CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS LEOPOLDINA

Gabriel Lima Condé

INOVAÇÕES NA INDÚSTRIA TÊXTIL - ESTUDO DE CASO SOBRE A PREDIÇÃO DO CONSUMO DE TINTA NO PROCESSO DE ESTAMPARIA

Leopoldina

2024

Gabriel Lima Condé

INOVAÇÕES NA INDÚSTRIA TÊXTIL - ESTUDO DE CASO SOBRE A PREDIÇÃO DO CONSUMO DE TINTA NO PROCESSO DE ESTAMPARIA

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Mestrado Profissional em Automação e Sistemas do Campus Leopoldina, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, para obtenção do grau de Mestre em Automação e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Ribeiro Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Lucas Silva de Oliveira

Leopoldina

2024

Condé, Gabriel Lima.
C745i Inovações na indústria têxtil: estudo de caso sobre a predição do consumo de tinta no processo de estamparia. / Gabriel Lima Condé. - 2024.
59 f. : il.

Orientador: José Geraldo Ribeiro Júnior.
Coorientador: Lucas Silva de Oliveira.
Bibliografia.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. *Campus* Leopoldina. Programa de Pós-Graduação em Automação e Sistemas (PPFAeS), 2024.

1. Serigrafia. 2. Estamparia. 3. Tecido – Indústria têxtil. 4. Tinta. I. Ribeiro Júnior, José Geraldo. II. Oliveira, Lucas Silva de. III. Título.

CDU: 655-332

Elaboração da ficha catalográfica pela bibliotecária Luzia Adriana Damasceno, CRB 6º 2305 / CEFET-MG c*ampus* Leopoldina.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUTOMAÇÃO E SISTEMAS - LP

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 4 / 2024 - PPGAS (11.52.20)

Nº do Protocolo: 23062.018031/2024-73

Leopoldina-MG, 27 de março de 2024.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

INOVAÇÕES NA INDÚSTRIA TÊXTIL - ESTUDO DE CASO SOBRE A PREDIÇÃO DO CONSUMO DE TINTA NO PROCESSO DE ESTAMPARIA

AUTOR: GABRIEL LIMA CONDÉ

ORIENTADOR: Professor Doutor José Geraldo Ribeiro Júnior

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou em 27 de março de 2024 esta Dissertação:

Professor Doutor José Geraldo Ribeiro Júnior (ORIENTADOR)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Professor Doutor Lucas Silva de Oliveira (COORIENTADOR)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Professor Doutor Fabiano Pereira Bhering (MEMBRO INTERNO)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Professor Doutor Joventino de Oliveira Campos (MEMBRO EXTERNO)

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

(Assinado digitalmente em 27/03/2024 20:23)
FABIANO PEREIRA BHERING
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMLP (11.61.11)
Matrícula: 2556430

(Assinado digitalmente em 27/03/2024 11:49)
JOSE GERALDO RIBEIRO JUNIOR
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMLP (11.61.11)
Matrícula: 1322715

(Assinado digitalmente em 27/03/2024 14:50)
LUCAS SILVA DE OLIVEIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEMDV (11.60.05)
Matrícula: 2141054

(Assinado digitalmente em 27/03/2024 10:53)
JOVENTINO DE OLIVEIRA CAMPOS
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.236-##

Visualize o documento original em **https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp** informando seu número: **4**, ano: **2024**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **27/03/2024** e o código de verificação: **6f5f8d2df7**

Dedico este trabalho a minha esposa, meus pais e meus irmãos. Vocês são meu apoio constante e minha fonte de inspiração

Agradecimentos

Quero expressar minha profunda gratidão a todos os membros da minha família que estiveram ao meu lado nesta jornada, seja de forma direta ou indireta. Especialmente, desejo agradecer à minha esposa, Waysamele, e aos meus pais, Edson e Magaly, por serem pilares essenciais em minha vida, guiando-me com sabedoria através das diversas experiências que enfrentei. O amor e orientação de vocês moldaram quem sou, e por isso, sou imensamente grato.

Aos meus irmãos, Lucas, Matheus e Arthur, quero expressar minha sincera gratidão pelo apoio inabalável e pela inspiração constante que vocês representam em minha vida. Nada do que alcancei seria possível sem vocês ao meu lado.

Também desejo estender meus agradecimentos aos meus orientadores, Prof. Dr. José Geraldo Ribeiro Júnior e Prof. Dr. Lucas Silva de Oliveira, pela oportunidade, paciência e orientação fornecidas durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de reconhecer a contribuição dos meus amigos e professores do CEFET, que sempre foram fontes de inspiração e apoio, tanto na esfera acadêmica quanto na pessoal. Suas palavras e encorajamento foram inestimáveis ao longo dessa jornada.

Resumo

Essa dissertação apresenta um estudo de caso que se aprofunda na simulação aplicada à serigrafia no contexto da estamparia têxtil, com um foco específico na previsão de consumo de tinta. A investigação consiste em uma análise baseada em imagens e cálculos visando gerar dados de previsões a respeito do processo de estamparia por meio da ferramenta de simulação desenvolvida. Os resultados revelam uma notável precisão na previsão do consumo de tinta por meio da ferramenta, considerando que apresenta um erro percentual máximo de 6,5%. Esta precisão é particularmente significativa quando comparada com o erro na faixa de 30% das metodologias convencionais da indústria têxtil. Com o intuito de analisar os dados obtidos pela ferramenta foram realizados testes, totalizando 8928 metros quadrados de tecidos estampados, observou-se um erro percentual médio de 3,24%. Esse valor destaca a relevância e a eficácia dessa solução para otimizar o processo produtivo. Anteriormente carente de cálculos precisos e parâmetros, o processo de estamparia frequentemente dependia de abordagens empíricas e testes, resultando em atrasos e perdas na produção. A contribuição deste estudo reside na introdução de uma ferramenta de simulação inovadora na indústria de serigrafia, proporcionando uma visão preditiva e eficiente do consumo de tinta em aplicações têxteis, promovendo, assim, avanços na gestão e eficiência dos processos produtivos.

Palavras-chave: Serigrafia, estamparia têxtil, predição de consumo de tinta.

Abstract

This dissertation presents a case study that delves into simulation applied to screen printing in the context of textile printing, with a specific focus on ink consumption prediction. The investigation entails an image-based analysis and calculations aimed at generating predictive data regarding the printing process through the developed simulation tool. The results reveal a notable accuracy in ink consumption prediction through the tool, considering it presents a maximum percentage error of 6.5%. This precision is particularly significant when compared to the approximately 30% error range of conventional methodologies in the textile industry. In order to analyze the data obtained by the tool, tests were conducted, totaling 8928 square meters of printed fabrics, resulting in a mean absolute percentage error of 3.24%. This value highlights the relevance and effectiveness of this solution in optimizing the production process. Previously lacking precise calculations and parameters, the printing process often relied on empirical approaches and testing, resulting in delays and production losses. The contribution of this study lies in the introduction of an innovative simulation tool in the screen printing industry, providing a predictive and efficient insight into ink consumption in textile applications, thus promoting advancements in the management and efficiency of production processes.

Keywords: Screen printing, textile printing, ink consumption prediction.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Tela serigráfica para processos de serigrafia manual 18
Figura 2 – Processo de estamparia automático. 18
Figura 3 – Processo de estamparia manual. 19
Figura 4 – Fotolito. 19
Figura 5 – Quantidade de fios de malha em relação ao depósito de tinta. 20
Figura 6 – Arte para processo de serigrafia. 23
Figura 7 – Telas processo de serigrafia. 23
Figura 8 – Pixels em imagens. 25
Figura 9 – Pixel em imagem 26
Figura 10 – Área de um pixel 27
Figura 11 – Área total da imagem. 27
Figura 12 – Pixels de mesma cor. 28
Figura 13 – Desenho - Processo de serigrafia. 32
Figura 14 – Etapa A - ferramenta para predição. 34
Figura 15 – Etapa C - porcentagem de cores. 36
Figura 16 – Etapa D - dados do substrato. 37
Figura 17 – Etapa E - dados da tinta. 38
Figura 18 – Etapa F - seleção da tela da matriz serigráfica. 39
Figura 19 – Etapa I - dados de consumo e custo. 41
Figura 20 – Artes utilizadas para a comparação do teste de área. 44
Figura 21 – Arte utilizada para confecção da matriz. 45
Figura 22 – Tecido 54-64. 45
Figura 23 – Tecido 61-64. 46
Figura 24 – Artes das estampas utilizadas no Experimento III. 49
Figura 25 – Erro percentual. 51
Figura 26 – Análise respostas da pergunta 1. 59
Figura 27 – Análise respostas da pergunta 2. 60
Figura 28 – Análise respostas da pergunta 3. 60
Figura 29 – Custos primários no processo de serigrafia. 61

Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificações técnicas das telas (*Screen Mesh*) 20
Tabela 2 – Gramatura de Tecido 22
Tabela 3 – APFill Ink&Toner Coverage Meter versus Software proposto. 43
Tabela 4 – Parâmetros Experimento 1. 46
Tabela 5 – Resultados Experimento 1 46
Tabela 6 – Simulação via software do experimento 2. 47
Tabela 7 – Dados simulação versus dados do processo. 48
Tabela 8 – Dados obtidos com o experimento. 50
Tabela 9 – Erro referente a simulação. 52
Tabela 10 – Consumo de tinta experimento IV. 53
Tabela 11 – Consumo de tinta via ferramenta desenvolvida. 54
Tabela 12 – Comparação da predição do consumo de tinta do montante total consumido no processo. 54

Sumário

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Definição do Problema 14
1.1.1 Objetivo geral 15
1.1.2 Objetivos específicos 15
1.2 Contribuições 15
1.3 Estrutura da Dissertação 16

2 REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS 17
2.1 Processo de serigrafia 17
2.1.1 Estudo de caso - Processo de serigrafia 22
2.2 Computação Gráfica 24
2.2.1 Bibliotecas 24
2.2.2 Processamento de cores na Imagem 24
2.3 Trabalhos Relacionados 29
2.4 Considerações Parciais 29

3 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA 31
3.1 Cálculo da Massa de Tinta com Base na Área Estampada 31
3.2 Etapas para a Predição do Consumo de Tinta 33
3.2.1 Etapa A: Escolha da Imagem a ser Estampada 34
3.2.2 Etapa B: Cálculo da área da imagem que passará pelo processo de estamparia 34
3.2.3 Etapa C: Cálculo da Porcentagem de cada Cor presente na Estampa 35
3.2.4 Etapa D: Definição das Informações a Respeito do substrato que passará pelo Processo de Estamparia 36
3.2.5 Etapa E: Inserção das informações a respeito da tinta utilizada ao longo do processo 37
3.2.6 Etapa F: Definição da matriz serigráfica a ser utilizada 38
3.2.7 Etapa G: Cálculo para o processo de predição 39
3.2.8 Etapa H: Etapa de apresentação dos dados 40

4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS 42
4.1 Experimento I - Validação do Algoritmo 42
4.2 Experimento II - Análise da Influência da Matriz Serigráfica 43
4.3 Experimento III - Validar a Acurácia do Sistema Proposto 48
4.4 Experimento IV - Comparação do método de predição convencional com o método proposto 53

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS 55
5.1 Trabalhos Futuros 56

REFERÊNCIAS 57

APÊNDICE A – PESQUISA COM EMPRESAS 59

1 Introdução

A indústria têxtil possui grande destaque na economia brasileira. Ao longo do ano de 2022 o faturamento da cadeia têxtil e de confecções chegou a aproximadamente R$ 190 bilhões, contando com um investimento por volta de R$ $4,9$ bilhões. No ano de 2022 foram produzidas um total de $8,1$ bilhões de peças, levando em consideração segmentos como, vestuário, meias, acessórios, linha lar e artigos técnicos. A indústria têxtil emprega um total de 9 milhões de pessoas de forma direta e indireta, sendo uma das maiores indústrias de transformação do país (ABIT, 2023).

Algumas das tecnologias apresentadas durante a terceira e quarta revolução industrial apresentam certa dificuldade de popularização na indústria têxtil, como é o caso dos mecanismos de automatização de processos ao longo da cadeia produtiva. Um dos fatores que torna complexa a implementação desses mecanismos nas indústrias têxteis está ligado aos substratos (tecidos utilizados ao longo do processo de estamparia), os quais podem adquirir diferentes formas e graduações, de acordo com o que for produzido, o que exigirá das diferentes etapas dos processos, como corte, costura, revisão e passadoria, diferentes métodos de trabalho. Essa complexidade na adaptação dos métodos de trabalho contribui significativamente para a dificuldade de integração de sistemas automatizados na indústria têxtil (MAESTRI, 2018). Por este motivo, a inserção da robotização no setor têxtil, em contato direto com os materiais fibrosos, é ainda um desafio. Por sua vez, a indústria 4.0 trouxe novos conceitos para a dinâmica de trabalho presente no setor têxtil, com a substituição de atividades anteriormente realizadas manualmente, por processos e atividades automatizadas que são realizadas por máquinas e softwares que executam as mesmas atividades com maior rendimento (WITTENBERG, 2016). Nesse sentido, o desenvolvimento e atualização de softwares são soluções cada vez mais presentes em diversos processos industriais, em que por meio da análise de dados e informações tendem a trazer melhorias para o processo produtivo, tornando-se portanto uma ferramenta importante e essencial para os processos de produção e gestão industrial (MüLLER, 2015).

A estamparia na área têxtil se mostra presente em duas grandes áreas, a estamparia convencional, realizada por meio de matrizes serigráficas, e a estamparia digital, realizada por meio do processo de prensas ou impressões realizadas diretamente no tecido. Dentre esses processos a serigrafia, estamparia convencional por meio de matrizes serigráficas, é a que apresenta menor custo de processo, podendo atender diversas áreas e tipos de tecido, o que torna processo extremamente vantajoso para a indústria têxtil (SOUZA, 2018). De acordo com estudos conduzidos em empresas especializadas em estamparia na região da Zona da Mata Mineira, o custo por metro quadrado de estamparia utilizando o processo digital é a partir de R$ $5,88$, enquanto que no processo de serigrafia, utilizando matrizes serigráficas, o custo por metro quadrado é a partir de R$ $0,80$.

As indústrias buscam cada vez mais maneiras de se adequar à realidade competitiva do mercado, tornando programas computacionais que simulam dados e informações a res-

peito da cadeia produtiva uma solução cada vez mais interessante. Por meio da simulação é possível auxiliar os processos fabris gerando previsibilidade e segurança a respeito da linha real *in loco*. A utilização de software para simulação consiste em elementos fixos com propriedades fiéis, que juntamente com elementos dinâmicos existentes na realização de um ambiente de simulação gera resultados muito semelhantes à realidade. No entanto, essa ainda não é uma realidade do seguimento da indústria têxtil. Com um sistema calibrado utilizando dados reais anteriores é possível simular novos cenários promovendo resultados *in loco*, onde, a partir desse momento, pode-se interagir com cenários de modificações da linha real de produção, buscando melhores resultados finais relacionados com a produtividade de máquinas e pessoas.

Dentro deste cenário, a Zona da Mata Mineira abrange diversos segmentos ligados direta e indiretamente para a área da indústria têxtil como, confecções, estamparias, facções e comércio de tecidos. O polo da moda de Muriaé, localizado na Zona da Mata, produz cerca de 2.5 milhões de peças ao mês, contando com mais de 400 empresas formais voltadas para o ramo da moda (ALTEROSA, 2022). Desta forma o presente trabalho visa atender algumas das necessidades apresentadas em um dos pontos primordiais deste setor, a estamparia, buscando otimizar seu processo produtivo e trazer benefícios que tenham impacto na cadeia produtiva.

1.1 Definição do Problema

Atualmente, a indústria têxtil encontra-se subdividida em diversos segmentos, dentre os quais destacam-se: a tecelagem, passadorias, confecções e estamparias. As estamparias são responsáveis por realizar a estampa de tecidos fornecidos pela tecelagem, que posteriormente serão utilizados como matéria prima para confecção das peças de vestuário.

Ainda quanto a esse nicho econômico, é válido ressaltar que estão estabelecidas no mercado diversas empresas que prestam serviços de estamparia para as confecções. Contudo, há também casos em que a própria confecção executa a etapa de estamparia dos tecidos que irão compor as coleções da marca.

Com a evolução do processo e automação de partes das atividades das estamparias, o volume de tecidos estampados tem aumentado exponencialmente (HUANG RUIHANG E YAN, 2021). Desse modo faz-se cada vez mais necessária a coleta de dados sobre o processo, visando aumentar a eficiência e rendimento produtivo dessa cadeia produtiva. Nesse sentido, o presente trabalho visa abordar um problema que alcança diretamente dois dos grandes segmentos da indústria têxtil, as confecções e estamparias. Diante das inúmeras variáveis presentes no processo de estamparia, que incluem número de cores de uma estampa, dados técncios da matriz serigráfica, dados técnicos da imagem que será estampada, fica evidente a necessidade de se criar um mecanismo que possibilite ao usuário do processo de estampagem, estimar, previamente ao processo de estamparia, o custo produtivo, possibilitando que o cliente faça, quando necessário e possível, alterações nas definições iniciais, otimizando o processo de acordo com os padrões de custo estabelecidos.

1.1.1 Objetivo geral

Constitui-se como objetivo geral desse trabalho, desenvolver um software capaz de entregar o custo do processo produtivo do processo de estaparia, a partir dos dados técnicos da estampa a ser produzida e de especificações até então, na maioria das vezes, ignorada pela indústria no dia a dia da estamparia.

1.1.2 Objetivos específicos

Com vistas ao cumprimento do objetivo geral, definem-se como objetivos específicos deste trabalho:

- Desenvolver uma interface gráfica que apresente dados ao usuário final;
- Predizer o consumo de tinta necessário para realização do processo produtivo;
- Gerar a análise de cores no desenho;
- Estabelecer métrica de conversão mássica em métrica linear de tecido;
- Dimensionar área ocupada por tinta que compõem a estampa;
- Realizar uma pesquisa para obter informações a respeito do processo de estamparia e de como é feito o cálculo de custo do processo atualmente, considerando confecções e estamparias no estado de Minas Gerais (APÊNDICE A).

1.2 Contribuições

As principais contribuições dessa dissertação são:

- Definir o consumo de tinta a respeito de determinada imagem e substrato no processo de estamparia;
- Alterar padrões da estampa de forma a equalizar previamente com o custo previsto para produção;
- Diminuir o desperdício de tinta, que podem afetar negativamente o meio ambiente, desde o esgotamento de recursos e geração de resíduos até emissões químicas e descarte em aterros;
- Diminuir prejuízos da indústria têxtil especialmente em casos onde é necessário parar a produção para a confecção de mais tinta, por uma previsão errada;
- Predizer o consumo de tinta com precisão considerando características da matriz serigráfica utilizada que, até onde temos conhecimento, não é considerado pela indústria têxtil;
- Por fim, apresentar uma interface gráfica simples para o usuário final do processo de serigrafia.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho é constituído por cinco capítulos, sendo Capítulo 1, o qual inclui a introdução que aborda o contexto geral do trabalho, além de realizar a identificação do problema e dos objetivos.

No Capítulo 2 são apresentados os conceitos gerais e a revisão da literatura utilizada para o desenvolvimento do trabalho proposto.

Ao decorrer do Capítulo 3 são abordados os métodos e procedimentos adotados para o desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 4 são apresentados os testes realizados com o protótipo apresentado no Capítulo 3, podendo assim obter os resultados, analisá-los e compará-los com resultados reais.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta a conclusão do presente trabalho, assim como sugestões para possíveis trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico e Trabalhos Relacionados

Esse Capítulo tem como finalidade descrever os principais conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento do presente trabalho. Para tanto, o mesmo encontra-se dividido em três seções. Na Seção 2.1 é realizada uma introdução sobre o processo de estamparia em tecidos. Na Seção 2.2 são apresentados conceitos relacionados à computação gráfica que foram utilizados no desenvolvimento da ferramenta proposta, assim como é possível visualizar as equações relacionadas à quantificação dos dados presentes nas imagems que posteriormente se tornarão estampas. As Seções 2.3 e 2.4 apresentam, respectivamente, os trabalhos relacionados e as considerações parciais.

2.1 Processo de serigrafia

A serigrafia, também conhecida como *silk-screen*, destaca-se como o método de impressão mais utilizado em todo o mundo. Sua versatilidade possibilita a aplicação em diversas superfícies, utilizando uma ampla gama de tintas. A riqueza visual presente no universo da serigrafia é notável, proporcionando uma variedade de efeitos e texturas. Além disso, sua facilidade de aprendizado e o baixo investimento inicial a tornam uma técnica acessível a todos. Essas características contribuem para a infinita diversidade e atratividade da serigrafia, atraindo tanto entusiastas quanto profissionais (KOMURKI JOHN Z. E BENDANDI, 2018).

O processo de serigrafia consiste na impressão de uma imagem em vários substratos, onde a tinta é forçada por intermédio de um náilon fino, como mostrado na Figura 1. A gama de substratos é extremamente variada, como papel, plástico, borracha, madeira, vidro e tecido, além de ser aplicado em superfícies cilíndricas, esféricas, irregulares, claras, escuras, opacas e brilhantes. Tal processo pode ser realizado tanto de maneira automática como manual, Figuras 2 e 3.

Por meio do estudo de Aminger e Migliari 2021, é possível visualizar as qualidades estéticas da serigrafia em comparação com o processo digital, especialmente no contexto do *design* gráfico. A metodologia utilizada em Migliari 2021 inclui uma revisão bibliográfica e uma análise comparativa entre um cartão de visita impresso em serigrafia e outro em impressão digital. O estudo destaca a experiência estética única proporcionada pela serigrafia, que envolve aspectos visuais e táteis.

A elaboração da matriz serigráfica compreende a fase de esticamento da tela (náilon) sobre um suporte, que pode ser um quadro de madeira, alumínio ou aço. Esse quadro passa pelo processo de gravação utilizando a técnica de fotosensibilidade. Nesse procedimento, a tela é revestida com uma emulsão fotossensível e, posteriormente, é exposta a uma fonte de luz, geralmente em uma mesa de luz especializada. Durante a exposição à luz, a emulsão fotossensível endurece em áreas específicas do quadro. Os pontos escuros, os quais são

Figura 1 – Exemplo de uma tela serigráfica usada em processos de serigrafia manual.

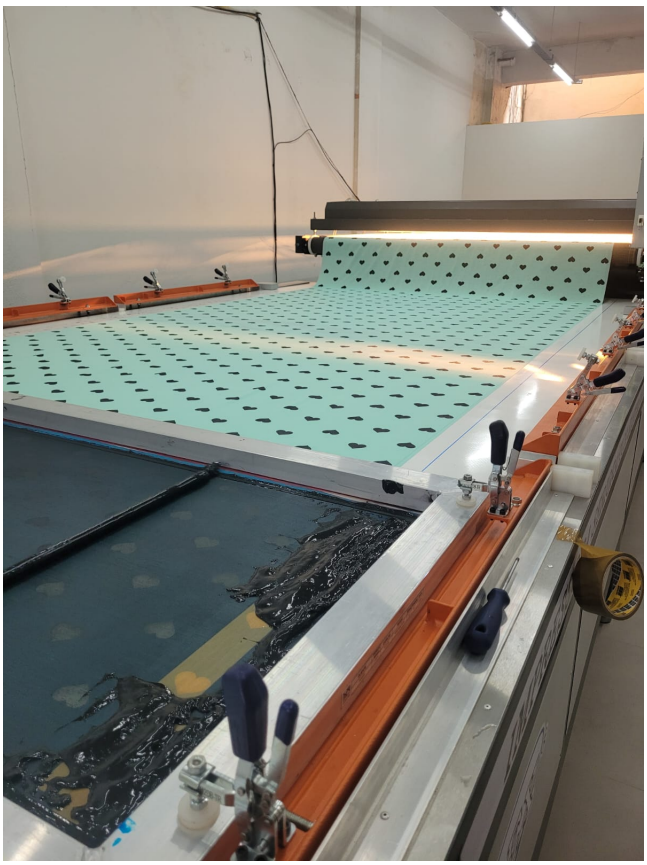

Figura 2 – Processo de estamparia automático.

Figura 3 – Processo de estamparia manual.

impressos em papel transparente por meio de uma impressora, Figura 4, resultantes nesse processo correspondem às regiões que permanecerão vazadas na tela, permitindo que a tinta seja transferida através da trama da tela durante o processo de impressão. Por outro lado, os pontos com ausência da cor preta indicam as áreas onde a emulsão fotossensível foi impermeabilizada devido ao endurecimento sob a luz, impedindo a passagem da tinta (KOMURKI JOHN Z. E BENDANDI, 2018).

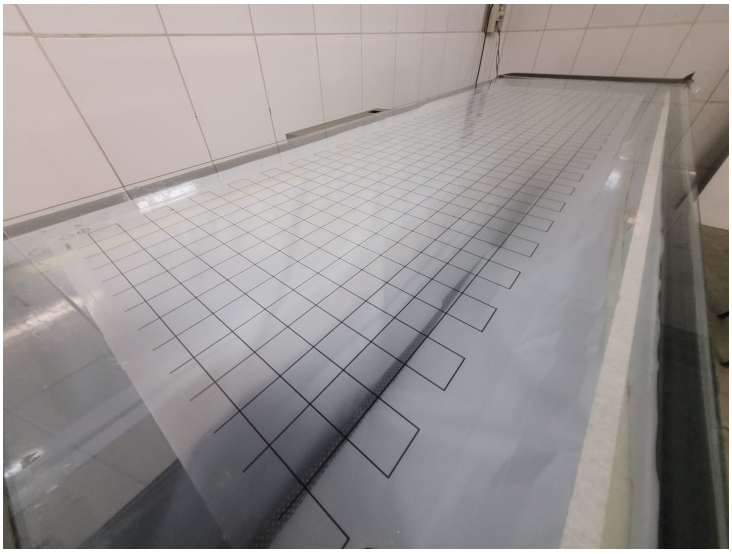

Figura 4 – Fotolito.

Segundo Souza 2018, a espessura da malha utilizada para a confecção da matriz serigráfica é de extrema importância no processo, uma vez que a qualidade da estampa está ligada a espessura da malha utilizada para confecção da matriz. Por meio da Figura 5 é possível visualizar como o espaçamento do poliéster e sua espessura podem influenciar no processo, demonstrando o ponto onde ocorre a passagem de tinta da tela para o substrato.

Figura 5 – Quantidade de fios de malha em relação ao depósito de tinta.

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2018).

Conforme visualizado na Figura 5 é possível observar que a quantidade de tinta que passa pelos orifícios da tela pode variar. A Tabela 1 mostra os tipos de tecido para utilização em matriz serigráfica e posteriormente a quantidade de volume teórico de tinta que é obtida por metro quadrado do tecido. A transferência da tinta presente na tela para o substrato do processo de serigrafia é realizada por meio de um rodo, o qual pressiona a tinta para que transpasse a tela e imprima a arte no substrato.

Tabela 1 – Especificações técnicas da composição dos tecidos adotados na construção das telas (*Screen Mesh*). (AGABE, 2010)

Nº fios/cm - diam. fio (μm)	Tolerância Nº fios/cm	Consumo de tinta (cm^3/m^2)	Esp. Tecido (μm)	Sup. Livre $(\%)$
$32-64$	$1,0$	$59,2$	95	63
$32-100$	$1,0$	$73,4$	165	45
$43-80$	$1,0$	$53,0$	130	41
$48-70$	$1,0$	$47,0$	115	41
$54-64$	$1,5$	$39,0$	100	39
$61-64$	$1,5$	$30,0$	101	31
$77-48$	$2,0$	$28,0$	80	35

O consumível principal do processo de serigrafia são as tintas, podendo ser à base de água, à base de solvente, UV e plastisol. As tintas voltadas para impressão têxtil são à base de água, ideal para materiais porosos. A tinta à base de água penetra nas fibras do substrato (tecido ou malha a ser estampado) e adere depois de seca, sendo o processo de secagem realizado por meio de evaporação da água (TOPCOLOR, 2017).

As tintas a base de água utilizadas no processo de serigrafia são geralmente compostas por uma pasta base, da cor branca, juntamente com pigmentos para coloração da pasta. A quantidade de pigmento presente no peso total da tinta corresponde de 0% até 3% podendo variar conforme a coloração da tinta (TOPCOLOR, 2017).

O substrato é um produto manufaturado, em forma de lâmina flexível, proveniente do entrelaçamento de fios ou fibras têxtil (SOUZA, 2018). Por meio da forma e da quantidade dos fios entrelaçados durante o processo de manufatura do tecido, pode-se variar suas características físicas como, resistência e gramatura.

Segundo Meseldzija et al. 2019, a influência da composição do substrato têxtil está ligada diretamente à qualidade de impressão obtida pela técnica de serigrafia. Utilizando tecidos de viscose, poliamida e algodão como substratos, Meseldzija et al. 2019 abordou parâmetros de qualidade, como contraste, nitidez e uniformidade da estampa. A análise digital de imagens, juntamente com a aplicação de software específico e avaliação visual das impressões, foi empregada para determinar a qualidade da impressão. Os resultados destacaram a importância da interação entre o material têxtil e a tinta de impressão, influenciando significativamente nos parâmetros de qualidade. A escolha do substrato revelou-se crucial, com tecidos naturais como algodão demonstrando melhor absorção da tinta e, consequentemente, maior qualidade de impressão. A pesquisa contribui para o entendimento dos fatores que afetam a qualidade na serigrafia, fornecendo estudos valiosos para a indústria têxtil contemporânea.

No contexto da indústria têxtil, a gramatura se destaca como uma característica crucial do substrato. Definida como a massa por unidade de área do material, essa medida exerce influência significativa sobre diversas propriedades do tecido, tais como espessura, resistência, capacidade de absorção de umidade e habilidade de tingimento. A determinação precisa da gramatura é essencial para assegurar a qualidade e uniformidade dos produtos têxteis em todas as fases do processo de fabricação, desde a seleção das matérias-primas até a etapa final de produção (COLLIER; TORTORA, 2000).

A gramatura é uma unidade de medida usual no meio têxtil, sendo proveniente de duas unidades básicas, a área e a massa do tecido. Tal unidade de medida quantifica a massa do tecido por área, usualmente expressa em gramas por metro quadrado. Por meio deste dado é possível extrair informações importantes a respeito de tecidos, onde dois tecidos com gramatura diferentes podem apresentar a mesma massa, mas terão uma área diferente, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Gramatura dos Tecidos

Gramatura (g/m^2)	Massa (g)	Área (m^2)	Largura (m)	Metros linear (m)
180	20000	$111,11$	$1,8$	$61,72$
150	20000	$133,33$	$1,8$	$74,07$

2.1.1 Estudo de caso - Processo de serigrafia

No processo de serigrafia, há uma série de etapas que se estendem desde a concepção da arte até o momento da impressão. Essas etapas podem ser descritas da seguinte forma:

1. Seleção da arte a ser estampada: A seleção da arte a ser estampada é o primeiro passo crucial no processo de serigrafia. Isso envolve escolher uma imagem ou *design* apropriado para a técnica de serigrafia e garantir que esteja em formato adequado para reprodução (SOUZA, 2018);

2. Preparação da tela: A preparação da tela é uma etapa fundamental para o processo de impressão. Isso inclui selecionar uma tela adequada para o trabalho em termos de malha e tamanho, limpar a tela para remover resíduos de emulsão ou tinta de trabalhos anteriores e aplicar uma camada uniforme de emulsão fotosensível na tela. Posteriormente, a tela é deixada para secar em um local escuro e protegido da luz (AGABE, 2010);

3. Gravação da tela: O processo de gravação da tela envolve a criação do fotolito necessário para a impressão. Isso é feito colocando a arte impressa em transparência sobre a tela preparada e expondo a tela à luz ultravioleta em uma mesa de exposição. As áreas cobertas pela arte permanecerão com a emulsão não endurecida, enquanto o restante endurecerá sob a luz. Após a exposição, a tela é lavada com água para revelar a imagem (AGABE, 2010);

4. Impressão da estampa: Durante a estamparia, a tinta serigráfica é aplicada na parte superior da tela. Um rodo é então utilizado para espalhar a tinta pela tela, pressionando-a contra o substrato. Movimentos firmes e consistentes são realizados para transferir a tinta para o substrato, revelando a estampa impressa conforme a tela é levantada. Esse processo é repetido para cada cor da estampa, utilizando uma tela separada para cada cor (BROSKA, 2012);

5. Secagem da estampa: Após a impressão de todas as cores, o substrato deve ser deixado secar completamente. Dependendo da tinta utilizada, pode ser necessário secar a estampa com calor ou deixá-la secar ao ar livre para garantir a fixação adequada da tinta (BROSKA, 2012);

6. Lavagem da tela: Após a conclusão da impressão, a tela deve ser cuidadosamente lavada para remover a emulsão não endurecida e qualquer resíduo de tinta. Água e produtos químicos adequados são utilizados para garantir uma limpeza completa da tela, que deve

ser deixada secar completamente antes de ser armazenada para uso futuro (BROSKA, 2012).

Para a ilustração do processo de serigrafia, foi escolhida a arte apresentada na Figura 6. Na figura também está idendificado o número de cores na arte para a criação das matrizes serigráficas, sendo cada matriz responsável por uma cor.

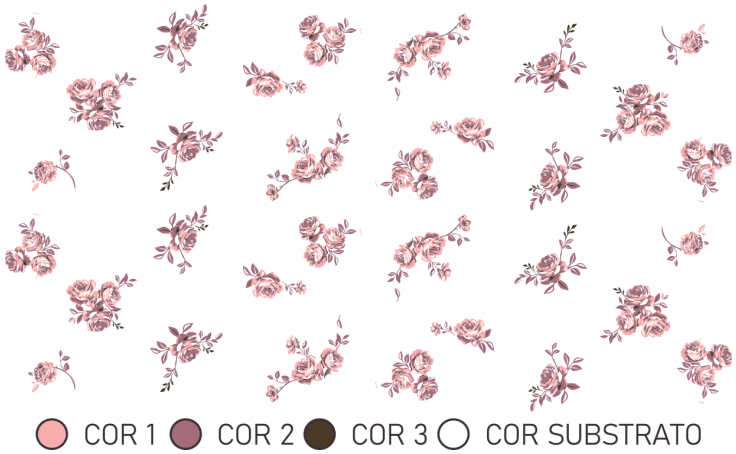

Figura 6 – Arte para processo de serigrafia.

Com as cores determinadas, os fotolitos, conforme ilustrado na Figura 7, são produzidos. Esses fotolitos têm a função de bloquear a passagem de luz durante a etapa de revelação das matrizes serigráficas, uma vez que a emulsão utilizada para sua confecção é sensível à luz e endurece na presença dela.

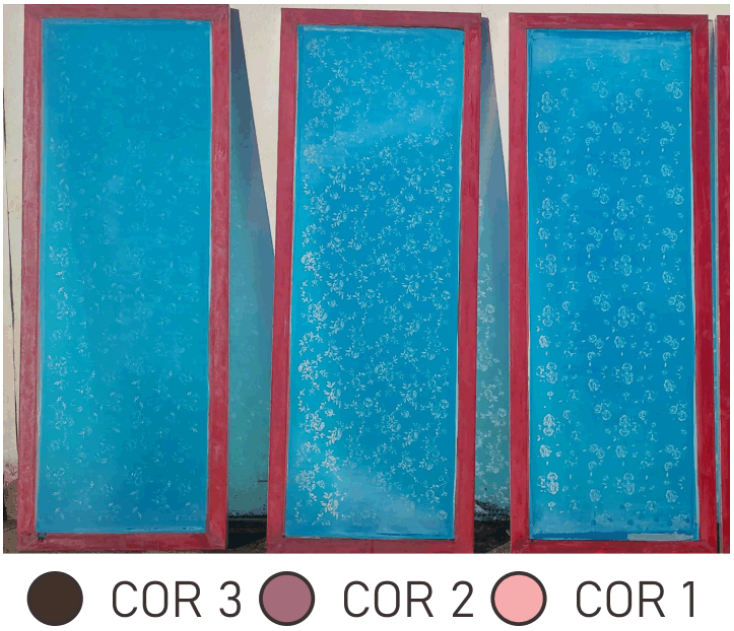

Figura 7 – Telas processo de serigrafia.

Após a preparação das matrizes serigráficas, o processo de estamparia é iniciado. Isso envolve a aplicação da tinta por meio de rodos sobre as matrizes, transferindo-a para o substrato a ser estampado. Em seguida, o substrato estampado passa pelo processo de secagem.

Após a conclusão da estamparia, qualquer excesso de tinta nas matrizes serigráficas é removido e estas são devidamente limpas e armazenadas para uso futuro.

2.2 Computação Gráfica

A Computação Gráfica tem como objetivo o estudo para o desenvolvimento de técnicas e metodologias para geração e tratamento de imagens por meio do computador. A Computação Gráfica abrange diversas áreas do conhecimento humano, desde projetos industriais até o desenvolvimento de ferramentas de realidade aumentada e simulações computacionais (MANSSOUR ISABEL E COHEN, 2006).

Com o avanço da tecnologia e popularização das linguagens de programação, existem diversas bibliotecas gráficas que podem auxiliar em projetos voltados para a área de Computação Gráfica. Por exemplo, a linguagem Java apresenta diversas bibliotecas fornecidas pelos seus desenvolvedores como, `java.awt.image` e `java.awt.color`, com o intuito de tornar possível o tratamento de imagens, realizando alterações e criando imagens, por meio de aplicações.

2.2.1 Bibliotecas

Devido à ampla adoção da linguagem Java, é possível encontrar uma vasta gama de bibliotecas desenvolvidas para auxiliar em projetos diversos, tanto por programadores independentes quanto pelos próprios desenvolvedores da linguagem. Dentro desse contexto, destacam-se duas bibliotecas de relevância significativa no âmbito da computação gráfica: `java.awt.image` e `java.awt.color`.

A biblioteca `java.awt.image` oferece classes para criação e manipulação de imagens. Com uma estrutura que engloba produtores de imagens, filtros e processadores, é possível processar imagens em aplicações Java. Além disso, ela possibilita renderização, modificação de atributos e regeneração de imagens, oferecendo uma variedade de produtores, consumidores e filtros que podem ser configurados conforme a necessidade de processamento de imagem (ORACLE, 2020b).

Por sua vez, a biblioteca `java.awt.color` consiste em um conjunto de classes que fornecem recursos para encapsular e identificar cores no espaço de cores RGB. Cada cor é representada por valores de opacidade e pela escala RGB (vermelho, verde e azul). Esta biblioteca viabiliza a detecção e criação de cores, permitindo a geração de valores no intervalo de 0 a 255 para cada uma das três cores primárias (vermelho, verde e azul). Assim, é possível identificar cores em imagens e realizar a substituição de uma cor específica por outra, conforme necessário (ORACLE, 2020a).

2.2.2 Processamento de cores na Imagem

A imagem na computação gráfica é composta por *pixels* (*picture element* ou *pel*). O *pixel* normalmente apresenta uma forma quadrada ou retangular, com dimensões finitas na

representação de uma imagem digital (GOMIDE JOAO E ARAúJO, 2010). Uma imagem subdividida em *pixels* pode ser visualizada por meio da Figura 8.

Um *pixel* é uma unidade fundamental na representação de imagens digitais, cuja definição varia dependendo do contexto. Geralmente interpretado como um pequeno quadrado, uma amostra pontual de uma função contínua, um borrão difuso, uma quantização de intensidade, uma projeção do espectro de cores ou uma técnica de destruição de informação, o conceito de *pixel* abrange várias abordagens. Na computação gráfica em 2D, um *pixel* é considerado como um ponto discreto em uma grade retangular de *pixels* em uma tela de computador ou outro dispositivo de exibição. Cada *pixel* é atribuído com informações de cor e intensidade, formando assim a imagem visualizada. Sua manipulação é essencial para a criação de gráficos, imagens e interfaces de usuário em uma variedade de aplicativos e ambientes digitais (BLINN, 2005).

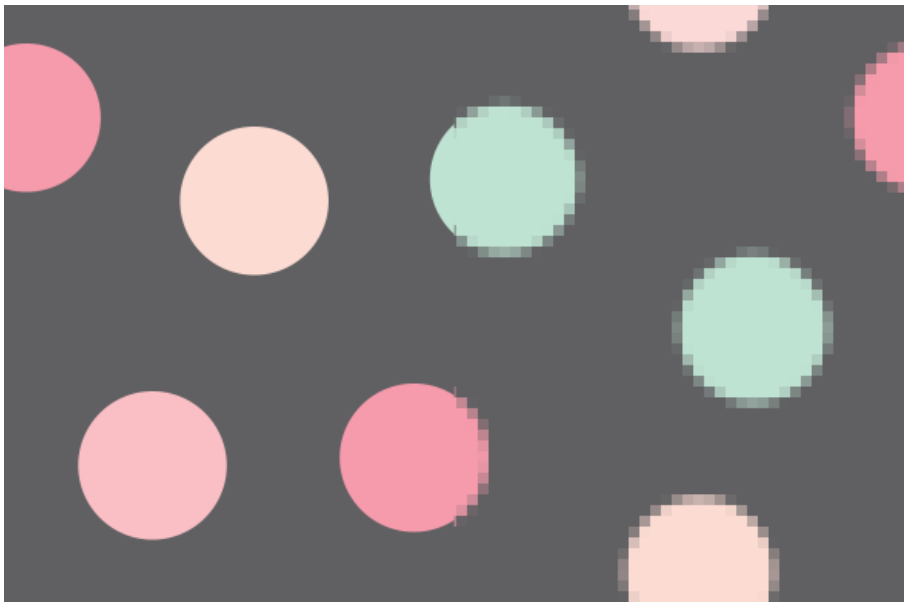

Figura 8 – Pixels em imagens.

O princípio de reflexão da luz é essencial para entender a percepção das cores em imagens digitais. Quando a luz incide em uma superfície, parte dela é refletida de volta para o observador. Esse processo é governado por leis físicas, como a Lei de Snell e a Lei da Reflexão. Essas leis descrevem como a luz se comporta ao incidir e refletir em diferentes tipos de superfícies, influenciando diretamente a aparência das cores em uma imagem (HUGHES et al., 2013).

O comprimento de onda da luz desempenha um papel crucial na determinação da cor que percebemos. A luz visível consiste em uma ampla gama de comprimentos de onda, cada um correspondendo a uma cor específica (LEE, 2005).

No contexto digital, o modelo de cor RGB (*Red*, *Green*, *Blue*) desempenha um papel fundamental na representação e manipulação de cores em imagens. Originado da combinação de três componentes primárias - vermelho, verde e azul - esse modelo é amplamente utilizado em dispositivos e sistemas digitais, onde cada componente representa uma intensi-

dade específica de luz. Essas intensidades são combinadas de forma aditiva para criar uma ampla gama de cores visíveis ao olho humano. O modelo RGB é essencial para a reprodução precisa de cores em monitores de computador, televisores e em softwares de edição de imagem, destacando-se como uma abordagem central no processamento digital de imagens (GONZALEZ; WOODS, 2018).

Por meio do conceito de *pixel* é possível tratar imagens como matrizes compostas por *pixels* (Figura 9). Dessa forma é possível identificar as cores presentes em cada *pixel*, por meio da escala de cor RGB, e posteriormente, identificar a cor em cada ponto da matriz de *pixels* (imagem). Na Figura 9, é possível visualizar a posição de cada *pixel* na matriz, identificando a posição no eixo vertical e eixo horizontal.

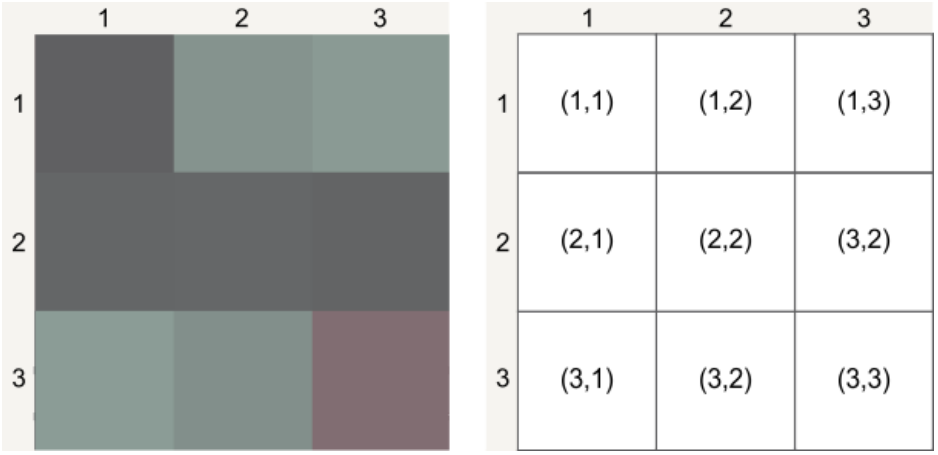

Figura 9 – Pixel em imagem

Por meio das dimensões do *pixel* de uma imagem é possível identificar a área de cada *pixel*, onde posteriormente pode ser comparada com a área total da imagem.

Os *pixels* das imagens utilizadas ao longo do projeto possuem forma geométrica quadrada, Figura 10, logo para se calcular a área dos *pixels* foi utilizada a Equação (2.1).

$$a = l^2, \tag{2.1}$$

Em que, a representa a área do *pixel* e l representa a dimensão do lado do *pixel*.

As imagens que serão utilizadas no presente projeto possuem forma geométrica retangular, Figura 11, desta forma foi calculada a área da imagem conforme a Equação (2.2).

$$A = CL, \tag{2.2}$$

Em que, A representa a área da imagem em que será baseada a estampa, C representa o comprimento da imagem, e L representa a largura da imagem.

Com base nas Equações (2.1) e (2.2) é possível identificar qual a porcentagem da área de cada *pixel* em relação a área total da imagem, conforme mostra a Equação (2.3).

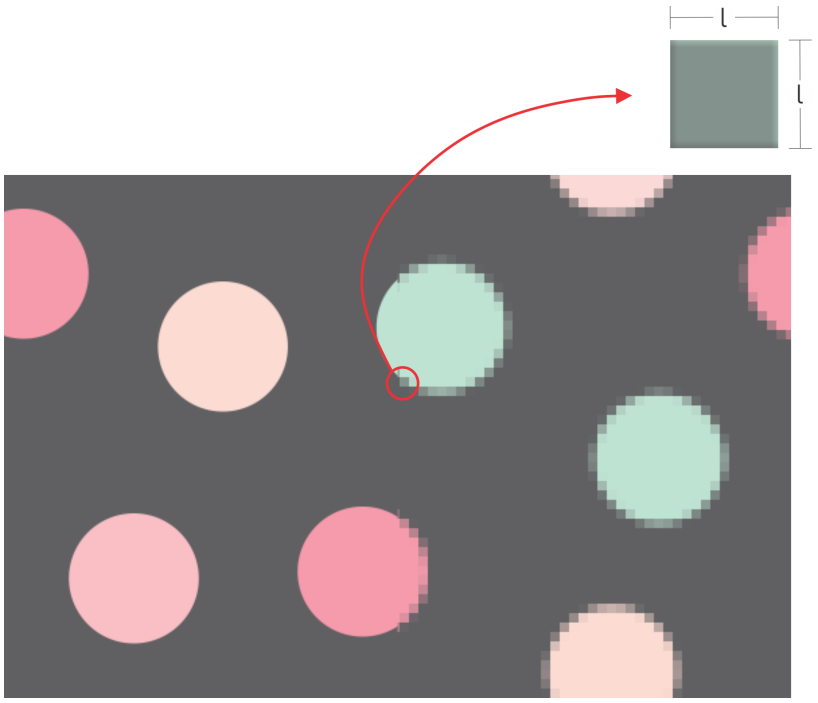

Figura 10 – Área de um pixel

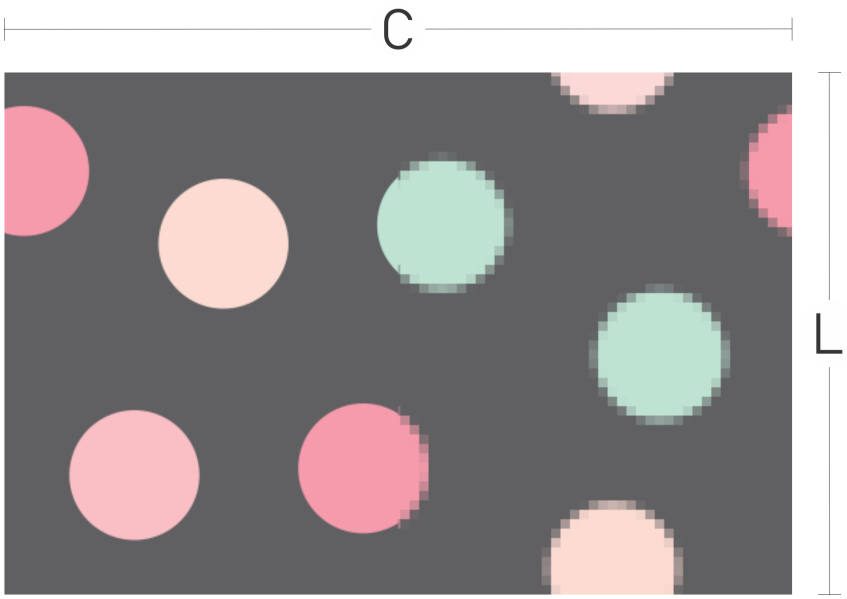

Figura 11 – Área total da imagem.

$$P = \frac{100a}{A}, \tag{2.3}$$

Em que, P representa o valor da área de um *pixel* em relação a área total da imagem, A representa a área da imagem em que será baseada a estampa, e a representa a área do *pixel*.

Por meio do software proposto nessa dissertação, é possível detectar a cor presente em cada pixel por meio da escala RGB, podendo assim identificar a área de uma cor específica por meio da soma da área de todos os *pixels* que apresentam determinada cor, desta forma

temos a Equação (2.4).

$$AC = \sum ac, \tag{2.4}$$

Em que, AC representa a área da cor presente na imagem, e $\sum ac$ representa o somatório da área de todos pixels que apresentam a cor determinada.

Para localizar a porcentagem da área de determinada cor em relação a área total da imagem, Figura 12, pode-se utilizar as Equações (2.3) e (2.4) para assim obter a Equação (2.5).

$$Pc = \frac{100AC}{A}, \tag{2.5}$$

Em que, AC representa a área de determinada cor presente na imagem, e A representa a área da imagem em que será baseada a estampa, e Pc representa a porcentagem da área de determinada cor em relação a área total da imagem.

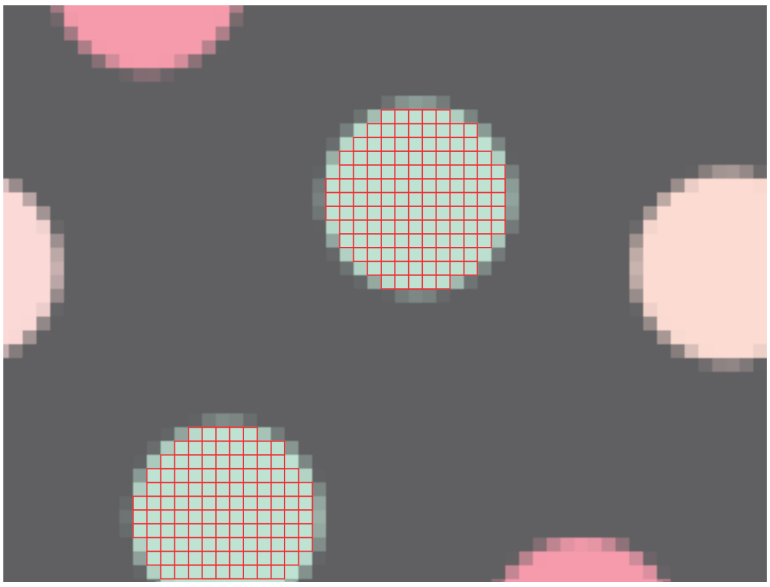

Figura 12 – Pixels de mesma cor.

2.3 Trabalhos Relacionados

Com o intuito de encontrar informações sobre tecnologias e soluções relacionadas à demanda apresentada, foram realizadas pesquisas voltadas para a área de softwares e processos.

Diversos softwares especializados desempenham papéis cruciais na estamparia têxtil. O AccuRIP (PRINTERS, 2024), desenvolvido pela Freehand Graphics, é uma ferramenta focada em otimizar a qualidade de impressão em serigrafia. O PrintFactory (FACTORY, 2024), da PrintFactory, é reconhecido por sua versatilidade em várias formas de impressão, incluindo serigrafia. Sua capacidade de integração com diferentes processos e sua interface amigável o tornam uma escolha popular na indústria. Da mesma forma, o EasySIGN (SIGN, 2024), desenvolvido pela EasySIGN, destaca-se por fornecer ferramentas essenciais para *design* e produção, contribuindo para a eficiência do processo de estamparia. Cada um desses softwares oferece soluções específicas para desafios particulares enfrentados pela indústria têxtil, evidenciando a importância dessas ferramentas na otimização dos processos.

O APFill (AVPSOFT, 2020) é um software projetado para ajudar na gestão eficiente do consumo de tinta em impressoras e copiadoras, sendo especialmente útil em ambientes nos quais a economia de tinta é uma preocupação, como empresas de impressão, editoras, estúdios gráficos e outros setores que dependem fortemente de impressões. A principal função do APFill é calcular a quantidade precisa de tinta necessária para imprimir uma determinada quantidade de páginas ou área de impressão. Isso é feito considerando diversos fatores, como o tipo de papel utilizado, a resolução de impressão, as configurações da impressora e as características específicas do trabalho de impressão em questão.

A pesquisa destacou a importância de adotar tecnologias avançadas na estamparia têxtil. À medida que o mercado evolui e as demandas por eficiência e qualidade aumentam, o investimento em tecnologia adequada se torna um diferencial competitivo fundamental para as empresas do setor.

2.4 Considerações Parciais

Neste capítulo foram apresentados os conceitos gerais e a revisão da literatura para o desenvolvimento do presente trabalho. Foi definida a linguagem de programação que será utilizada ao longo do projeto para criação do software de predição de consumo de tinta, assim como apresentada as ferramentas para tratamento de cor e imagens.

Através deste capítulo foi apresentado o conceito de imagens em computação gráfica, demonstrando suas características e funcionamento de forma geral. Além de apresentar conceitos de formação de imagens e a definição dos *pixels*.

Foram apresentados os cálculos matemáticos que foram utilizados para guiar o presente trabalho, levando em consideração área estampada do desenho e porcentagem da área total do desenho que passará pelo processo de serigrafia.

Por fim, é apresentada a pesquisa relacionada às tecnologias presentes no mercado

da estamparia têxtil, demonstrando as inovações no setor e a utilização de ferramentas para otimização de processos.

3 Descrição da Solução Proposta

Esse capítulo descreve a solução proposta para o cálculo de previsão de consumo de tinta no processo de serigrafia, além das soluções propostas para abordar todos objetivos apresentados no Capítulo 1. Para tal, este capítulo apresenta também as etapas de desenvolvimento da solução proposta. O capítulo foi dividido da seguinte maneira: inicialmente serão abordados os cálculos em que foram baseados a solução proposta; posteriormente, serão detalhados os aspectos práticos e técnicos do desenvolvimento da ferramenta para sintetização e apresentação dos dados. Por fim, será abordada a interface do usuário, concluindo assim o desenvolvimento do projeto.

3.1 Cálculo da Massa de Tinta com Base na Área Estampada

Por meio de análise de imagem, é possível identificar o número de todas as cores que estão presentes em uma estampa, sendo a cor do substrato (tecido/malha à ser estampado) a única cor que não será contabilizada no processo de estamparia.

Através da medição da área de cada cor presente na imagem, é possível quantificar a área do tecido estampada por cada cor, a qual pode ser definida por meio da Equação (3.1).

$$Ae = At - Ane, \tag{3.1}$$

Em que, Ae representa a área da imagem que passará pelo processo de estamparia, At representa a área total da imagem, e Ane representa a área que não passará pelo processo de estamparia.

Um exemplo de imagem para o processo de serigrafia pode ser visto na Figura 13, a qual possui 5 cores. Das cores apresentadas, a cor branca faz referência a cor do substrato (tecido/malha à ser estampado), não sendo levada em consideração no processo de estamparia.

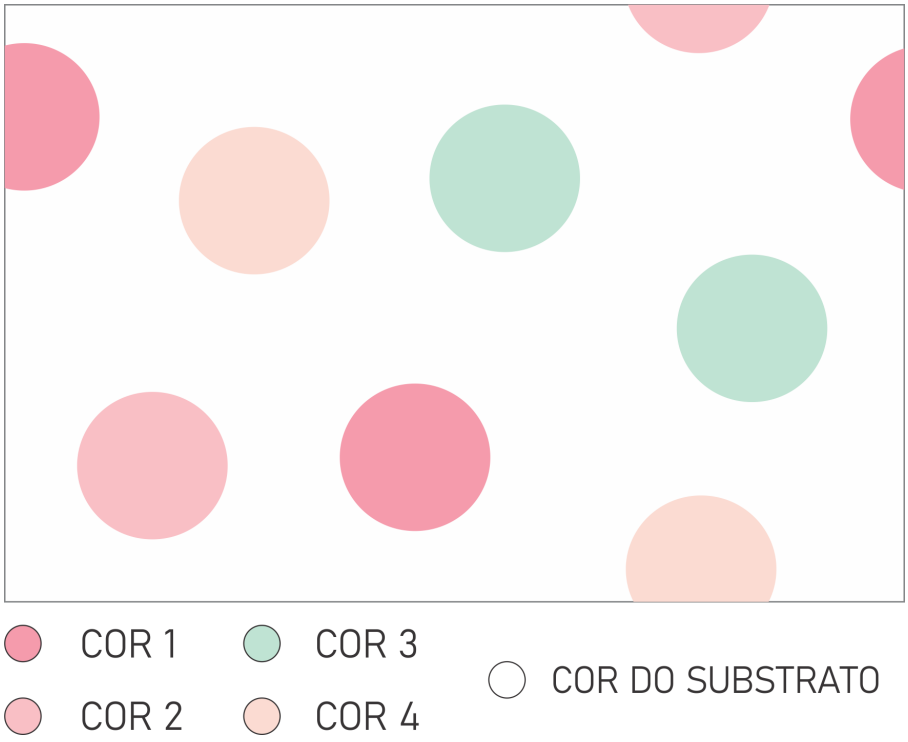

Figura 13 – Desenho - Processo de serigrafia.

Com auxílio da Tabela 1, apresentada na Seção 2.1, é possível identificar alguns dados importantes a respeito dos tecidos de poliéster utilizados para confecção de matrizes serigráficas, Figura 1.

Um desses dados é o volume teórico de tinta, responsável por demonstrar numericamente o volume de tinta que transpassa o tecido de poliéster, em centímetros cúbicos, por metro quadrado. Analisando o volume teórico de tinta juntamente com a área estampada é possível observar o volume total gasto para realizar a estampa, como mostra a Equação (3.2).

$$Vte = VtAe, \tag{3.2}$$

Em que, Vte representa o volume total referente ao consumo de tinta para estampar a imagem que passará pelo processo de análise, Vt representa o volume teórico, baseado na Tabela 1, e Ae representa a área que passará pelo processo de estamparia.

Com o objetivo de trazer informações em medidas usuais em processos de estamparia foi introduzido o conceito de densidade, como mostra a Equação (3.3).

$$d = \frac{m}{v}, \tag{3.3}$$

Em que, d representa a densidade da tinta utilizada no processo de estamparia, m representa a massa da tinta utilizada, e v representa o volume de tinta consumido ao longo do processo de estamparia.

Por meio da Equação (3.4) é possível apresentar a massa de tinta gasta durante o processo de estamparia.

$$Mte = dtVte, \tag{3.4}$$

Em que, Mte representa a massa de tinta consumida ao longo do processo de estamparia, dt representa a densidade da tinta utilizada no processo de serigrafia, e Vte representa o volume referente ao consumo de tinta para estampar a imagem apresentada.

A partir das Equações apresentadas ao longo da Seção 3.1, torna-se possível agregar dados e informações ao processo de estamparia, auxiliando no processo de predição a respeito do consumo de tinta, como mostra a Equação (3.5).

$$Mte = d(Vt(Ae\frac{AC}{A}))), \tag{3.5}$$

Em que, Mte representa a massa de tinta consumida ao longo do processo de estamparia, d representa a densidade da tinta utilizada no processo de serigrafia, Vt representa o volume teórico de tinta por unidade de área, Ae representa a área total que passará pelo processo de estamparia, AC representa a área coberta por tinta na estampa apresentada e A representa a área total da estampa.

3.2 Etapas para a Predição do Consumo de Tinta

O processo de predição é composto por várias etapas até a apresentação do resultado final, entregue por meio de um software desenvolvido para este fim. A iterações entre as oito etapas são nomeadas de A até H e são apresentadas a seguir e detalhadas na sequência desta seção:

- Etapa A: Escolha da imagem a ser estampada;
- Etapa B: Cálculo da área da imagem que passará pelo processo de estamparia;
- Etapa C: Cálculo da porcentagem de cada cor presente na estampa;
- Etapa D: Definição das informações a respeito do substrato que passará pelo processo de estamparia;
- Etapa E: Inserção das informações a respeito da tinta utilizada ao longo do processo;
- Etapa F: Definição da matriz serigráfica a ser utilizada;
- Etapa G: Cálculo para o processo de predição;
- Etapa H: Etapa de apresentação dos dados.

As Seções 3.2.1 à 3.2.8 apresentam detalhes de cada uma das etapas para a solução proposta.

3.2.1 Etapa A: Escolha da Imagem a ser Estampada

Essa etapa tem como objetivo possibilitar que o usuário acesse seus arquivos e escolha a imagem que será utilizada como base para cálculo do processo de estamparia. Para um cálculo mais preciso a imagem inserida no software deve possuir as mesmas dimensões da matriz serigráfica que será utilizada ao longo do processo de estamparia.

A principal biblioteca responsável por carregar a imagem no software foi a `java.io`, biblioteca nativa da linguagem JAVA, por meio da utilização da classe `file`, carregando assim, arquivos em formato de imagem.

A Etapa A é apresentada ao usuário da ferramenta na tela inicial, conforme pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Etapa A - ferramenta para predição.

O pseudocódigo que resume a Etapa A pode ser visto por meio do Algoritmo 1.

Algoritmo 1 Carregar Imagem

```
1: function CARREGARIMAGEM
2:     arquivo ← selecionarArquivo()        ▷ Usuário seleciona a imagem
3:     imagem ← lerImagem(arquivo)          ▷ Carrega a imagem selecionada
4:     return imagem
5: end function
```

3.2.2 Etapa B: Cálculo da área da imagem que passará pelo processo de estamparia

Nessa etapa os dados são baseados na imagem escolhida na Etapa A. O primeiro passo é calcular todos os *pixels* que tenham cor diferente da cor do substrato, caso não identificada a cor do substrato pelo usuário é definida a cor branca como cor do substrato, como descrito na Seção 3.1.

Para calcular e quantificar a área estampada com base nos *pixels* foram utilizadas bibliotecas nativas da linguagem JAVA. Inicialmente foi utilizada a biblioteca `java.awt.image`,

responsável por identificar os *pixels* na imagem carregada durante a Etapa A. Por meio da biblioteca `java.awt.image` é possível selecionar qualquer *pixel* da imagem carregada, os parâmetros de entrada para seleção do *pixel* são a posição vertical e posição horizontal do *pixel*. Posteriormente é possível analisar a cor do *pixel* selecionado por meio da biblioteca `java.awt,color`, onde o parâmetro de entrada é o *pixel* selecionado por meio da biblioteca `java.awt.image`, e o retorno condiz a cor apresentada pelo *pixel* na escala RGB.

Com o intuito de quantificar toda a área estampada, o software realiza a análise de todos os *pixels* da imagem, armazenando dados como cor e área do *pixel*.

Ao longo desta etapa são armazenadas informações importantes no processo de predição do consumo de tinta, como:

- Largura da imagem inserida (valor obtido por meio de bibliotecas);
- Comprimento da imagem inserida (valor obtido por meio de bibliotecas);
- Área total da imagem inserida (valor obtidos por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Número de *pixels* da imagem inserida (valor obtido por funções na ferramenta);
- Número de cores na imagem inserida (valor obtido por funções na ferramenta);
- Número de *pixels* de cada cor da imagem inserida (valor obtido por funções na ferramenta);
- Área total de cada cor presente na imagem (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta).

O pseudocódigo que resume a Etapa B pode ser visto por meio do Algoritmo 2.

Algoritmo 2 Calcular Área Estampada

1: **function** CALCULARAREAESTAMPADA($imagem$)
2: $areaTotal \leftarrow calcularAreaTotal(imagem)$ ▷ Calcula a área total da imagem
3: $pixelsColoridos \leftarrow contarColoridos(corSubstrato)$ ▷ Cores diferente do substrato
4: $areaEstampada \leftarrow \frac{pixelsColoridos}{totalPixels} \times areaTotal$ ▷ Calcula a área estampada
5: **return** $areaEstampada$
6: **end function**

3.2.3 Etapa C: Cálculo da Porcentagem de cada Cor presente na Estampa

Com os dados obtidos na Etapa B torna-se possível analisar a porcentagem da área estampada da imagem em relação a área total. Este dado é de extrema relevância ao longo do processo uma vez que o tamanho do substrato que será estampado pode variar.

Por meio dos dados obtidos é possível agregar mais informações ao processo de predição, sendo elas:

- Percentual relacionado a cada cor em relação a área total da imagem (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Lista das cores presentes na imagem ordenada pela porcentagem em relação a área total da imagem (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta).

Para tornar mais simples o entendimento por parte do usuário, o software apresenta uma interface com as cores presentes na imagem que passarão pelo processo de estamparia por meio de gráficos de barra. Dessa forma, é possível ver a porcentagem de cada cor (de 0 até 100%) em relação a área total e as cores que foram encontradas ao longo da imagem. Essa etapa pode ser vista na ferramenta conforme mostra a Figura 15.

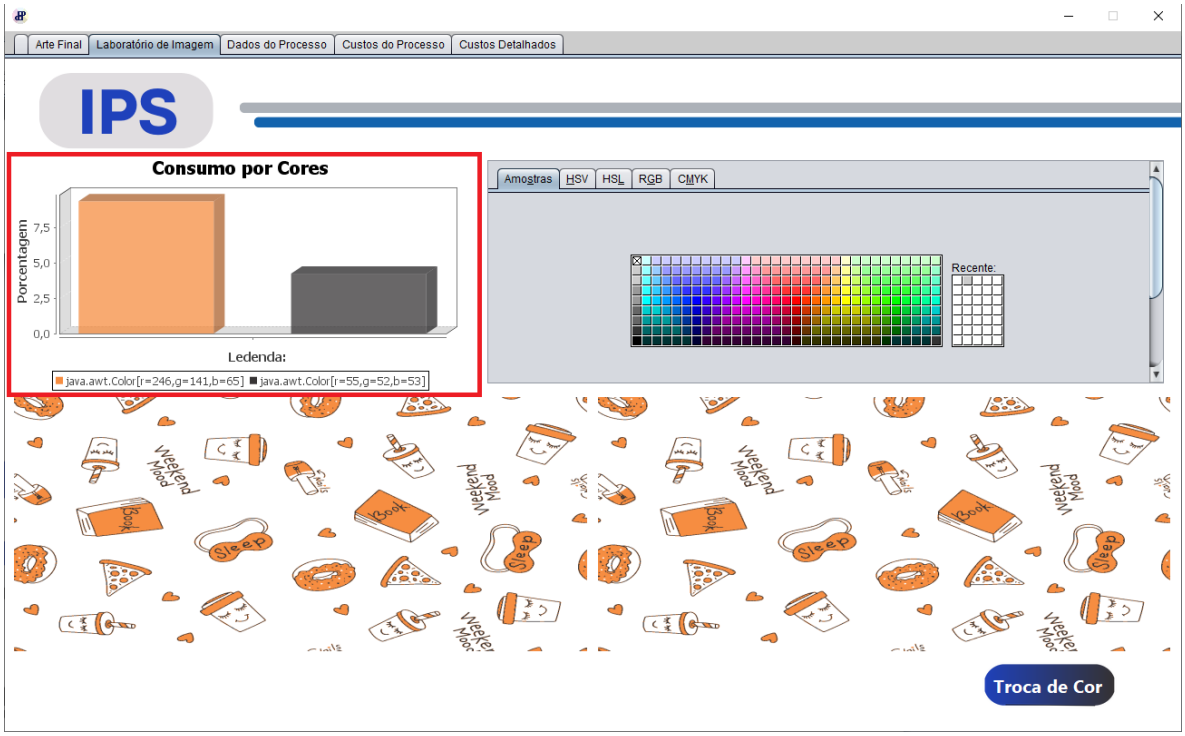

Figura 15 – Etapa C - porcentagem de cores.

O pseudocódigo que resume a Etapa C pode ser visto por meio do Algoritmo 3.

Algoritmo 3 Calcular Porcentagem de Cores

```
1: function CALCULARPORCENTAGEMCORES(imagem)
2:     cores ← extrairCores(imagem)          ▷ Extrai as cores presentes na imagem
3:     porcentagens ← calcularPorcentagem(cores)    ▷ Calcula a porcentagem de cada cor
4:     return porcentagens
5: end function
```

3.2.4 Etapa D: Definição das Informações a Respeito do substrato que passará pelo Processo de Estamparia

Ao longo dessa etapa são inseridos dados pelo usuário para obtenção de informações a respeito do substrato que passará pelo processo de estamparia. Como visto na Seção

2.1 existem vários tipos de substratos, podendo ter gramatura, peso, largura e comprimento diferentes.

Após a inserção das informações por parte do usuário como: gramatura, largura e peso do substrato, aplicando as equações definidas, é possível obter as seguintes informações:

- Comprimento do substrato que passará pelo processo (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Área do substrato que passará pelo processo, Fórmula 3.1 (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta).

A Figura 16 apresenta a visão do usuário no sistema da etapa em questão.

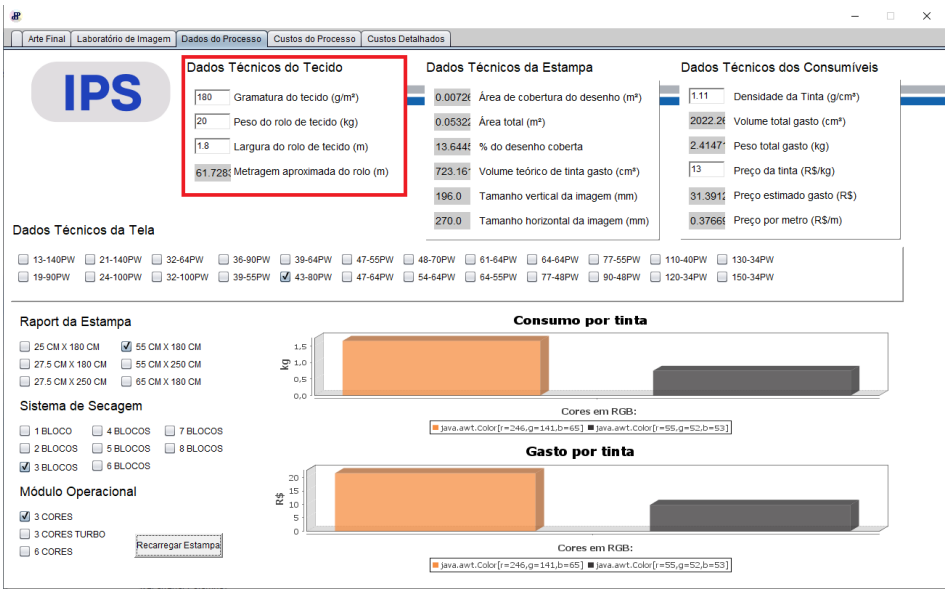

Figura 16 – Etapa D - dados do substrato.

O pseudocódigo que resume a Etapa D pode ser visto por meio do Algoritmo 4.

Algoritmo 4 Inserir Dados do Substrato

```
1: function INSERIRDADOSSUBSTRATO
2:     gramatura ← solicitarGramatura()      ▷ Usuário insere a gramatura do substrato
3:     largura ← solicitarLargura()          ▷ Usuário insere a largura do substrato
4:     peso ← solicitarPeso()                ▷ Usuário insere o peso do substrato
5:     return gramatura, largura, peso
6: end function
```

3.2.5 Etapa E: Inserção das informações a respeito da tinta utilizada ao longo do processo

Dados a respeito da tinta são de extrema importância no processo de predição. A maioria das tintas utilizadas ao longo do processo é feita pela mesma pasta base, variando os pigmentos para criar as cores conforme necessário, logo as propriedades das tintas são muito

parecidas. Entretanto existem tintas específicas com propriedades diferentes, permitinido assim que o usuário altere as informações conforme necessário. Alguns dados importantes obtidos ao longo desta etapa:

- Densidade da tinta, Fórmula 3.3 (valor inserido pelo usuário);
- Preço do kg da tinta (valor inserido pelo usuário).

Por meio da Figura 17 é possível visualizar a área de inserção dos dados relacionados a tinta que será utilizada no processo de serigrafia.

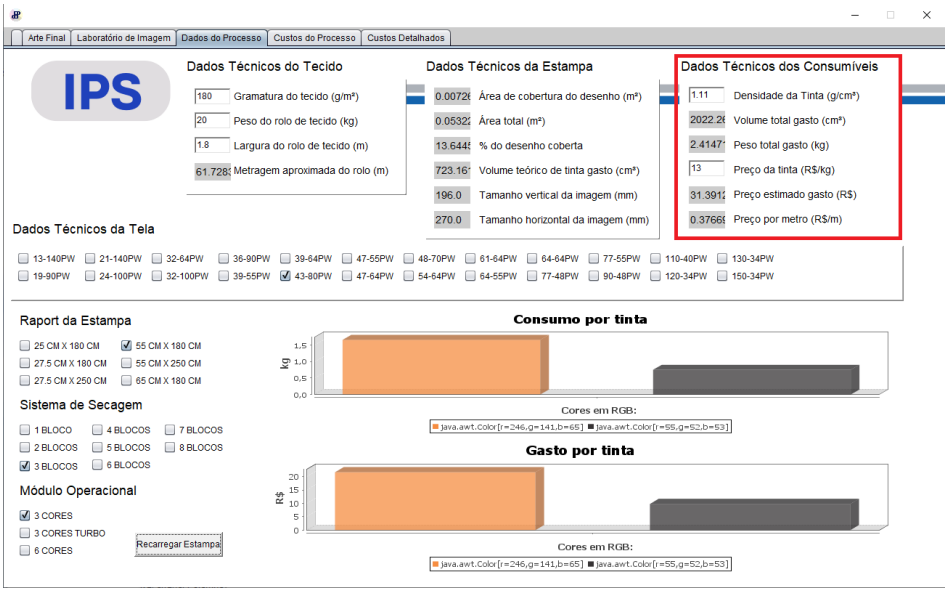

Figura 17 – Etapa E - dados da tinta.

O pseudocódigo que resume a Etapa E pode ser visto por meio do Algoritmo 5.

Algoritmo 5 Inserir Dados da Tinta

```
1: function INSERIRDADOSTINTA
2:     densidade ← solicitarDensidade()      ▷ Usuário insere a densidade da tinta
3:     precoKg ← solicitarPrecoKg()          ▷ Usuário insere o preço do kg da tinta
4:     return densidade, precoKg
5: end function
```

3.2.6 Etapa F: Definição da matriz serigráfica a ser utilizada

A matriz serigráfica é uma ferramenta com alta importância ao longo do processo de serigrafia. Por meio da matriz é possível alterar, aumentar ou diminuir, a quantidade de tinta que será utilizada ao longo do processo, conforme apresentado na Seção 2.1.

Dado obtido por meio desta etapa:

- Centímetro cúbico de tinta gasto por metro quadrado (valor armazenado na ferramenta com base na Tabela 1).

Para seleção da tela da matriz serigráfica a ser utilizada, o usuário pode selecionar a informação por meio da ferramenta de predição, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Etapa F - seleção da tela da matriz serigráfica.

O pseudocódigo que resume a Etapa F pode ser visto por meio do Algoritmo 6.

Algoritmo 6 Selecionar Matriz Serigráfica

```
1: function SELECIONARMATRIZSERIGRAFICA
2:     tela ← solicitarTela()          ▷ Usuário seleciona a tela da matriz serigráfica
3:     return tela
4: end function
```

3.2.7 Etapa G: Cálculo para o processo de predição

Nessa etapa são utilizados os dados obtidos por meio das etapas anteriores para calcular a massa ou volume de tinta que será gasto ao longo do processo de estamparia. Os cálculos matemáticos utilizados para embasar o processo de predição podem ser visualizados ao longo da Seção 3.1.

Informações retornadas pelo software:

- Consumo de tinta total, Fórmula 3.3 (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Consumo de tinta por metro linear de substrato (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Consumo de tinta por kilograma de substrato (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);

- Custo de tinta total (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Custo de tinta por metro linear de substrato (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Custo de tinta por kilograma de substrato (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Consumo de tinta por cor (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta);
- Custo de tinta por cor (valor obtido por meio de cálculos matemáticos na ferramenta).

O pseudocódigo que resume a Etapa G pode ser visto por meio do Algoritmo 7.

Algoritmo 7 Calcular Predição

1: **function** CALCULARPREDICAO($areaEstampada, densidade, precoKg, tela$)
2: $consumoTotal \leftarrow calcularConsumoTotal(areaEstampada, densidade, tela)$ ▷ Calcula o consumo total de tinta
3: $custoTotal \leftarrow calcularCustoTotal(consumoTotal, precoKg)$ ▷ Calcula o custo total de tinta
4: **return** $consumoTotal, custoTotal$
5: **end function**

3.2.8 Etapa H: Etapa de apresentação dos dados

Por meio desta etapa o usuário pode visualizar os dados e as informações a respeito do processo de forma simples e intuitiva, podendo analisar os valores de consumo de tinta em grama e o custo com tinta para execução do processo de estamparia.

Na Figura 19 são apresentados os dados obtidos por meio das etapas através de um gráfico em barras, podendo assim visualizar o consumo e custo de cada cor separadamente, bem como o consumo total.

O pseudocódigo que resume a Etapa H pode ser visto por meio do Algoritmo 7.

Algoritmo 8 Apresentar Dados

1: **procedure** APRESENTARDADOS($consumoTotal, custoTotal$)
2: $exibirGraficoBarras(consumoTotal, custoTotal)$ ▷ Exibe um gráfico de barras com os dados
3: **end procedure**

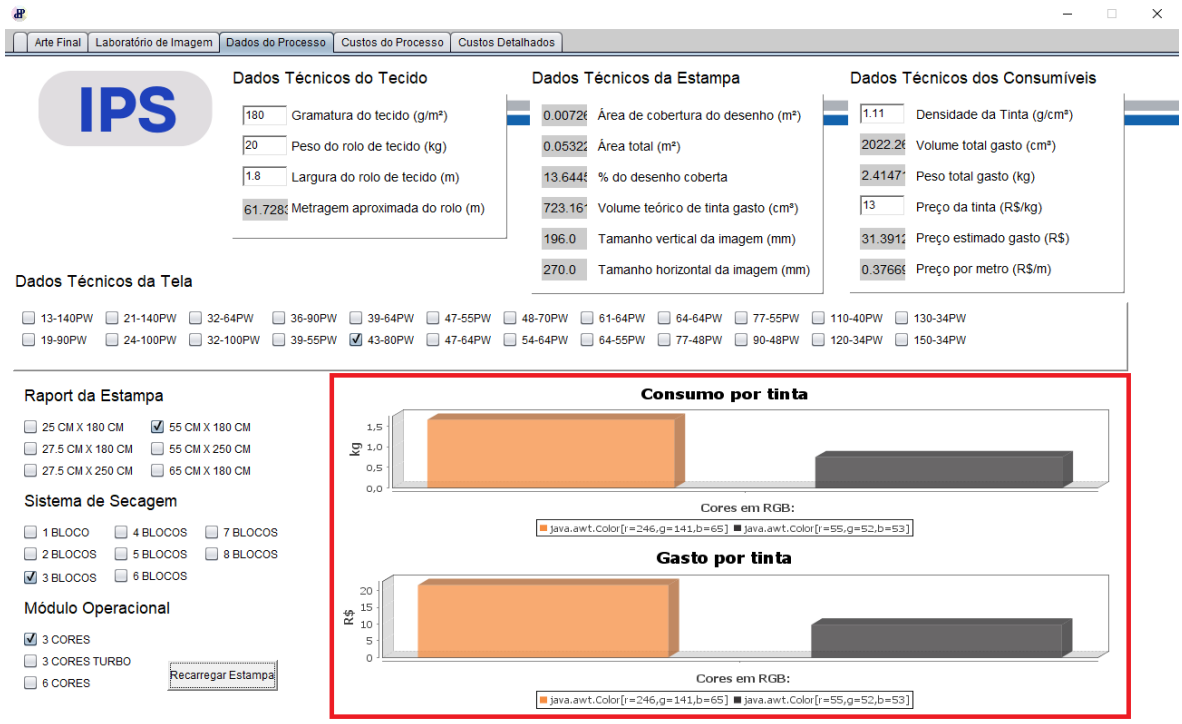

Figura 19 – Etapa I - dados de consumo e custo.

4 Estudo de Caso e Resultados

Este capítulo apresenta os experimentos realizados em ambiente real com o objetivo de confrontar os resultados com a solução proposta. A metodologia usada para validar o trabalho tem como base experimentos feitos durante o processo de estamparia, onde o processo foi realizado por meio de equipamentos automáticos, utilizando sempre os mesmos parâmetros em todos os testes. Dessa forma, foi possível a coleta de dados por meio de medições de consumo de tinta no início do processo e posteriormente no final, mantendo sempre o mesmo padrão. Após coletados, os dados foram comparados aos dados gerados pelo software.

Nos experimentos realizados foi levado em consideração: o número de fios por centímetro e a largura do fio utilizado para a confecção da matriz serigráfica. Testes foram realizados com o intuito de obter as perdas de tinta que ficam na matriz serigráfica ao fim do processo, além de testes com o intuito de validar os dados gerados por meio do software e realizar a comparação com os dados obtidos ao longo do processo.

Os testes foram realizados em duas estamparias do ramo da indústria têxtil, localizadas em Muriaé-MG e Itaperuna-RJ. Os testes utilizaram de equipamento automático para realização do processo de serigrafia, modelo similar ao apresentado na Figura 2. O conjunto de testes englobou cerca de 8000 m^2 de tecidos estampados (aproximadamente 1 tonelada de tecido), 20 artes de estampas e 55 kg de tinta . Os testes foram realizados entre os dias 01/02/2023 e 20/06/2023, utilizando diversas cores de tintas, matrizes serigráficas e tipos de substratos com diversos tamanhos e medidas que passaram pelo processo.

Ao simular os testes no software o tempo de reposta dos dados foram inferiores a 3 segundos, para isso foi utilizado um computador com as seguintes configurações:

- Processador: Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @3.4GHz;
- Memória Instalada (RAM): 16 GB;
- Sistema Operacional de 64 bits.

Dentre os testes voltados para a validação da ferramenta foi de extrema importância a comparação do cálculo de área da ferramenta proposta com o software apresentado ao longo da Seção 2.3, APFill, uma vez que a predição do consumo de tinta está ligada diretamente a área estampada. Assim foi possível realizar a análise carregando a imagem em ambos os softwares e fazendo a leitura dos dados da área do desenho coberta por cores diferente da cor branca, validando assim o algoritmo utilizado para mensurar a área da imagem.

4.1 Experimento I - Validação do Algoritmo

O experimento I buscou validar o algoritmo responsável pelo cálculo da área de pintura do processo serigráfico, desta forma poderia ser realizada a predição de várias artes sempre

com base neste dado.

Com o intuito de comparar os dados foi utilizado o software APFill Ink&Toner Coverage Meter, software voltado para impressão em impressoras, onde por meio de uma imagem busca todos os *pixels* que não são compostos pela cor branca e, posteriormente, retorna a porcentagem em relação a imagem que é composta por cores diferente de branco (AVPSOFT, 2020).

Foram realizados um total de 8 testes comparando a porcentagem da área, em relação a área total, ocupada por qualquer cor diferente da cor branca. Os resultados são apresentados na Tabela 3. As imagens utilizadas para testes podem ser vistas ao longo da Figura 20.

Tabela 3 – APFill Ink&Toner Coverage Meter versus Software proposto.

Testes	APFill Ink&Toner Coverage Meter	Software proposto
Teste 1	19.48 %	19.48%
Teste 2	8.58 %	8.58%
Teste 3	14.24 %	14.24%
Teste 4	7.60%	7.60%
Teste 5	17.13 %	17.13%
Teste 6	3.35 %	3.35%
Teste 7	21.31 %	21.31%
Teste 8	50.42 %	50.42%

É válido ressaltar que o teste tinha sua temática voltada para cálculo de área, analisando a porcentagem ocupada pela área das cores diferente da cor branca em relação a área total da imagem. Como mostra a Tabela 3, os dados apresentados por ambos os softwares são idênticos em todos os casos, demonstrando a eficiência do algoritmo de análise de área do software proposto nessa dissertação quando comparado à uma ferramenta pronta e validada pelo mercado.

4.2 Experimento II - Análise da Influência da Matriz Serigráfica

O experimento II foi realizado com o intuito de analisar a influência do tecido de náilon utilizado para a fabricação da matriz serigráfica e como este altera o processo de estamparia e o consumo de tinta ao longo do processo, além de identificar a quantidade de tinta restante na matriz serigráfica após o processo.

Para executar o teste foram fabricadas duas matrizes serigráficas com a mesma arte, Figura 21, porém com tecidos diferentes. Por meio de um microscópio foram fotografadas a disposição dos fios dos tecidos utilizados na fabricação das matrizes. A Figura 22 demonstra o tecido 54-64, o qual possui um total de 54 fios por centímetro, tendo cada fio um diâmetro de 64 micrômetros. Já a Figura 23 demonstra o tecido 61-64 possuindo um total de 61 fios por centímetro, tendo cada fio um diâmetro de 64 micrômetros, diminuindo assim a distância entre os fios.

Após o processo de fabricação das matrizes estar concluído, foram inicializados os tes-

Figura 20 – Artes utilizadas para a comparação do teste de área.

Figura 21 – Arte utilizada para confecção da matriz.

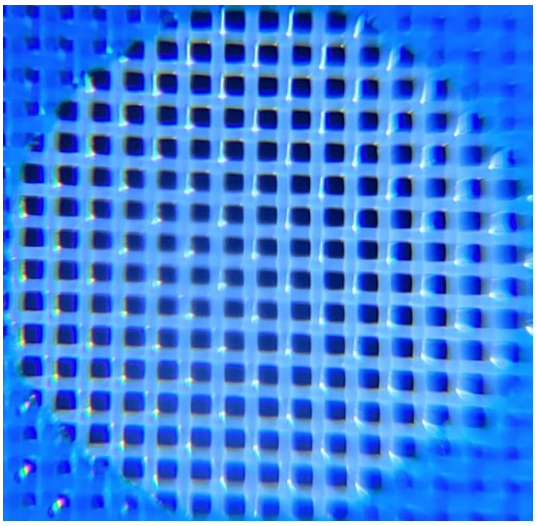

Figura 22 – Tecido 54-64.

tes no processo serigráfico. Os testes no processo serigráfico buscaram estampar a mesma quantidade de malha com as duas matrizes serigráficas para, posteriormente, comparar os dados e trazer informações relevantes a respeito da utilização dos tecidos de náilon na fabricação das matrizes. O número de amostras foi o mesmo em ambos os testes, garantindo assim uma maior precisão nos dados e tornando mais fácil o processo de comparação de consumo de tinta em ambos os processos. O número de amostras foi baseado no tamanho médio de um rolo de malha, tendo cerca de 144 metros quadrados de malha, levando em consideração a gramatura da malha de 138 g/m^2. Outro ponto relevante no teste foi a utilização da tinta com os mesmos parâmetros e coloração para ambos os procedimentos.

Com todos os parâmetros dos testes definidos e apresentados na Tabela 4, foi inicializado o processo serigráfico e posteriormente foram obtidos os dados a respeito do consumo

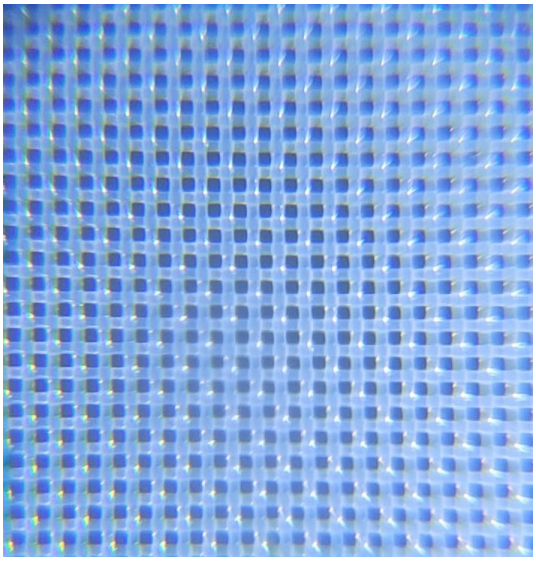

Figura 23 – Tecido 61-64.

de tinta ao longo do processo, os quais estão expostos na Tabela 5.

Tabela 4 – Parâmetros Experimento 1.

Teste 1	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 54-64.
	Tamanho da amostra	144 metros quadrados de malha.
	Tamanho da arte	170 CM x 55 CM.
Teste 2	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 61-64.
	Tamanho da amostra	144 metros quadrados de malha.
	Tamanho da arte	170 CM x 55 CM.

Tabela 5 – Resultados Experimento 1

Teste 1	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 54-64.
	Tamanho da amostra	144 metro quadrado de malha.
	Consumo de tinta	1.871 kilograma.
	Tinta restante na matriz após o processo	168 g.
Teste 2	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 61-64.
	Tamanho da amostra	144 metro quadrado de malha.
	Consumo de tinta	1.480 kilograma.
	Tinta restante na matriz após o processo	165 g.

A partir dos dados apresentados na Tabela 5 é possível extrair algumas informações a respeito da importância do náilon na confecção da matriz serigráfica. Conforme mostram os testes, a diferença de consumo de tinta entre os testes chega na faixa de 2.7 gramas por metro quadrado, totalizando 390 grama de tinta na quantidade de tecido amostrado.

É válido ressaltar mediante aos testes a quantidade de tinta presente na matriz serigráfica após a extração da tinta restante do processo, ou seja, mesmo fazendo a retirada de tinta excedente da matriz serigráfica ainda restou cerca de 170 gramas de tinta. Este teste foi realizado obtendo a massa da matriz serigráfica antes do processo e a massa da matriz serigráfica após o processo.

Posteriormente à obtenção dos dados no processo serigráfico, foram inseridos os dados de amostras no software para obter informações simuladas a respeito do processo, juntamente com a informação da quantidade de tinta restante na matriz mediante o processo serigráfico, e testar a precisão do software. Os dados inseridos a respeito do processo podem ser vistos na Tabela 6, juntamente com os resultados gerados pelo software.

Tabela 6 – Simulação via software do experimento 2.

Teste 1	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 54-64.
	Arte utilizada	Figura 2.
	Gramatura do substrato	160 grama por metro quadrado.
	Peso do substrato	24.2 kilograma.
	Largura do substrato	1.7 metro.
	Densidade da tinta	1.11 grama por centímetro cúbico.
	Tamanho da arte	170 CM x 55 CM.
	Consumo de tinta calculado	1.928 kilograma.
Teste 2	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 61-64.
	Arte utilizada	Figura 2.
	Gramatura do substrato	160 grama por metro quadrado.
	Peso do substrato	24.2 kilograma.
	Largura do substrato	1.7 metro.
	Densidade da tinta	1.11 grama por centímetro cúbico.
	Tamanho da arte	170 CM x 55 CM.
	Consumo de tinta calculado	1.523 kilograma.

Com base nos dados obtidos pela simulação do software, juntamente com os dados provenientes dos testes, é possível analisar o erro apresentado pela predição de consumo de tinta do software, conforme apresentado na Tabela 7.

Conforme apresentado na Tabela 7 o software em seu primeiro teste de predição obteve um erro de aproximadamente 3%, sendo comparado ao consumo de tinta real. Dentre os fatores que podem ser levados em consideração para descrever o erro é possível destacar:

- Gramatura do tecido: a gramatura do tecido é uma medida proveniente de uma média, sendo retirado uma amostra do rolo de malha para utilizar como base para identificar a medida da gramatura, podendo ter variações conforme a trama da malha. Como o rolo de malha é usualmente comercializado conforme seu peso, e a gramatura não é uma medida exata, pode haver uma variação da quantidade de metro linear presente em cada rolo de malha.

Tabela 7 – Dados simulação versus dados do processo.

Teste 1	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 54-64.
	Consumo de tinta calculado	1.928 kilograma.
	Consumo de tinta real	1.871 kilograma.
	Erro	3.0 %.
Teste 2	Tecido Matriz Serigráfica	Tecido de náilon 61-64.
	Consumo de tinta calculado	1.523 kilograma.
	Consumo de tinta real	1.480 kilograma.
	Erro	2.9 %.

- Processo de fabricação da matriz serigráfica: O processo de fabricação da matriz serigráfica é composto por diversas etapas, onde qualquer variação em alguma dessas etapas pode alterar a matriz serigráfica, o que posteriormente pode gerar pequenas variações no consumo de tinta.
- Tecido matriz serigráfica: o tecido utilizado para confecção da matriz serigráfica contém uma margem de erro, conforme apresenta a Tabela 1, o que pode gerar variações na predição do consumo de tinta.

Ao longo deste experimento foram retiradas informações importantes a respeito do processo de predição de consumo de tinta, por exemplo, erros que influenciam na predição, importância dos parâmetros do substrato e a importância da matriz serigráfica no processo.

4.3 Experimento III - Validar a Acurácia do Sistema Proposto

O experimento III foi realizado com o intuito de validar a acurácia da ferramenta quanto à predição de consumo de tinta. Os testes foram realizados em um período de 150 dias. No total foram estampados ao longo dos testes 1 tonelada de substratos, totalizando 8371 metros quadrados e 15 estampas diferentes. Ao longo dos testes foram utilizadas matrizes serigráficas com largura de 55 cm por até 180 cm de comprimento, com tecidos diferentes, na maioria tecidos 54-64 e 61-64, possibilitando ver a variação do consumo de tinta por conta das características do processo de fabricação da matriz. Os substratos que passaram pelo processo eram na maioria tecidos de algodão, também foram utilizados políester e viscose. Muito dos substratos desses testes eram a matéria prima utilizada para fazer pijamas, bolsas e camisas sociais.

Algumas das estampas que foram utilizadas ao longo dos testes podem ser visualizadas na Figura 24, levando em consideração diferentes porcentagens de área estampada, características e cores.

Inicialmente foram obtidos os dados referente ao consumo de tinta de cada processo, pesando as barricas de tinta no início do processo e posteriormente no final. Desta forma os dados eram catalogados juntamente com as métricas do substrato que foram utilizados ao

Figura 24 – Artes das estampas utilizadas no Experimento III.

longo do processo como, peso, metragem linear do substrato e referência do teste. A Tabela 8 mostra os dados obtidos ao longo do processo.

Posteriormente as estampas foram inseridas na ferramenta para que fosse possível analisar os dados proveninetes da predição do consumo de tinta. Neste ponto foi importante á especificações das dimensões do substrato, o que está ligado diretamente ao consumo de tinta durante o processo. A Tabela 9 demonstra os dados obtidos por meio da ferramenta de predição, juntamente com a referência do teste analisado. A Tabela 9 demonstra na coluna 2 o erro da ferramenta em relação ao consumo real de tinta do processo. O erro está ligado a fatores similares aos apresentados durante o Experimento II.

Tabela 8 – Dados obtidos com o experimento.

Peso do substrato (kg)	Metro linear do substrato (m)	Consumo de tinta medido (g)	Referência
$25,4$	$117,4$	692	REF.1
$18,9$	$87,5$	1461	REF.2
$20,2$	$93,6$	572	REF.3
$24,2$	$112,0$	1871	REF.4
$19,7$	$91,1$	2509	REF.5
$19,7$	$91,1$	2169	REF.6
$24,2$	$112,0$	1480	REF.7
$18,7$	$86,6$	4460	REF.8
$20,2$	$93,3$	1260	REF.9
$19,5$	$90,5$	1200	REF.10
$19,3$	$89,5$	2959	REF.11
$19,1$	$88,6$	1944	REF.12
$39,5$	$182,7$	901	REF.13
$11,0$	$50,9$	3247	REF.14
$59,0$	$273,0$	2741	REF.15
$154,3$	$714,2$	6211	REF.16
$154,3$	$714,2$	5881	REF.17
$26,3$	$130,0$	2288	REF.18
$154,7$	$716,3$	6089	REF.19
$154,7$	$716,3$	5412	REF.20

Levando em consideração as medidas referentes à quantidade de tinta consumida no processo e à quantidade de tinta prescrita pelo software, é possível analisar o erro de forma percentual, Equação 4.1, trazendo mais relevância ao erro em relação a quantidade de tinta. A Figura 25 demonstra um gráfico de barras proveniente dos dados obtidos na Tabela 8 e 9.

$$E(\%) = \frac{(Cm - Cp)}{Cm} * 100, \tag{4.1}$$

onde, $E(\%)$ representa o erro percentual do valor real em relação ao valor predito, Cm representa o consumo medido no processo, e Cp representa o consumo predito pela ferramenta.

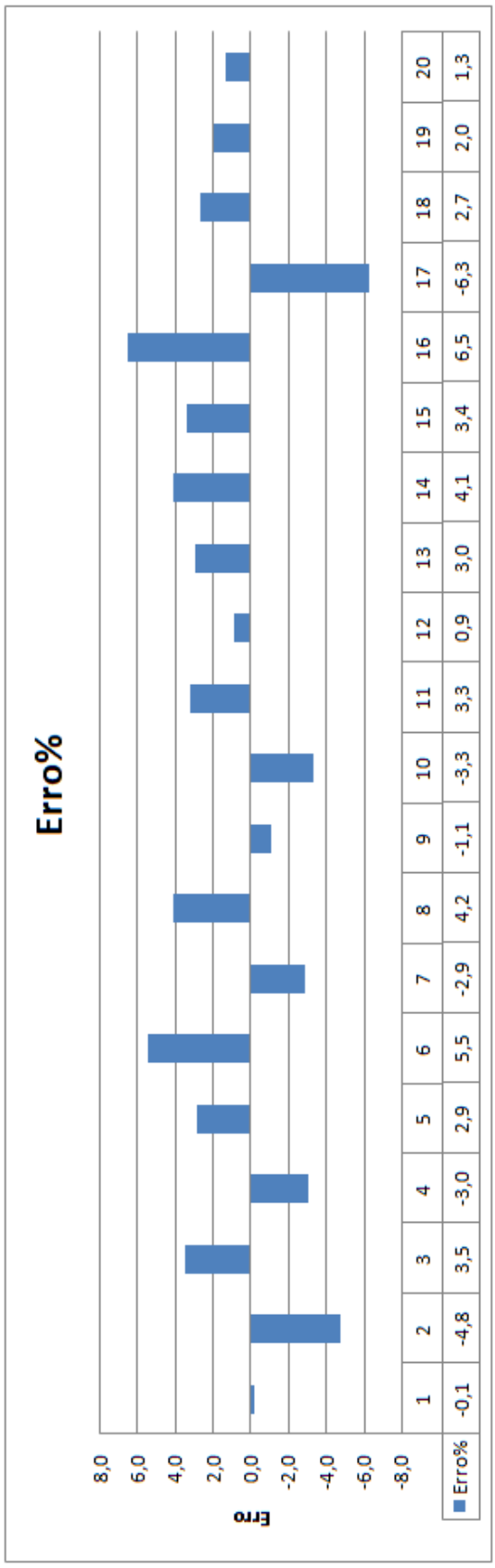

Figura 25 – Erro percentual.

Tabela 9 – Erro referente a simulação.

Consumo de tinta via ferramenta (g)	Erro (g)	Referência
693	-1	REF.1
1531	-70	REF.2
552	20	REF.3
1928	-57	REF.4
2437	72	REF.5
2050	119	REF.6
1523	-43	REF.7
4274	186	REF.8
1274	-14	REF.9
1240	-40	REF.10
2862	97	REF.11
1926	18	REF.12
874	27	REF.13
3114	133	REF.14
2648	93	REF.15
5805	406	REF.16
6253	-372	REF.17
2226	62	REF.18
5967	122	REF.19
5341	71	REF.20

Ao analisar os dados provenientes da Figura 25 é possível notar a variação do erro no processo de predição do consumo de tinta, atingindo uma máxima de 6,3% negativo e 6,5% positivo. O erro médio percentual, caracterizado pela Equação 4.2, apresenta outra métrica com o intuito de avaliar a precisão da ferramenta:

$$MPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Cm - Cp}{Cm}\right) \times 100\%, \tag{4.2}$$

onde, MPE representa o erro médio percentual,n representa o número de amostras, Cm representa o consumo medido no processo, e Cp representa o consumo predito pela ferramenta.

O erro médio percentual portanto, levando em consideração os 8371 metros quadrados de substratos estampados, foi de 3,24 %, destacando a relevância da solução para o processo, que anteriormente, tinha o consumo da estampa sem cálculo prévio, sem nenhuma precisão e parâmetros, ou de forma empírica, por meio de testes que, consequentemente, atrasam o processo produtivo.

4.4 Experimento IV - Comparação do método de predição convencional com o método proposto

O tecido geralmente é comercializado com base em parâmetros como peso (gramatura), largura (metragem linear) e composição do material. Esses parâmetros ajudam a determinar a quantidade do tecido e são utilizados não apenas na venda, mas também na prestação de serviços relacionados à confecção e manipulação de tecidos.

A abordagem convencional para prever o consumo de tinta se baseia em dados coletados através de amostragens realizadas durante os processos de serigrafia. Essas amostras fornecem informações sobre o consumo de tinta em relação ao peso do tecido estampado. Para isso, é preciso preparar as matrizes serigráficas e executar o processo de serigrafia, a partir do qual são obtidos os valores relacionados ao consumo de tinta. Esses dados posteriormente são utilizados para determinar o preço final do processo de estamparia.

A metodologia de previsão de consumo de tinta convencional está diretamente relacionada ao peso do tecido, sem levar em consideração outros fatores como largura e gramatura, conforme discutido ao longo do Capítulo 2. Essa limitação pode resultar em variações na área total a ser estampada, o que torna o método convencional suscetível a erros.

Com o intuito de comparar o método convencional com a metodologia proposta, foram realizados testes em uma estamparia de tecidos localizada na cidade de Itaperuna, na região noroeste fluminense. Para a realização do teste, foi utilizada uma amostra de 94,8 quilogramas de malha estampada, totalizando aproximadamente 593 metros quadrados de tecido. Dentre a amostra, foram utilizadas 4 estampas, todas produzidas utilizando a mesma cor de tinta.

O teste visava comparar o erro do sistema de predição convencional com o erro da ferramenta de predição proposta. Logo, o cálculo do consumo do processo de estamparia foi realizado sem a interferência da ferramenta proposta. Os dados referentes ao consumo de tinta real podem ser vistos por meio da Tabela 10, apresentando um consumo real de 6100 gramas de tinta.

Tabela 10 – Consumo de tinta experimento IV.

Consumo de tinta (g)	Peso do rolo de tecido estampado (kg)	Referência
940	$21,1$	REF.1
460	$19,5$	REF.2
740	$25,1$	REF.3
3960	$29,1$	REF.4

O método convencional utilizado pela estamparia indicou um consumo de 8000 gramas de tinta para estampar os 94,8 kilogramas de malha. Já a metodologia proposta estimou um consumo de 6081 gramas de tinta, os dados podem ser vistos por meio da Tabela 11.

A comparação entre os dados provenientes da metodologia abordada com a metodologia convencional podem ser visualizados por meio da Tabela 12.

Tabela 11 – Consumo de tinta via ferramenta desenvolvida.

Consumo de tinta real (g)	Consumo de tinta via ferramenta (g)	Erro Absoluto ($\%$)	Referência
940	980	$4,25$	REF.1
460	461	$0,22$	REF.2
740	770	$4,05$	REF.3
3960	3840	$3,03$	REF.4

Tabela 12 – Comparação da predição do consumo de tinta do montante total consumido no processo.

Método	Consumo de tinta previsto (g)	Erro Absoluto ($\%$)
$Convecional$	8000	$31,14$
$Abordado$	6081	$0,31$

A metodologia abordada, conforme observado nos testes, apresenta valores de predição com erros menores em relação à metodologia convencional. Isso se deve à consideração de mais fatores no processo de predição, como gramatura, largura do tecido, área estampada e especificações da matriz serigráfica.

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

Para essa dissertação, foi desenvolvida uma ferramenta para predição do consumo de tinta em processos serigráficos automáticos, com o objetivo principal de simplificar e dinamizar esse procedimento, além de reduzir as perdas associadas. Para alcançar esse propósito, foram desenvolvidos mecanismos para análise de imagens que representam estampas submetidas ao processo de serigrafia, calculando a área a ser estampada e, em seguida, empregando métricas do processo para estimar a quantidade de tinta a ser utilizada. Dessa forma, foi concebida uma ferramenta que torna o processo de predição acessível e eficiente, proporcionando facilidades ao usuário e minimizando desperdícios.

O desenvolvimento da ferramenta foi dividido em duas partes distintas: a aquisição de dados da imagem e a predição do consumo de tinta. Na etapa de aquisição de dados, foram empregadas diversas bibliotecas e conceitos de computação gráfica, visando abstrair os dados de maneira prática para o usuário. Por sua vez, a etapa de predição do consumo de tinta envolveu cálculos matemáticos destinados a fornecer ao usuário uma estimativa precisa do consumo de tinta por estampa, exigindo testes e coleta de dados na linha de produção para sua validação.

Ao longo do Capítulo 4, foram apresentados os resultados e as análises decorrentes da conclusão do desenvolvimento do projeto, os quais confirmaram e validaram a eficácia do sistema desenvolvido.

Em suma, pode-se afirmar que o trabalho resultou em uma ferramenta promissora para o mercado de estamparia, capaz de proporcionar melhorias significativas nos processos de previsibilidade de consumo e custos. Anteriormente, tais processos eram baseados em métodos cegos ou empíricos, nos quais eram necessários testes para determinar o consumo de tinta, resultando em atrasos na produção e prejuízos na logística do processo.

Os resultados obtidos a partir do experimento realizado revelam importantes *insights* sobre as metodologias convencionais e a proposta desenvolvida para a predição do consumo de tinta em processos de estamparia. Ao comparar os dados provenientes das duas abordagens, fica evidente que a metodologia proposta apresenta uma precisão superior na previsão do consumo de tinta, com um erro médio percentual de 3,24%. Isso se deve à consideração de fatores adicionais, como gramatura, largura do tecido, área estampada e especificações da matriz serigráfica, que não são contemplados na metodologia convencional, tendo seu erro na faixa de 30%. Essa análise ressalta a importância de adotar abordagens mais abrangentes e precisas na previsão do consumo de tinta, o que pode resultar em benefícios significativos para a eficiência e economia nos processos de estamparia de tecidos.

5.1 Trabalhos Futuros

No contexto dos resultados obtidos e das reflexões proporcionadas por este estudo, várias direções promissoras para pesquisas futuras podem ser delineadas. Uma área de foco potencial é o refinamento do modelo de predição do consumo de tinta, explorando uma gama mais ampla de algoritmos de *machine learning* e técnicas de análise de imagem. Isso poderia resultar em um modelo mais robusto e preciso, capaz de lidar com uma variedade maior de estampas e condições de produção.

Além disso, a integração de tecnologias emergentes, como inteligência artificial e Internet das Coisas (*IoT*), oferece uma oportunidade para desenvolver sistemas mais automatizados e inteligentes. Essas tecnologias poderiam ser utilizadas para criar sistemas de estamparia mais adaptáveis e eficientes, capazes de otimizar continuamente os processos de produção.

Outra área importante para pesquisas futuras é o desenvolvimento de ferramentas de otimização de processos que vão além da predição do consumo de tinta. Isso poderia incluir a consideração de variáveis adicionais, como tempo de produção, custos de materiais e eficiência operacional, visando maximizar a produtividade e minimizar os custos.

Por fim, o desenvolvimento de interfaces mais amigáveis e intuitivas para as ferramentas de predição e otimização de processos é fundamental para facilitar sua adoção e utilização por profissionais da indústria de estamparia. Essas direções de pesquisa oferecem oportunidades para avançar no campo da estamparia e otimização de processos industriais.

Referências

ABIT. *Dados gerais do setor em 2022*. 2023. Url https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor. Citado na página 13.

AGABE. *Manual Agabê de Preparação de Matrizes Serigráficas*. 2010. Url https://www.agabe.com/materiais/manual-de-preparacao. Citado nas páginas 20 e 22.

ALTEROSA, T. *Confecções movimentam economia de Muriaé*. 2022. Https://www.youtube.com/watch?v=sIiebJw-ytU. Citado na página 14.

AVPSOFT. *APFill - Calculador de cobertura de tinta e toner 6.1*. 2020. Urlhttps://avpsoft.com/products/apfill/. Citado nas páginas 29 e 43.

BLINN, J. F. What is a pixel? *IEEE Computer Society*, p. 6, 09 2005. Citado na página 25.

BROSKA, T. d. S. *Elaboração de Manual Didático Interativo Sobre o Processo de Impressão em Serigrafia*. 2012. Url https://www.agabe.com/materiais/manual-de-preparacao. Citado nas páginas 22 e 23.

COLLIER, B. J.; TORTORA, P. G. *Understanding Textiles*. [S.l.]: Prentice Hall, 2000. Citado na página 21.

FACTORY, P. *Print Factory Software*. 2024. Https://printfactory-usa.com/speed-up-prepress/. Citado na página 29.

GOMIDE JOAO E ARAúJO, A. Efeitos visuais, uma abordagem a partir do processamento digital de imagens. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, v. 16, p. 97–124, 03 2010. Citado na página 25.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Digital Image Processing*. Global edition. [S.l.]: Pearson, 2018. Citado na página 26.

HUANG RUIHANG E YAN, P. Knowledge map visualization of technology hotspots and development trends in china's textile manufacturing industry. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, v. 3, n. 3, p. 243–251, 2021. Citado na página 14.

HUGHES, J. F. et al. *Computer Graphics: Principles and Practice*. [S.l.]: Pearson Education, 2013. Citado na página 25.

KOMURKI JOHN Z. E BENDANDI, L. *Mestres da serigrafia: técnicas e segredos dos melhores artistas internacionais da impressão serígrafica*. 2018. Citado nas páginas 17 e 19.

LEE, H.-C. *Introduction to Color Imaging Science*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2005. Citado na página 25.

MAESTRI, G. *Indústria 4.0 no Setor Têxtil: Diagnóstico Atual, Desafios e Oportunidades para o Futuro Digital*. 2018. Citado na página 13.

MANSSOUR ISABEL E COHEN, M. Introdução à computação gráfica. *RITA*, v. 13, p. 43–68, 01 2006. Citado na página 24.

MESELDžIJA MILOš E VUKIć, N. The analysis of the substrate influence on the print quality parameters of screen-printed textile. In: . [S.l.: s.n.], 2019. Citado na página 21.

MIGLIARI, A. F. A. e M. D. M. Serigrafia versus impressão digital: uma opção pela estética / Screen printing versus digital printing. 3 2021. Disponível em: <https://repository.lboro.ac.uk/articles/journal_contribution/Serigrafia_versus_impress_o_digital_uma_op_o_pela_est_tica_Screen_printing_versus_digital_printing/14191604>. Citado na página 17.

MüLLER, M. Simulação computacional discreta em uma linha de produção de alimentos embutidos. *Tecno-Lógica*, v. 19, p. 14, 07 2015. Citado na página 13.

ORACLE. *java.awt.color*. 2020. Url https://docs.oracle.com. Citado na página 24.

ORACLE. *java.awt.image*. 2020. Url https://docs.oracle.com. Citado na página 24.

PRINTERS, S. for screen. *Rip AccuRip Software*. 2024. Https://solutionsforscreenprinters.com/accurip-emerald/. Citado na página 29.

SIGN, E. *Easy Sign Software*. 2024. Https://www.easysign.com/. Citado na página 29.

SOUZA, M. *Serigrafia e Arte: Estudo sobre a serigrafia enquanto ferramenta no processo arte-educativo*. 2018. Citado nas páginas 13, 20, 21 e 22.

TOPCOLOR. *Taxa de Pigmentação*. 2017. Url https://topcolortintas.com.br/2017/04/25/taxa-de-pigmentacao/. Citado na página 21.

WITTENBERG, C. Human-cps interaction - requirements e human-machine interaction methods for the industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, v. 49, p. 420–425, 12 2016. Citado na página 13.

APÊNDICE A – Pesquisa com Empresas

Com o intuito de obter informações a respeito do processo de estamparia e de como é feito o cálculo do custo do processo atualmente, foram realizadas pesquisas em nove empresas do ramo da indústria têxtil, confecções e estamparias, no estado de Minas Gerais. Foram coletadas informações sobre consumo de tintas e cálculo de custos.

Questionário enviado para as nove empresas:

- Pergunta 1: Como é realizado o cálculo de custo do processo?
- Pergunta 2: Como é realizado o cálculo do consumo de tinta para cada estampa que será produzida?
- Pergunta 3: O que acontece com as tintas que sobram ao final do processo de estamparia?

As respostas da pesquisa podem ser visualizados por meio dos gráficos apresentados na Figura 26, Figura 27, Figura 28.

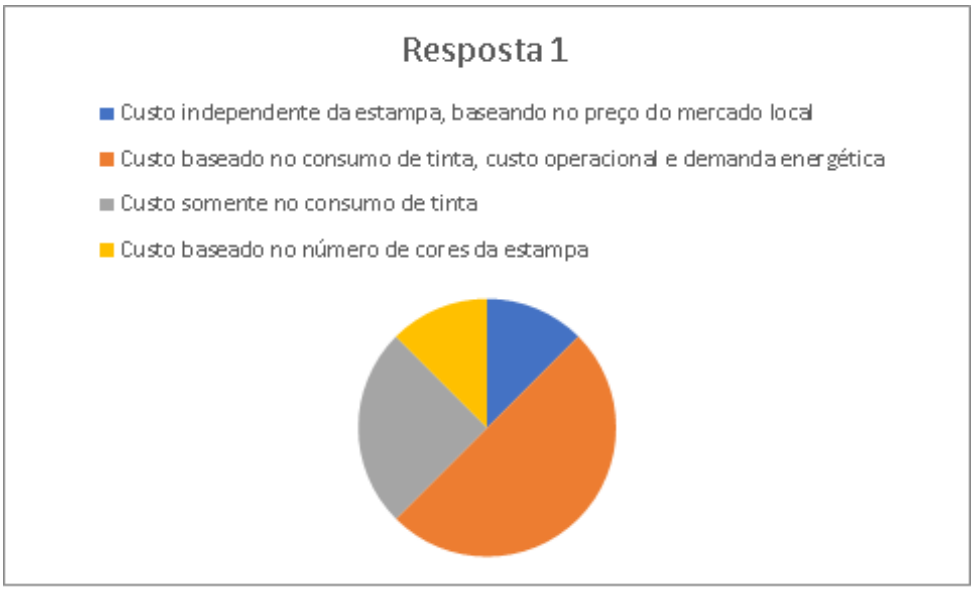

Figura 26 – Análise respostas da pergunta 1.

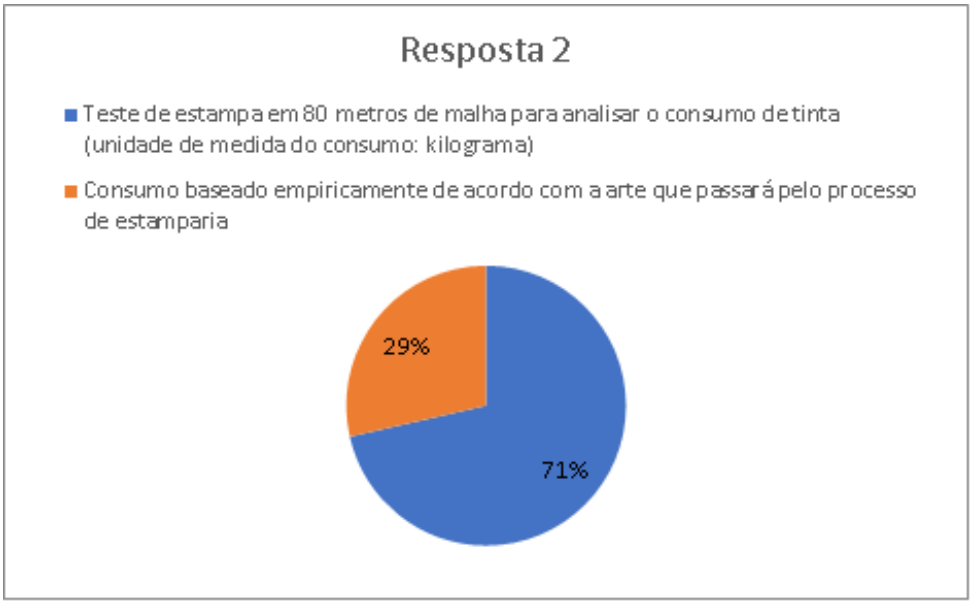

Figura 27 – Análise respostas da pergunta 2.

Figura 28 – Análise respostas da pergunta 3.

Com base nos dados apresentados na Figura 28 é possível visualizar os diferentes métodos para cálculo do custo de estampas. Em muitos dos casos são apresentadas as dificuldades na gestão dos custos, principalmente relacionados ao consumo de tinta, sendo necessários testes para coleta de dados, atrasando o processo de estamparia e consequentemente a logística das empresas.

Outro fator relevante para o presente estudo pode ser visualizado na Figura 27, onde é apresentado o gráfico de custo do processo de estamparia, levando em consideração consumo energético do processo, custo operacional e o consumo referente a tinta. Os dados foram obtidos por meio de testes reais, sem o auxílio de qualquer simulação computacional, medindo o tempo do processo, consumo energético e por fim a quantidade de tinta gasta no processo.

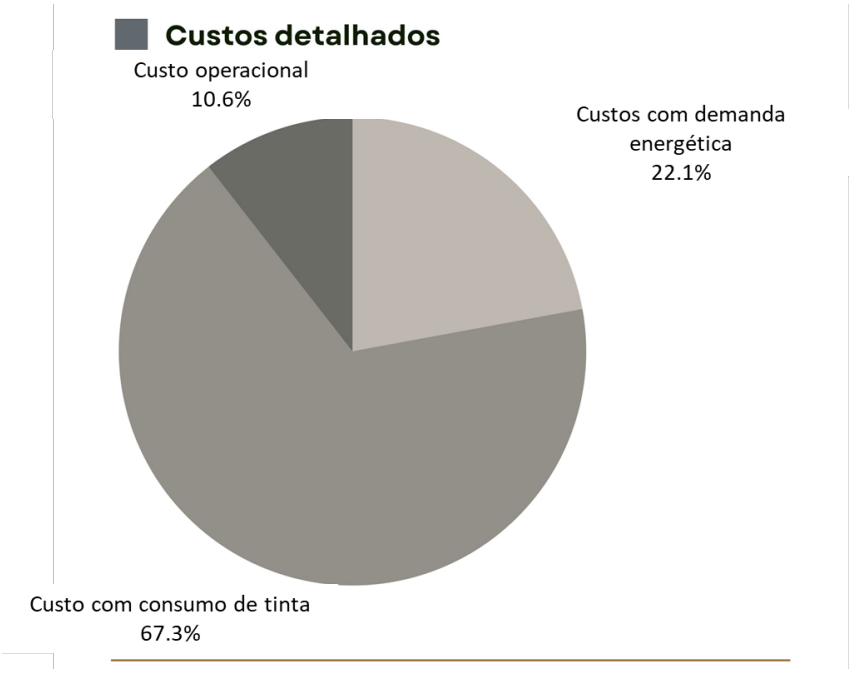

Figura 29 – Custos primários no processo de serigrafia.

Conforme o gráfico apresentado na Figura 29, é evidente o impacto do consumo de tinta ao longo do processo de estamparia, podendo chegar até 80% do custo total do processo. Entretanto muitas vezes o consumo é calculado após a execução do processo de estamparia, sendo necessário uma tiragem mínima denominada mostruário, para cálculo de custo e posteriormente para se estudar a viabilidade da estampa, processo que atrasa a produção e torna as confecções e estamparias dependentes de fazer pequenas tiragens de tecido para cálculo de custo.