes de regressão e explicam como cada variável “x” influencia no resultado da variável dependente “Y”. (CHARNET et al., 2008, p.170).

3. Metodologia

Este estudo de caso foi realizado através de uma pesquisa operacional, de natureza aplicada, derivada de um problema enfrentado na prática e que possui o objetivo de comparar como diferentes parâmetros de operação interferem no resultado do processo. A investigação operacional (IO), ou pesquisa operacional (PO), é um ramo interdisciplinar da matemática aplicada que faz uso de modelos matemáticos, estatísticos e de algoritmos na ajuda à tomada de decisão COLIN, 2011).

A pesquisa qualitativa é utilizada quando se trata de qualidade do produto e do processo. Segundo Gerhardt e Silveira (2009, p.32), métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito sem submeter à prova de fatos, uma vez que os dados analisados são não-métricos e se valem de diferentes abordagens. O trabalho também apresenta pesquisa quantitativa, pois apresenta números que justifiquem o estudo, e abordando o problema de forma descritiva, coletando e correlacionando os fatos.

Conforme citado por Fonseca (2009 apud Gerhardt e Silveira, p.33), a pesquisa quantitativa apresenta resultados que podem ser quantificados, recorre a linguagem matemática para descrever as relações entre variáveis. A utilização conjunta dos tipos de

pesquisas qualitativas e quantitativas permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente. Esta pesquisa será realizada através de dados coletados nos testes executados em calandra variando os seus parâmetros de operação: temperatura, velocidade e pressão. Todos os testes serão realizados em uma mesma calandra da marca Wuppertal de uma empresa situada na cidade de Blumenau-SC com amostras de tecido 100% poliéster com estrutura de tela e gramatura final de 60g/m² fabricado pela própria empresa.

As amostras do tecido serão retiradas logo após o processo de tecelagem, o tecido de 3m de largura será cortado com tesoura em 27 amostras. Cada amostra será marcada com o número referente ao seu teste e os pontos onde foram medidas para que o mesmo ponto seja verificado antes e após o experimento. Após medição inicial da largura e comprimento das amostras cortadas, elas serão submetidas a diferentes combinações dos parâmetros temperatura (T), velocidade (V) e pressão (P) no processo de fixação em calandra. No Quadro 2 é possível observar a influência de cada parâmetro na estabilidade dimensional:

Quadro 2 - Parâmetros de termofixação

| Parâmetro | Influência na estabilidade dimensional |
|--------------------|--|
| Temperatura (°C) | Quando maior, melhor a estabilidade. |
| Pressão (bar) | Quando maior, melhor a estabilidade. |
| Velocidade (m/min) | Quando menor, melhor a estabilidade. |

Fonte: Adaptado de Salem, Marchi, Menezes (2005)

É possível observar que os parâmetros temperatura e pressão são diretamente proporcionais à influência na estabilidade dimensional, ou seja, quando maiores mais influenciam; já a velocidade é inversamente proporcional. A combinação desses três parâmetros, deverá definir o melhor resultado para a estabilidade dimensional do produto, após a realização da pesquisa. A variação dos parâmetros, para realizar a pesquisa operacional, serão: temperaturas: 180°C, 195°C e 210°C; velocidade: 1m/min, 4,5m/min e 6,5m/min; pressão: 4bar, 5bar e 6bar. Portanto, serão realizados ao todo 27 testes.

Os dados levantados serão transferidos para uma planilha eletrônica do *software* Microsoft Excel®, onde serão realizados testes estatísticos para validar a correlação das variáveis testadas com o encolhimento das amostras em ambos os sentidos. Com isso, será realizada a regressão dos dados, a fim de encontrar equações que explicam a relação das variáveis significativas com o encolhimento e para que possamos assim definir os melhores parâmetros de operação da calandra prevendo o encolhimento do tecido após o processo de fixação.

4. Análise dos Resultados

Antes da realização dos testes, foi verificada a relação que a variável velocidade, no processo de termofixação em calandra, possui com o tempo em que o produto é submetido a uma determinada temperatura. Na máquina onde os testes foram realizados a área de contato da amostra com o cilindro aquecido é de 1,10 metros. Sendo assim, o Quadro 3 relaciona o tempo de contato com a velocidade de operação:

Quadro 3 – Relação de velocidade e tempo de contato

| Velocidade (m/min) | Tempo (s) |
|--------------------|-----------|
| 1 | 66 |
| 4,50 | 15 |
| 6,50 | 10 |

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

O Quadro 4 foi criado para correlacionar os diferentes parâmetros de operação pré-estabelecidos identificando cada combinação com os números de 1 a 27 das amostras. No Quadro 4 foram levantados a porcentagem de encolhimento no sentido da trama, medida na largura do tecido (% Δ Larg.), e do urdume, medida no sentido do comprimento do tecido (% Δ Comp.):

Quadro 4 - Registro de testes realizados

| Amostra | T | V | P | % Δ Larg. | % Δ Comp. |
|---------|-----|----------|------|------------------|------------------|
| 1 | 180 | 1m/min | 4bar | 8,8% | 9,7% |
| 2 | 180 | 1m/min | 6bar | 6,6% | 7,8% |
| 3 | 180 | 1m/min | 5bar | 7,5% | 8,2% |
| 4 | 180 | 4,5m/min | 4bar | 5,0% | 5,6% |
| 5 | 180 | 4,5m/min | 6bar | 5,5% | 6,5% |
| 6 | 180 | 4,5m/min | 5bar | 5,8% | 4,6% |
| 7 | 180 | 6,5m/min | 4bar | 5,0% | 6,0% |
| 8 | 180 | 6,5m/min | 6bar | 6,0% | 5,1% |
| 9 | 180 | 6,5m/min | 5bar | 5,1% | 6,7% |
| 10 | 195 | 1m/min | 4bar | 8,2% | 7,0% |
| 11 | 195 | 1m/min | 6bar | 7,0% | 9,2% |
| 12 | 195 | 1m/min | 5bar | 8,8% | 6,4% |
| 13 | 195 | 4,5m/min | 4bar | 5,2% | 5,3% |
| 14 | 195 | 4,5m/min | 6bar | 6,4% | 7,3% |
| 15 | 195 | 4,5m/min | 5bar | 6,4% | 3,6% |
| 16 | 195 | 6,5m/min | 4bar | 5,5% | 6,4% |
| 17 | 195 | 6,5m/min | 6bar | 5,5% | 5,3% |
| 18 | 195 | 6,5m/min | 5bar | 6,0% | 4,5% |
| 19 | 210 | 1m/min | 4bar | 10,9% | 8,0% |
| 20 | 210 | 1m/min | 6bar | 11,7% | 9,5% |
| 21 | 210 | 1m/min | 5bar | 11,2% | 8,8% |
| 22 | 210 | 4,5m/min | 4bar | 8,3% | 7,3% |
| 23 | 210 | 4,5m/min | 6bar | 9,8% | 5,5% |
| 24 | 210 | 4,5m/min | 5bar | 9,6% | 5,9% |
| 25 | 210 | 6,5m/min | 4bar | 7,2% | 4,7% |
| 26 | 210 | 6,5m/min | 6bar | 5,7% | 5,1% |
| 27 | 210 | 6,5m/min | 5bar | 8,1% | 5,7% |

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Os dados foram lançados em planilha eletrônica do *software* Microsoft Excel® e através da ferramenta de análise de dados foram geradas duas matrizes de correlação para analisar as correlações das variáveis independentes T, V e P com as variáveis dependentes “% Δ Larg.” e “% Δ Comp.”:

Quadro 5 – Matriz de Correlação “% Δ Larg.”

| | % Δ Larg. | T | V | P |
|-----------|-----------|---|---|---|
| % Δ Larg. | 1 | | | |
| T | 0,6204 | 1 | | |
| V | -0,6268 | 0 | 1 | |
| P | 0,0029 | 0 | 0 | 1 |

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Quadro 6 – Matriz de Correlação “% Δ Comp.”

| | % Δ Comp. | T | V | P |
|-----------|-----------|---|---|---|
| % Δ Comp. | 1 | | | |
| T | 0,0136 | 1 | | |
| V | -0,7523 | 0 | 1 | |
| P | 0,0372 | 0 | 0 | 1 |

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Analisando os dados das matrizes de correlação é possível observar que tratando-se de “% Δ Larg.” no Quadro 5, a variável pressão (P) não se correlaciona de forma significativa com o encolhimento neste sentido do tecido. Já no Quadro 6 tratando-se de “% Δ Comp.”, nem a variável temperatura (T) e nem a variável pressão (P) apresentaram valores satisfatórios de correlação, pois seus valores aproximam-se de zero. Essa informação é interessante para ajustar as regressões que melhor representam a relação do encolhimento com as suas variáveis.

Através da ferramenta de análise de dados do Microsoft Excel®, realizamos o ajustamento da regressão para o encolhimento no sentido da trama do tecido (“% Δ Larg.”) obtendo assim nos Quadros 7; 8 e 9:

Quadro 7 – Estatística de regressão para “% Δ Larg.”

| | |
|---------------------|--------|
| R-Quadrado | 0,7777 |
| R-quadrado ajustado | 0,7592 |
| Erro padrão | 0,0099 |
| Observações | 27 |

Fonte: Dado da pesquisa (2020)

Quadro 8 – Tabela ANOVA para “% Δ Larg.”

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------------------|
| Regressão | 2 | 0,0082 | 0,0041 | 41,9782 | 0,0000 |
| Resíduo | 24 | 0,0023 | 0,0001 | | |
| Total | 26 | 0,0105 | | | |

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Quadro 9 – Coeficientes da regressão para “% Δ Larg.”

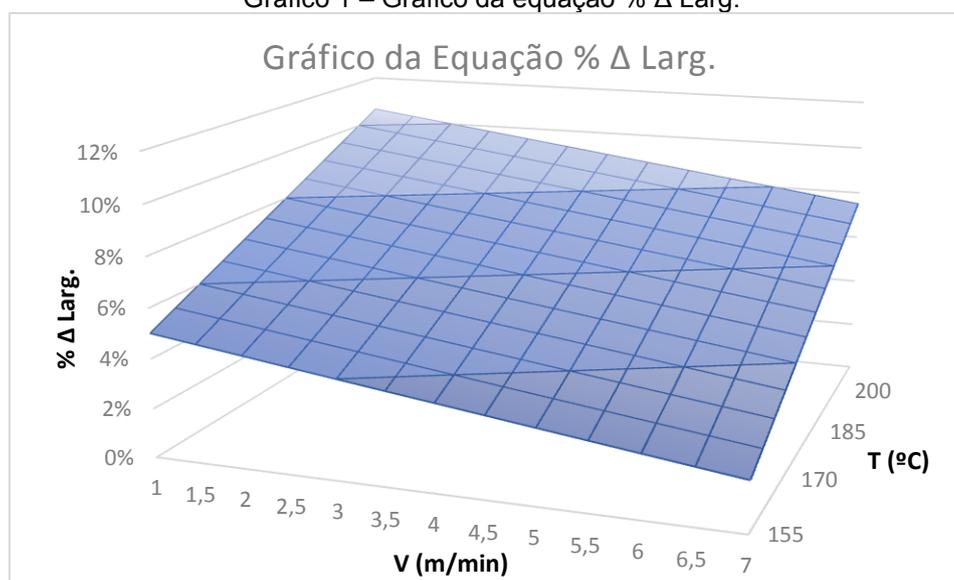
| | <i>Coeficientes</i> | <i>valor-P</i> |
|------------|---------------------|----------------|
| Interseção | -0,100 | 0,003 |
| T | 0,001 | 0,000 |
| V | -0,005 | 0,000 |

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Com base nos dados obtidos, apresentados nos quadros, é possível observar pelo coeficiente de determinação (R^2) que 77,77% do encolhimento no sentido da trama (% Δ Larg.) são explicados pelas variáveis temperatura (T) e velocidade (V). Além disso o valor F de significância global na tabela ANOVA ficou abaixo de 0,05, aproximando-se de zero, o que indica que pelo menos uma variável do modelo está relacionada ao encolhimento no sentido analisado. Sendo assim, podemos observar que os valores-P individuais das variáveis T e V também ficaram abaixo de 0,05, mostrando que ambas possuem relação com o encolhimento no sentido da largura do tecido. Por fim, com os coeficientes de regressão definimos a Equação 2 e seu Gráfico 1:

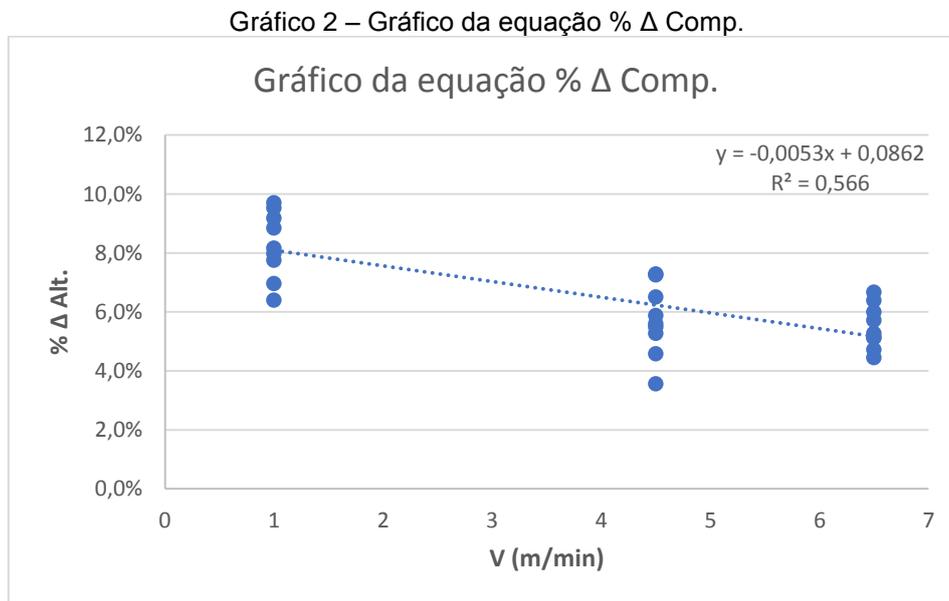
$$\% \Delta \text{Larg.} = -0,1 + 0,001 \times T - 0,005 \times V \quad (2)$$

Gráfico 1 – Gráfico da equação % Δ Larg.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Segundo a análise de correlação realizada, o ajustamento da regressão para o encolhimento no sentido do urdume do tecido (% Δ Comp.) não leva em consideração as variáveis temperatura (T) e pressão (P). Portanto, a equação que representa a relação da variável dependente (% Δ Comp.) com a variável independente velocidade (V) é de uma reta e não um plano. Sua obtenção foi realizada através da inclusão de linha de tendência dentro do gráfico de dispersão no Microsoft Excel®, apresentado no Gráfico 2.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

De acordo com o R^2 obtido, a equação 3 de encolhimento neste sentido do tecido é explicada por apenas 56,6% em função da variável velocidade.

$$\% \Delta \text{ Comp.} = -0,0053 + 0,0862 \times V \quad (3)$$

Segundo os coeficientes de determinação (R^2) obtidos, podemos considerar que a Equação 3 explica de forma satisfatória o encolhimento no sentido do comprimento do tecido, portanto não é recomendável utilizá-la para a previsão de encolhimento do tecido. Já o coeficiente obtido na Equação 2 indica uma boa aderência do modelo, sendo, pois, indicada para a estimativa de encolhimento no sentido da largura do tecido quando indicamos a temperatura e velocidade de operação.

5. Considerações Finais

Conforme proposto, após a realização dos testes e a análise dos dados, foi possível concluir que para o tecido testado a pressão não apresentou correlação significativa com o encolhimento no sentido da largura do tecido, logo, a regressão foi gerada apenas com as variáveis: temperatura e velocidade. Como resultado, foi obtida uma equação que explica 77,77% do encolhimento no sentido da trama do tecido em função das variáveis independentes temperatura e velocidade. Segundo a literatura, valores de coeficiente de regressão (R^2) maiores que 0,7 já apontam boa representatividade do modelo.

Além disso, o F de significância observado na tabela ANOVA ficou muito próximo de zero, complementando a confirmação de boa aderência do modelo. A conclusão é que a Equação 2 pode ser utilizada para estimar o encolhimento do tecido no sentido da sua largura, sendo que a variável temperatura tem influência proporcional a 0,001 ao valor do encolhimento enquanto a velocidade implica de forma inversamente proporcional no encolhimento na ordem de 0,005, ou seja, a cada 1°C elevado na temperatura tem-se um incremento de 0,1% no encolhimento, enquanto o aumento de 1m/min da velocidade implica em uma redução de 0,5% no encolhimento do tecido.

Com base nos padrões citados em literatura sobre termofixação, é recomendável que as fibras de poliéster sejam submetidas a temperaturas de 180°C a 210°C por um período de 30s a 60s. Para estipular o melhor padrão de operação para termofixação em calandra, objetivo principal deste trabalho, levamos em consideração os menores custos de operação e energia elétrica, definindo como parâmetros de operação os valores mínimos sugeridos, sendo a temperatura igual a 180°C e tempo de 30s, equivalente a velocidade de 2,2m/min. Substituindo esses valores na Equação 2 obtemos uma previsão de encolhimento de 6,77% no sentido da largura do tecido.

Os testes realizados também permitiram concluir que não houve correlação significativa da pressão e nem da temperatura com o encolhimento no sentido do comprimento do tecido, sendo assim sua regressão levou em consideração apenas a velocidade de operação. Todavia, a equação obtida explica apenas 56,6% do encolhimento em função da variável velocidade e, portanto, não será utilizada para prever o encolhimento do tecido neste sentido. Sugerimos para trabalhos futuros o estudo de outras variáveis a fim de obter uma função que represente melhor essa relação de encolhimento.

Referências

BERRY, W. L.; JACOBS, F. Robert; VOLLMANN, T. E.; WHYBARK, D. C. **Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management: APICS/CPIM Certification Edition**. New York: McGraw-Hill, 2011.

CHARNET, R.; FREIRE, C. A. L.; CHARNET, E. M. R.; BONVINO, H. **Análise de modelos de regressão linear: com aplicações**. 2ª ed. Campinas: Unicamp, 2008.

COLIN, E. C. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: LTD, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em 23 de set. 2019.

IEMI – INTELIGÊNCIA DE MERCADO LTDA. **Santa Catarina Têxtil 2017 Relatório Setorial**. São Paulo, 2019.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P.. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Saraiva, 2005.

LOBO, R. N.. **Gestão de produção**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2010.

LOBO, R. N.. **Gestão da qualidade**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2010.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos – história, tramas, tipos e usos**. 3ª ed. São Paulo: SENAC, 2012.

SALEM, V.; MARCHI, A.; MENEZES, F. G.. **O beneficiamento têxtil na prática**. 1ª ed. São Paulo: Goldem Química do Brasil, 2005.

SENAI. **Beneficiamento têxtil**. 1ª ed. São Paulo: SENAI, 2015.

SENAI. **Tecnologia dos processos têxteis**. 1ª ed. São Paulo: SENAI, 2015.