



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALEXSANDER DE SOUSA MEDEIROS

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE CABEDAIS  
MONOCORES EM POLICLORETO DE VINILA (PVC).  
ESTUDO DE CASO: A INDÚSTRIA CALÇADISTA**

CAMPINA GRANDE - PB

2015

ALEXSANDER DE SOUSA MEDEIROS

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE CABEDAIS  
MONOCORES EM POLICLORETO DE VINILA (PVC).  
ESTUDO DE CASO: A INDÚSTRIA CALÇADISTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em exigência a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

CAMPINA GRANDE - PB

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- M488o Medeiros, Alexsander de Sousa .  
Otimização do processo de injeção de cabedais monocores em policloreto de vinila (PVC). Estudo de caso: a indústria calçadista / Alexsander de Sousa Medeiros. – Campina Grande, 2015.  
115 f.: il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.
- "Orientação: Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior".  
Referências.
1. Materiais Poliméricos. 2. Aspectos de Qualidade. 3. Parâmetros de Processo. I. Amorim Júnior, Wanderley Ferreira de. II. Título.

CDU 678.7(043)

“OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE CABEDAIIS MONOCORES EM  
PVC. ESTUDO DE CASO: A INDÚSTRIA CALÇADISTA”.

**ALEXSANDER DE SOUSA MEDEIROS**


Dissertação Aprovada em 29/05/2015 pela Banca Examinadora constituída dos seguintes  
membros:



**Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior**

Orientador

PPGEM/UAEM/CCT/UFCG



**Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima**

Examinador Interno

PPGEM/UAEM/CCT/UFCG



**Dra. WILMA SALES CAVALCANTI**

Examinadora Externa

UAEM/CCT/UFCG

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a duas mulheres fantásticas – Daniele Guedes de Freitas Medeiros, minha amada esposa, de quem sou fã incondicional e Gabrielle Guedes de Freitas Medeiros, minha pequena e linda filha, eterna paixão e fonte de orgulho inesgotável – maiores incentivadoras e responsáveis pelo meu sucesso.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a nosso pai maior, Jeová Deus, pela vida e por tudo com que tenho sido agraciado ao longo da mesma, bem como, pela feliz oportunidade de fazer parte do **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica** e pela capacidade de realizar este trabalho.

Eternos agradecimentos à minha grande e estimada família, presentes em todos os meus caminhos, onde sou sempre estimulado por palavras e ações, que evidenciam força e perseverança. De forma justa, quero agradecer especialmente aos meus amados pais, *Alúcio Medeiros Santos* - batalhador incansável - e *Lúcia de Fátima Sousa Medeiros* – exemplo de fibra e de mãe - a quem devo tudo o que sou.

Ao professor *Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior*, grande personalidade, que surgiu como um precioso amigo e compartilhador do ideal de aproximação entre academia e empresas, contribuindo de forma decisiva para a construção de um trabalho pautado numa problemática da indústria. Agradeço também pelo mesmo, ter aceitado o desafio de orientar-me, dedicando grande parte do seu precioso tempo, no acompanhamento e desenvolvimento deste trabalho.

Meus sinceros Agradecimentos a todos os professores e funcionários do PPGEM – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, ofertado pelo Departamento de Engenharia Mecânica – UFCG, em especial aos professores: *Dr. Carlos José de Araújo*, *Dr. Juscelino de Farias Maribondo*, *Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima*, *Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa* e a secretária *Ivanilda Rodrigues da Silva*, pela credibilidade, incentivo, apoio e orientações ao longo de toda caminhada.

Ao *Dr. Walman Benício de Castropelo* tempo desprendido e atenção dedicada na construção dos experimentos apresentados no presente trabalho.

Ao *Eng. Uldarico Jefferson Barreto*, amigo e incentivador, por acreditar no meu potencial e por abrir as portas da Kenner-PB, considerada uma das maiores fabricantes de sandálias do país, bem como, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, se constituindo também, num dos grandes responsáveis pela minha almejada vitória.

Aos professores *Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima* e *Dra. Wilma Sales Cavalcanti* por aceitarem participar da Banca Examinadora, contribuindo com suas valiosas sugestões, visando sempre o engrandecimento do estudo.

A todas as amizades que foram construídas ao longo da jornada, principalmente àqueles que se sentirem colaboradores desta conquista, pelo incentivo, apoio, respeito e companheirismo que sempre se estabeleceu no convívio da labuta curricular.

A minha querida esposa, Daniele Guedes de Freitas, por todas as palavras de incentivo, todo carinho, paciência e dedicação, que foram decisivos e indispensáveis para superar todos os momentos de angústia e de incertezas ao longo do curso.

A garota prodígio, minha pequena e linda filha Gabrielle, a quem considero uma dádiva de Deus. Ela é a grande responsável pela minha luta em busca de vitórias.

Meu muito obrigado a todos os que fazem a Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB, em especial aos colaboradores dos Setores de Produção, Manutenção e Ferramentaria, pelo apoio e paciência durante os experimentos para a realização deste trabalho.

Tomado veementemente pelo anseio de reconhecimento, e de forma especial, agradeço aos amigos, Francisco Galdino Junior (Companheiro de curso), Jhuliane Evelyn da Silva (aluna de Pós-Graduação em Línguas) e aos alunos de graduação da UFCG, Julliene Martins (Eng. de Materiais) e Wanderson Lima (Eng. Mecânico) por todo esforço, comprometimento, compreensão e contribuição efetiva para tornar possível a finalização deste trabalho.

**A todos, enfim, o meu eterno obrigado.**

*É graça divina começar bem. Graça maior é persistir na caminhada certa. Mas a graça das graças é não desistir nunca.”*

(Dom Helder Câmara)



## RESUMO

A alta reciclabilidade de materiais plásticos tem impulsionado cada vez mais a formação de produtos à base de reciclados, o que tem se tornado uma alternativa “eco sustentável” e de baixo custo para as empresas que beneficiam plásticos. Neste sentido, este trabalho objetiva estudar o processo de injeção de cabedais monocores em PVC, numa indústria do ramo calçadista, produzidos com adição de mistura reciclada através de processo convencional (injeção direta em máquina horizontal), afim de se obter a melhor parametrização para um modelo específico, com foco na obtenção de peças com qualidade e propriedades mecânicas similares as injetados com PVC virgem. Utilizou-se de ferramentas de simulação numérica (CFD), técnicas experimentais e ensaios mecânicos de dureza, microscopia óptica, tração (não normatizados). Observou-se que para o modelo em estudo (cabedal Summer), parâmetros como a temperatura do material, pressão (injeção, recalque e contra pressão) e velocidade de injeção do material no molde, ocasionam interferências e problemas na moldagem das peças, gerando produtos de baixa qualidade. As simulações através de software comprovaram os resultados obtidos nos experimentos gerados pela matriz experimental, apontando os parâmetros ideais para a produção do modelo em questão, considerando as mesmas condições operacionais. Os ensaios realizados apontaram que as propriedades mecânicas foram pouco afetadas pela adição de material reciclado, sendo possível a produção em escala industrial de cabedais monocores (preto), utilizando-se material reprocessado (1 ciclo), sem alteração significativa nas características mecânicas, visuais e de conforto.

**Palavras Chave:** Materiais poliméricos, Qualidade; Cabedal; Injeção; Experimento; Simulação.

## ABSTRACT

The high recyclability of plastic materials has increasingly driven the formation of recycled-based products, which has become an eco-sustainable and cost-effective alternative for companies use plastics as new materials. This work aims at investigating the monochromatic uppers injection process in PVC, at a footwear industry, produced from the addition of recycled mixture through the conventional process (direct injection in horizontal machine), in order to obtain the best parameter for a specific model, focusing on obtaining pieces with similar quality and mechanical properties to those injected with virgin PVC. In the methodological part, numerical simulation tools (CFD), experimental techniques and (not standardized) mechanical tests (hardness test, optical microscopy, tension) were used. It was observed that for the focused model, parameters such as material temperature, pressure (injection, discharge and counter pressure) and mass flow rate of injection in the mold, led to interference and problems in molding the parts, resulting in products with low quality. Simulations using software confirmed the results obtained from the experiments generated by the experimental matrix, showing the ideal parameters to produce the model selected, at the same operational conditions. The performed tests revealed that the mechanical properties were little affected by the addition of recycled material, making possible the production of monochromatic (black) uppers in industrial scale, using reprocessed material (1 cycle) with no significant changes of mechanical, visual and comfort features of the product.

**Keywords:** Polymeric materials, Quality; Upper; Injection; Experiments; Simulation.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
1.1 Os principais processos de produção para PVC.....	21
2.1 Grânulos de Polímero (PVC).....	25
2.2 Modelo ilustrativo do polímero PVC.....	29
2.3 Fluxo simplificado para obtenção de PVC.....	30
2.4 Rota de obtenção do DCE por cloração direta.....	30
2.5 Obtenção do MVC através do EDC.....	31
2.6 Representação ilustrativa de uma molécula de policloreto de vinila (PVC).....	31
2.7 Segmentação do Setor Plástico em 2008.....	36
2.8 Representação esquemática de um conjunto de injeção do tipo rosca-pistão.	38
2.9 Desenho esquemático do bico de injeção.....	41
2.10 Desenho esquemático de uma rosca de injeção de uso geral.....	42
2.11 Desenho esquemático de uma válvula de não retorno.....	43
2.12 Máquina injetora rotativa.....	48
2.13 Máquina injetora vertical.....	48
2.14 Máquina injetora horizontal.....	49
2.15 Representação esquemática de uma injetora horizontal.....	49
2.16 Modelo ilustrativo de um cabedal Injetado.....	54
3.1 Composição da Sandália KENNER.....	55
3.2 Setor produtivo – Injeção de Cabedais em PVC (Tess-PB).....	57
3.3 Sandália completa com cabedal SUMMER na cor preta.....	58
3.4 Composto de PVC cristal dureza 65 – Embalagem de 25 kg.....	59
3.5 Master pigmento opaco para mistura.....	60
3.6 Material triturado - galhos, cabedais reprovados e materiais expurgados.....	60
3.7 Balança Toledo.....	61
3.8 Misturador Mixer Dry Blend.....	61
3.9 Moinho GK MF 230, 3 lâminas capacidade de processamento de 80 m <sup>3</sup> /h....	61
3.10 Máquina Himaco ATIS 2000 – 740 utilizada nos experimentos.....	62
3.11 Matriz Summer em N271.....	63

3.12	Unidade refrigeradora Qualiterme US 15.....	63
3.13	Balança de precisão Western.....	64
3.14	Mixer Thermo Scientific.....	64
3.15	Moinho triturador.....	64
3.16	DSM plastômero MI-3.....	64
3.17	EMIC 100 kN.....	65
3.18	Mod. WOLTEST MP-20.....	65
3.19	Microscópio Óptico LEICA 7500.....	65
3.20	Segregação de cabedais reprovados por defeitos de qualidade.....	68
3.21	Moagem de cabedais reprovados por defeitos de qualidade.....	68
3.22	Manutenção geral da injetora ATIS 2000 – 740, realizada pela equipe de manutenção e técnico credenciado pelo fabricante.....	72
3.23	Jateamento de matriz SUMMER 40/41	73
3.24	1ª etapa de injeções de amostras.....	74
3.25	Separação e registro do material injetado.....	75
3.26	Imagens termográficas obtidas pela câmera Flir I5.....	76
3.27	Material segregado para moagem.....	76
3.28	Tela do software SolidWorksPlastic Pro no momento do escoamento.....	77
3.29	Etapas para a realização os ensaios de FMI.....	79
3.30	Composto de mistura dePVC – Embalagem de 25kg.....	80
3.31	Projeto inicial da garra.....	82
3.32	Projeto modificado da garra.....	82
3.33	Máquina de Tração da Tess-PB, onde foram realizados os ensaios iniciais...	83
3.34	Corpos de prova obtidos de cabedais injetados.....	83
3.35	Início do ensaio de tração.....	84
3.36	Ensaio de tração em andamento.....	84
3.37	Ruptura após o ensaio de tração.....	85
3.38	Máquina de Tração EMIC 100 kN, onde foram realizados os ensaios de tração.....	85
3.39	Equipamento para ensaio de micrudureza das amostras de cabedais.....	86
3.40	Microscópio Óptico LEICA 7500.....	87
4.1	Preassure at End of fill 140°.....	89
4.2	Preassure at End of fill 160°.....	89

4.3	Preassure at End of fill 180°C.....	90
4.4	Bulk temperature at end fill 140°C.....	91
4.5	Bulk temperature at end fill 160°C.....	91
4.6	Bulk temperature at end fill 180°C.....	92
4.7	Fill Time 140°C.....	92
4.8	Fill Time 160°C.....	93
4.9	Fill Time 180°C.....	93
4.10	Ease of fill 140°C.....	94
4.11	Ease of fill 160°C.....	95
4.12	Ease of fill 180°C.....	95
4.13	Shear Stress at End of Fill 140°C.....	96
4.14	Shear Stress at End of Fill 160°C.....	96
4.15	Shear Stress at End of Fill 180°C.....	97
4.16	Cabedal com rebarba.....	98
4.17	Cabedais com rechupe.....	98
4.18	Cabedal manchado.....	99
4.19	Cabedal fora do dimensional.....	99
4.20	Cabedal incompleto.....	100
4.21	Cabedal com excesso de brilho.....	100
4.22	Resultado das amostras após o MFI.....	103
4.23	Gráficos da Tensão x Deformação EE.....	104
4.24	Gráficos da Tensão x Deformação ED.....	105
4.25	Gráficos da Tensão x Deformação DE.....	106
4.26	Gráficos da Tensão x Deformação DD.....	107
4.27	Amostra da superfície do cabedal com PVC virgem.....	108
4.28	Amostra da superfície do cabedal com 50% de reciclado adicionado ao PVC virgem.....	109
4.29	Amostra da superfície do cabedal com 100% de reciclado.....	109

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pag.</b>
3.1 Dados técnicos da unidade de injeção da ATIS 2000 -740 LHT.....	62
3.2 Planejamento experimental $2^{5-1} + 3$ no ponto central, com 19 experimentos.....	71

## LISTA DE QUADROS

	<b>Pag.</b>
2.1 Principais termoplásticos e termofixos utilizados na indústria.....	27
2.2 Propriedades e características do PVC.....	32
2.3 Principais aditivos e seus efeitos na formulação de PVC.....	33
2.4 Principais defeitos de injeção e possíveis soluções.....	50
3.1 Relação de máquinas e equipamentos utilizados na fabricação de cabedais de PVC na TESS-PB.....	58
3.2 Variáveis que podem interferir no processo de PVC.....	70
3.3 Percentual de mistura utilizada nas receitas para avaliação de fluidez.....	79
3.4 Parâmetros de injeção.....	80
3.5 Parâmetros de Temperatura.....	81
3.6 Parâmetros em função do tempo.....	81
3.7 Padronização dos corpos de provas para ensaio de tração.....	83
4.1 Resultado final dos cabedais injetados da matriz de planejamento experimental.....	101
4.2 Resultados do ensaio de dureza Shore A.....	110

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

	<b>Pag.</b>
3.1 Processo Produtivo Cabedal de PVC.....	56
3.2 Processo Produtivo para montagem de sandálias na TESS Indústria e Comércio Ltda (Kenner-PB).....	57
3.3 Fluxo de atividades da 1ª etapa.....	66
3.4 Fluxo de atividades da 2ª etapa .....	66



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

% EL	Alongamento percentual
A <sub>1</sub>	Coefficiente de expansão térmica
ABS	Acrilonitrila
Ba	Bário
CA	Acetato de Celulose
Ca	Cálcio
CAB	Acetato – Butirato de Celulose
DAP	Ftalatos dialfílicos
DCE	Dicloreto etano
DOP	Di-2-etil-hexil-ftalato ou dioctilftalato
E	Módulo de elasticidade
c	Calor específico
EVA	Espuma vinílica acetinada
HCl	Ácido clorídrico
K	Condutividade térmica
K <sub>lc</sub>	Dificuldade a fratura
M.F	Melanina
Mu	Unidade monomérica
MVC	Mono cloreto de vinila
OBPA	Oxibisfenoxarsina
P	Densidade
P.F	Fenol
PA	Nylon
PC	Policarbonato
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Polietileno tereftalato
PMMA	Polimetilmetacrilato
POM	Polioximetileno (acetal)
PP	Propileno

PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TMPTMA	Trimetilopropanotrimetacrilato
TS	Limite de resistência
U.F	Ureia
U.P	Poliéster
UV	Ultra-violeta
Zn	Zinco
$\rho_e$	Resistividade elétrica
$\sigma_y$	Limite de escoamento

## Sumário

CAPÍTULO - I.....	21
INTRODUÇÃO.....	21
1.1 ESCOLHA DO TEMA, JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÃO .....	22
1.2 OBJETIVOS .....	23
CAPÍTULO - II .....	25
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	25
2.1 PLÁSTICOS.....	25
2.2 POLÍMEROS .....	28
2.3 POLICLORETO DE VINILA (PVC) .....	28
2.4 OS MATERIAS PLÁSTICOS NA INDÚSTRIA DE CALÇADOS .....	35
2.5 MÁQUINAS INJETORAS .....	40
2.6 CABEDAIS .....	53
CAPÍTULO - III.....	55
MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.1 PROCESSO DE INJEÇÃO DO CABEDAL DE PVC NA TESS-PB.....	56
3.2 MATERIAL .....	59
3.3 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA TESS-PB.....	60
3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LABORATÓRIOS DA UFCG.....	64
3.5 MÉTODOS.....	65
3.6 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA .....	81
3.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS AMOSTRAS.....	87
CAPÍTULO - IV.....	88
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	88
4.1 SIMULADO .....	88
4.2 EXPERIMENTAL .....	97

CAPÍTULO – V .....	111
CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	111
5.1 CONCLUSÕES .....	111
5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	112
REFERÊNCIAS .....	113

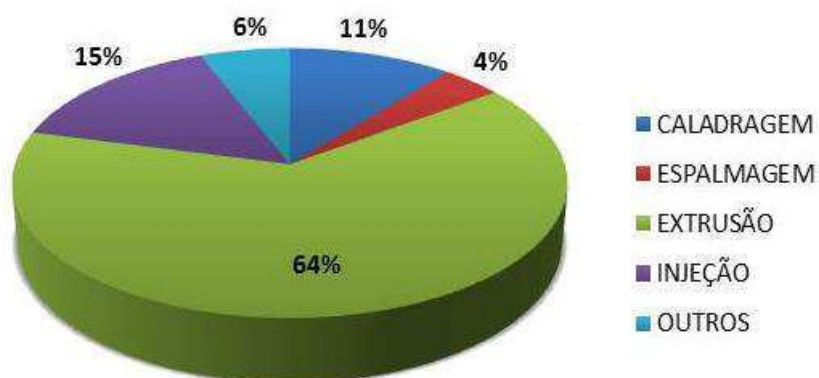
## CAPÍTULO - I

### INTRODUÇÃO

Conceitualmente, os polímeros são definidos como materiais de origem natural, artificial ou sintética (polímeros naturais modificados), de natureza orgânica ou inorgânica, constituídos por muitas macromoléculas, sendo que cada uma dessas possuem uma estrutura interna em que há a repetição de pequenas unidades (meros). Quanto à forma final de utilização, os polímeros podem ser divididos em plásticos, fibras poliméricas, borrachas (ou elastômeros), espumas, tintas e adesivos. (INSTITUTO DO PVC, 2015).

Nos últimos anos tem ocorrido um rápido crescimento no desenvolvimento e aplicação de compostos poliméricos como matrizes termoplásticas. Este movimento se deve à facilidade de conformação e fabricação do polímero, à possibilidade de obtenção de produtos complexos, leves em relação aos materiais tradicionais, e ainda à boa relação custo-benefício atrelados ao desempenho mecânico (GRIZZO; HAGE JÚNIOR; LAURINI, 2011).

O policloreto de vinila (PVC) pode ser considerado como um dos materiais termoplásticos mais versáteis da atualidade, podendo ser classificado em dois grandes grupos, são eles: rígidos e flexíveis. Durante a sua produção em escala industrial, aditivos podem ser incorporada à resina polimérica, em que suas propriedades são alteradas de modo a se obter compostos flexíveis (BRASKEM, 2006), permitindo assim, ser beneficiado em praticamente todos os processos de transformação de plásticos, conforme ilustrado na Figura 1.1.



Fonte: Adaptado de Braskem, 2006.

Figura 1.1: Os principais processos de produção para beneficiamento do PVC.

Atualmente, o policloreto de vinila (PVC) é um dos termoplásticos mais consumidos no mundo, com potencial de crescimento e demanda em função da sua versatilidade apresentada nos diversos tipos de processos de transformação (extrusão, calandragem, injeção, entre outros), sendo na indústria calçadista amplamente trabalhado através da moldagem por injeção direta, em que se constitui um dos processos mais versáteis e modernos no campo de transformação e processamento dos polímeros (BRASKEM, 2006).

Para o segmento calçadista, o PVC surge como uma excelente opção para confecção de solados e outros componentes (insertos, palmilhas ecabedais) expandidos ou compactos, com os quais podem ser produzidas tanto sandálias inteiramente moldadas em uma única etapa, quanto calçados mais sofisticados, nos quais acabamentos elaborados como transparência ou brilho podem ser dosados mediante a correta formulação do composto a ser injetado (BRASKEM, 2006).

Com o aumento do consumo do PVC, surge a preocupação em tratar os resíduos sólidos, sendo a reciclagem a opção encontrada pelas empresas como a vertente que pode trazer uma solução eco sustentável capaz de aliar a responsabilidade social à redução de custo aos processos de fabricação (INSTITUTO DO PVC, 2015).

## **1.1 ESCOLHA DO TEMA, JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÃO**

A escolha do tema sobrevém do desafio de determinar soluções que promovam a otimização do processo de injeção convencional numa indústria do segmento calçadista, com foco na produção de cabedais monocores (uma cor), associado a alternativas “eco sustentáveis”, como exemplo a reciclagem mecânica, que permite tratar os resíduos sólidos e incorporá-los novamente ao processo de fabricação.

Um dos fatores que impactam no aumento da geração de resíduos sólidos é a dificuldade em estabelecer uma relação entre as variáveis do processo e a obtenção de peças injetadas e aprovadas por critérios de qualidade, visto que, em muitos casos não se conhece as propriedades mecânicas dos produtos acabados, pois os resultados dependem muito do tipo de matéria prima, da geometria da peça, das máquinas injetoras e da mão de obra utilizada no processo de fabricação, sendo todo o procedimento desenvolvido de forma praticamente empírica.

Como justificativa tem-se a tratativa de problema no âmbito industrial, ao qual se propõe o aperfeiçoamento do processo de fabricação de cabedais monocores, a redução de custos e o aumento de produtividade utilizando-se metodologia científica.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho advém do significativo aumento no consumo de PVC pela indústria calçadista e a preocupação com a geração de resíduos sólidos oriundos do processo de injeção de cabedais monocores, obtidos pela injeção direta de PVC em máquina horizontal (processo convencional).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral promover a otimização do processo de injeção de cabedais monocores em PVC, obtidos pelo processo de injeção direta (convencional), com aproveitamento de material reciclado, em uma da indústria calçadista.

### **1.2.2 ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos pode-se citar:

- Identificar os parâmetros de controle do processo de moldagem plástica por injeção direta, que mais ocasionam problemas de qualidade ao modelo escolhido para o estudo (cabedal monocolor), assim como determinar quais os melhores valores de ajustagem desses parâmetros, utilizando técnicas de planejamento e análise de experimentos;
- Aumentar a produtividade, reduzir custos através da diminuição de peças refugadas (defeituosas e reprovadas pela má qualidade – fora dos padrões estipulados);
- Entender o comportamento mecânico e de qualidade dos cabedais injetados com material virgem e com mistura reciclada (1º ciclo de reprocessamento);
- Realizar ensaios mecânicos e morfológicos para validar a produção de cabedais com mistura reciclada, comparando os resultados obtidos com as injeções utilizando matéria prima virgem;

- Realizar as simulações através de software comercial (CFD), avaliando as melhores condições de produção dos cabedais em PVC e compará-lo com os resultados obtidos através da metodologia experimental;
- Promover a comparação através de análise do comportamento mecânico e aspectos de qualidade entre cabedais injetados com PVC virgem e com material reciclado (01 ciclo de reprocessamento), obtidos através da reciclagem mecânica (moagem);
- Reduzir custos de fabricação por meio da incorporação de material reciclado (PVC – 1º ciclo de reprocessamento) através do processo de moagem, mantendo o mesmo nível de qualidade e sem alterações significativas das propriedades mecânicas, visuais e de conforto.



## CAPÍTULO - II

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 PLÁSTICOS

A palavra “plástico” deriva do grego *plastikós*, que significa adequado à moldagem. Plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros que, por sua vez, são formadas por moléculas menores denominadas monômeros, a esse processo químico dá-se o nome de polimerização (CANEVAROLO, 2006).

“O plástico é um material polimérico de alta massa molar, sólido como produto acabado, que pode ser dividido em Termoplásticos e Termofixos (ou termorrígido ou termoendurecido).” (CANEVAROLO, 2006, p. 24).

O plástico é utilizado no processo de injeção na forma de grânulos, conforme apresentado na Figura 2.1.



Figura 2.1: Grânulos de Polímero (PVC).

Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos, sendo exemplos de polímeros naturais: algodão, madeira, cabelos, chifre de boi, látex, entre outros, que são comuns em plantas e animais, e a polímeros sintéticos (plásticos), obtidos por meio de reações químicas. O tamanho e estrutura da molécula do polímero determinam as propriedades do material plástico. Os polímeros dividem-se em duas grandes categorias: Termoplásticos e Termofixos(CANEVAROLO, 2006).

### **2.1.1 TERMOPLÁSTICOS**

Os termoplásticos são plásticos com a capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura e pressão. Quando estes são retirados, o polímero solidifica-se em um produto com formas definidas. Novas aplicações de temperatura e pressão produzem o mesmo efeito de amolecimento e fluxo e esta alteração é uma transformação física, reversível. (CANEVAROLO, 2006).

Quanto a natureza das ligações químicas, os polímeros termoplásticos são caracterizados por possuir ligações químicas fracas (van der Waals) entre as cadeias que assim podem ser facilmente rompidas com a introdução de energia.

Os termoplásticos podem ser fundidos a temperaturas entre 135°C e 250°C (dependendo do polímero) e endurecidos novamente apenas com o resfriamento à temperatura ambiente. Podem ser reprocessado várias vezes, obviamente, perdendo propriedades a cada ciclo de reciclagem, podendo chegar a degradação em função do número de ciclos a que foi submetido. É importante ressaltar que possuem estabilidade térmica e dimensional bem menor, porém possuem uma processabilidade fácil e econômica (BRASKEM, 2006).

São exemplos de termoplásticos: polipropileno (PP), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), etc. (INSTITUTO DO PVC, 2015).

### **2.1.1 TERMOFIXOS**

Os termofixos são plásticos que amolecem uma vez com o aquecimento, sofrem o processo de cura no qual se tem uma transformação química irreversível, pois apresentam cadeias conectadas entre si por ramificações ou “braços” compartilhados. As ligações cruzadas entre cadeias são rompidas com a introdução de elevadas quantidades de energia, que usualmente, levam também ao rompimento das ligações constituidoras das cadeias poliméricas, com a consequente degradação (queima do polímero).

Posteriores aquecimentos não mais alteram seu estado físico, ou seja, não amolece mais, tornando-se infusível e insolúvel (CANEVAROLO, 2006).

São exemplos de termofixos: alquídicos, epóxi, fenólicos, ftalatos dialíticos (DAP), poliésteres, silicones, ureia, etc.

A seguir é apresentado o Quadro 2.1 com os principais termoplásticos e termofixos utilizados na indústria de beneficiamento de plásticos, bem como a temperatura de transformação e temperatura máxima de resistência ao serviço, ambas em graus Celsius.

Quadro 2.1 – Principais termoplásticos e termofixos utilizados na indústria:

	NOME GENÉRICO	ABREVIATURA	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO (°C)	TEMPERATURA MÁXIMA DE RESISTÊNCIA AO SERVIÇO (°C)
<b>TERMOPLÁSTICOS</b>	Acetato de Celulose	CA	1,34	184-230	60
	Acetato – Butirato de Celulose	CAB PA	1,22	160-200	70
	Poliamida (Nylon)	PVC	1,15	180-290	100
	Cloreto de Polivinila rígido	PVC	1,45	175-200	65
	Cloreto de polivinila flexível	PMMA	1,45	175-200	65
	Polimetilmetacrilato	PS	1,18	180-230	80
	Poliestireno	ABS	1,04	180-210	80
	Acrilonitrila – Butadieno	ABS	1,05	180-250	80
	Estireno	ABS			
	Acrilonitrila – Estireno	PEBD	1,08	220-240	85
	Polietileno baixa densidade	PEAD	0,92	150-175	90
	Polietileno alta densidade	PP	0,96	185-220	105
	Polipropileno	PC	0,91	200-220	140
	Policarbonato	POM	1,2	240-290	130
	Polioximetileno (Acetal)		1,4	175-190	95
<b>TERMOFIXOS</b>	Fenol – Formaldeído (Baquelite)	P.F U.F	1,37 1,45-1,55	149-177 135-188	160 135
	Ureia – Formaldeído (Ureia)	M.F	1,4-1,55	135-188	100
	Melanina (Melanina)	U.P	1,6-2,1	120-180	120
	Poliéster (com Fibra de Vidro)				

Fonte: Adaptação de Harada, 2004.

## 2.2 POLÍMEROS

Segundo Brydson (1999), polímeros são constituídos de macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais. São baseados em átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e em outros elementos não metálicos. Podem ser compostos por milhares de monômeros e ter uma estrutura linear, ramificada e em rede (reticulada). A ligação química entre os átomos da cadeia é covalente, enquanto a ligação intermolecular é uma ligação secundária, geralmente dipolar. Seus produtos derivados são geralmente leves, isolantes elétricos e térmicos, flexíveis e apresentam boa resistência à corrosão e baixa resistência ao calor.

Os polímeros, diferentemente das substâncias químicas de baixa massa molecular, são produtos heterogêneos, pois podem possuir uma mistura de moléculas de diferentes massas moleculares, apresentando, portanto, polimolecularidade. O número de meros na cadeia polimérica é chamado grau de polimerização.

As reações que levam à formação dos plásticos são chamadas polimerizações. Uma polimerização é uma transformação química nas quais moléculas pequenas, denominadas monômeros, juntam-se para formar moléculas gigantes, as macromoléculas. Uma polimerização lembra um jogo de encaixe onde a união de blocos pode formar cadeias de tamanhos variados, com ou sem ramificações (cadeias laterais ligadas às cadeias principais).

Dependendo dos monômeros e das condições de reação utilizados, pode-se obter uma enorme variedade de polímeros com propriedades específicas e que servem às mais diferentes aplicações. Para que uma reação de polimerização aconteça é necessário que os compostos de partida, isto é, os monômeros, possuam no mínimo funcionalidade igual a dois.

## 2.3 POLICLORETO DE VINILA (PVC)

PVC é o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo, com capacidade mundial de produção de resinas de PVC estimada em cerca de 36 milhões de toneladas ao ano (BRASKEM, 2006). No ano de 2009 a produção industrial brasileira de resina de PVC foi de 689.484 toneladas, somadas ainda à importação de 285.768 toneladas no ano de referência. Já em 2013, a demanda brasileira por PVC foi de 1,3 milhão de toneladas, sendo 12% superior à demanda do ano de 2012 (BRASKEM, 2015).

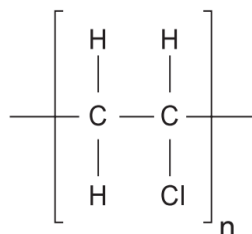
O PVC é considerado um dos polímeros mais mutáveis em função da capacidade de interagir com diferentes aditivos, o que pode alterar suas características dentro de um amplo espectro de propriedades, apresentando-se desde rígido a extremamente flexível e,

consequentemente, sendo utilizado em aplicações que vão desde tubos e perfis rígidos, para uso na construção civil, até brinquedos e filmes flexíveis utilizados no acondicionamento de alimentos, sangue, soro e plasma (BAZILIO, 2014).

O policloreto de vinila (PVC) é um termoplásticovinílico, obtido a partir da polimerização do monômero cloreto de vinila-MVC. O primeiro registro da reação de polimerização ocorreu em 1872, quando, Eugen Baumann detalhou a mudança de estado físico do cloreto de vinila, induzida pela luz solar, para um produto sólido branco, que imaginou ser um isômero do monômero (BRASKEM, 2006).

Porém somente em 1930, na Alemanha, teve início a produção comercial do PVC através da utilização da polimerização em emulsão. Em 1932 ocorreu o primeiro avanço para seu uso com a descoberta da utilização de plastificantes, o que possibilitou a solução de problemas relacionados à estabilidade e ao processamento térmico do PVC (BRASKEM, 2006).

O policloreto de vinila (PVC) é um polímero composto de monômeros, conforme modelo representativo, ilustrado na Figura 2.2:



Fonte: Braskem, 2006.

Figura 2.2: Modelo ilustrativo do polímero PVC.

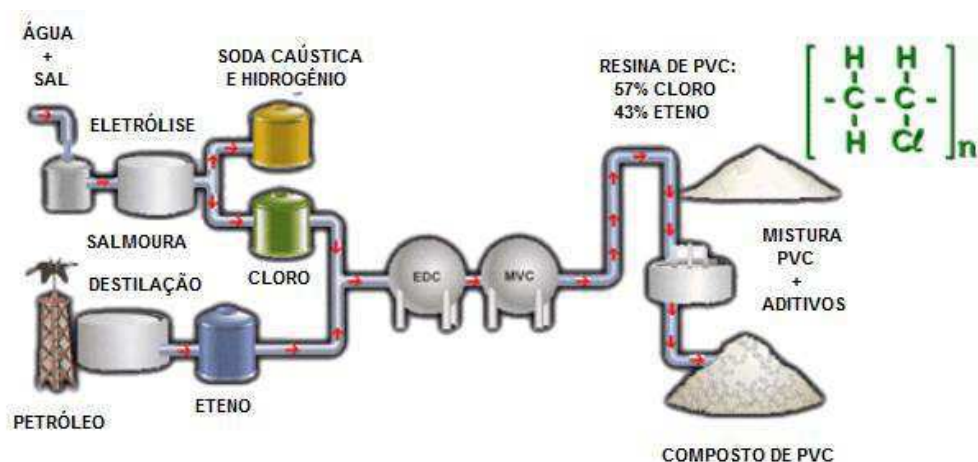
A estrutura entre colchetes é denominada unidade repetitiva ou mero, que repete-se n vezes ao longo da molécula, sendo que o parâmetro n representa o grau de polimerização da molécula, tendo relação direta com os pesos moleculares da mesma (BRASKEM, 2006).

O policloreto de vinila (PVC) é um dos mais importantes termoplásticos comercialmente produzidos na indústria química e um dos mais conhecidos e versáteis na produção de artefatos. A presença do cloro na molécula polimérica é a responsável pelo caráter natural anti-chama, auto extingüível e pelas inúmeras formas e propriedades do PVC (RODRIGO et al., 2009).

### 2.3.1 OBTENÇÃO DO PVC

O PVC é o único polímero de consumo em larga escala que não é 100% originário do petróleo. Sua composição contém, em peso, 57% de cloro (derivação do cloreto de sódio – sal de cozinha) e 43% de eteno (derivado do petróleo). (BRASKEM, 2006).

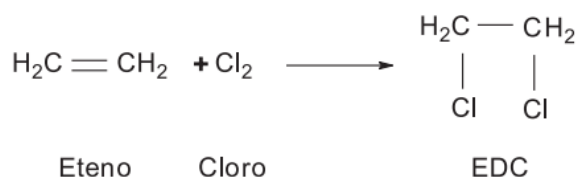
A partir do sal marinho, obtido pelo processo de eletrólise, obtém-se o cloro, soda cáustica e hidrogênio. Sendo assim, se dá a obtenção do cloro na resina de PVC, que pode ser facilmente compreendido pela Figura 2.3 (INSTITUTO DO PVC, 2015).



Fonte: Instituto do PVC (2015).

Figura 2.3: Fluxo simplificado para obtenção de PVC.

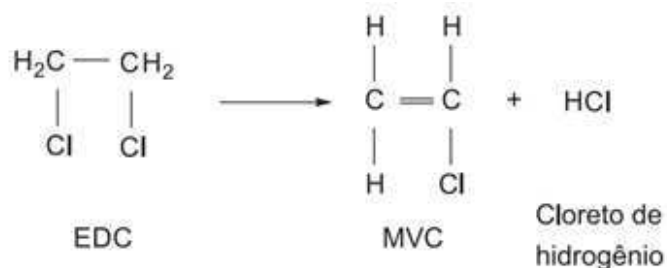
Para obtenção de eteno, o petróleo percorre um caminho mais longo. Inicialmente, o óleo cru passa por um processo de destilação, para obter-se a nafta leve. Essa é submetida ao processo de craqueamento catalítico (quebra grandes moléculas em menores com ação de catalizadores para aceleração do processo), gerando assim, o eteno. Tanto o cloro quanto o eteno encontram-se na fase gasosa, reagem produzindo o EDC (dicloreto etano), conforme mostra a Figura 2.4.



Fonte: Braskem, 2006.

Figura 2.4: Rota de obtenção do EDC por cloração direta.

É a partir do EDC que se obtém o MVC (mono cloreto de vinila, unidade básica do polímero), conforme Figura 2.5.

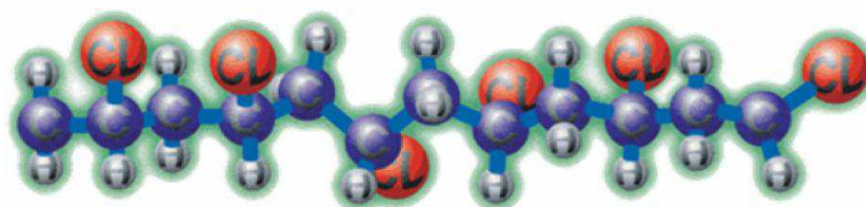


Fonte: Braskem, 2006.

Figura 2.5: Obtenção do MVC através do EDC.

Portanto, através do processo de polimerização, as moléculas de MVC, se ligam compondo-se numa molécula muito maior denominada de cloreto de vinila, que se caracteriza por ser um pó muito fino, de cor branca e totalmente inerte(BRASKEM, 2006).

Na imagem a seguir (Figura 2.6), após o processo de polimerização sofrido pelas moléculas de MVC, pode-se observar uma representação esquemática da molécula de policloreto de vinila (PVC).



Fonte: Instituto do PVC, 2012.

Figura 2.6: Representação ilustrativa de uma molécula de policloreto de vinila(PVC).

### 2.3.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO PVC

O PVC pode ser considerado um dos materiais termoplásticos mais versáteis, podendo ser classificados em dois grandes grupos: rígidos e flexíveis. Devido à necessidade da resina ser formulada mediante a incorporação de aditivos, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de uma gama de propriedades em função da aplicação final, variando desde o

rígido ao extremamente flexível, passando por aplicações que vão desde calçados até componentes utilizados na indústria aeronáutica.

No Quadro 2.2 apresentam-se as propriedades que facilitam a utilização do PVC na indústria em geral.

Quadro 2.2 – Propriedades e características do PVC:

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES (SI)	UNIDADES INGLESAS
Densidade	P	1,3 – 1,58	g/cm <sup>3</sup>	lbm/in <sup>3</sup>
Módulo de elasticidade	E	2,41 - 4,14	GPa	10 <sup>6</sup> psi
Limite de escoamento	$\sigma_y$	40,7 – 44,8	MPa	Ksi
Limite de resistência	TS	40,7 – 51,7	MPa	Ksi
Alongamento percentual	% EL	40 – 80	-	-
Dificuldade a fratura	K <sub>lc</sub>	2,0 – 4,0	MPam <sup>1/2</sup>	Ksiin <sup>1/2</sup>
Coefficiente de expansão térmica	A <sub>1</sub>	90 – 180	°C	-
Condutividade térmica	K	0,15 – 0,21	W / m . K	Btu/ft.h.°F
Calor específico	E	1050 – 1460	J/ Kg . K	10-2Btu / lb°F
Resistividade elétrica	$\rho_e$	>1E + 14	$\Omega$ . m	$\Omega$ . feet

Fonte: Adptado de Braskem, 2006.

A grande versatilidade do PVC deve-se, em parte, também à sua adequação aos mais variados processos de moldagem, que serão apresentados posteriormente. Podendo ser injetado, extrudado, calandrado e espalmado, somente para citar algumas das alternativas de transformação.

### 2.3.3 ADITIVOS

O PVC sem o uso de aditivos fica restrito a apenas a alguns poucos tipos de aplicação, como os tubos para água e esgoto. A incorporação de aditivos além de alterar as propriedades



do PVC, permitindo seu processamento nos diversos processos industriais, agem também como prolongadores da vida útil, conservando os componentes das máquinas usados no seu beneficiamento. No Quadro 2.3, pode-se verificar os principais aditivos e seus efeitos na formulação de PVC.

Quadro 2.3 - Principais aditivos e seus efeitos na formulação de PVC.

ADITIVOS	USADO EM RESINAS DE		EFEITO NA FORMULAÇÃO
	MICRO-SUSPENSÃO OU EMULSÃO	SUSPENSÃO	
Agentes de expansão	SIM	SIM	Formação de estruturas celular, com consequente redução de densidade.
Antibloqueios	NÃO	SIM	Redução da aderência entre camadas de filmes de PVC.
Antiestáticos	NÃO	SIM	Redução da tendência de formação de cargas estáticas superficiais.
Antifogging (tensoativos)	NÃO	SIM	Redução da tendência de embaçamento em filmes de PVC decorrentes da condensação de umidade ou vapor.
Biocidas	SIM	SIM	Redução da tendência de formação de colônias de fungos e bactérias em aplicações flexíveis.
Cargas	SIM	SIM	Redução de custos e alteração de propriedades mecânicas, térmicas e dielétricas.
Deslizantes (slip)	NÃO	SIM	Redução do coeficiente de atrito entre camadas de filmes de PVC.
Desmoldantes	SIM	SIM	Redução da tendência de adesão às paredes dos moldes.
Espessantes	SIM	NÃO	Aumento da viscosidade de plastisol.
Estabilizantes	SIM	SIM	Inibição das reações de degradação pelo calor, luz e agentes oxidantes.
Lubrificantes	NÃO	SIM	Lubrificação interna e/ou externa, com consequente redução da fricção durante o processamento.
Modificadores de fluxo	NÃO	SIM	Alteração do comportamento de fluxo durante o processamento.
Modificadores de impacto	NÃO	SIM	Aumento da resistência ao impacto.
Pigmentos	SIM	SIM	Modificação da aparência.
Plastificantes	SIM	SIM	Modificação da dureza e da flexibilidade.
Redutores de viscosidade	SIM	NÃO	Redução de viscosidade de pastas.
Retardantes de chama	SIM	SIM	Modificação das características de inflamabilidade.
Solventes	NÃO	SIM	Formação de soluções com o PVC.

Fonte: Adaptado de Braskem, 2006.

### **2.3.4 PIGMENTOS**

Os pigmentos, além da função de dar cor a diversos produtos à base de PVC, podem agir como agentes estabilizadores de aditivos anti-UV (radiação ultravioleta).

Estes aditivos são separados em dois tipos: corantes e pigmentos. A principal diferença entre eles é que os pigmentos são insolúveis no polímero, enquanto os corantes são totalmente solúveis. A indústria de PVC em geral usa em sua grande maioria os pigmentos devido a sua facilidade de processamento e qualidade no produto final em relação a uniformização da cor e resistência aos fatores como radiação UV.

Os pigmentos podem ser adicionados de várias formas diferentes nos compostos de PVC. Os mais comuns são em forma de mistura seca, pasta, líquido e Masterbatch (são concentrados de pigmentos, corantes ou aditivos), sendo este último utilizado com maior frequência. A adição do Masterbatch pode ser feita em misturadores simples do tipo tambor ou diretamente em dosadores (LIMA, 2012).

### **2.3.5 RECICLAGEM DE PVC**

Uma das grandes preocupações do mundo moderno é justamente uma das maiores vantagens do PVC, a durabilidade. A maioria dos compostos a base desse polímero tem vida útil com média de cinquenta anos podendo chegar até cem anos.

O PVC gera apenas cerca de 0,8% do peso correspondente a todo plástico depositado em lixões e aterros em geral, porém, esta baixa porcentagem se deve ao seu baixo peso em relação ao seu volume.

Assim como a facilidade que tem para receber aditivos, o PVC também se mostra muito versátil na reciclagem. Praticamente todos os materiais feitos de PVC podem ser reaproveitados para a criação de novos produtos.

O processo de reciclagem dos produtos de PVC pode ocorrer em três formas distintas:

- **Reciclagem Mecânica**- consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para aproveitamento do material descartado, o transformado em material apto para a fabricação de novos produtos. Quando o material descartado é proveniente de aparas de indústrias de transformação denomina-se reciclagem primária, enquanto no caso do

material pós-consumo retirado do resíduo sólido urbano o processo é denominado reciclagem secundária.

- Reciclagem Química- consiste em processos tecnológicos de conversão do resíduo do PVC em matérias-primas petroquímicas básicas. Alguns processos encontram-se disponíveis para reciclagem química do PVC, consistindo nas seguintes rotas: Hidrogenação do resíduo, pirólise, gaseificação, incineração.
- Reciclagem Energética- consiste na compactação dos resíduos e subsequente incineração, convertendo a energia química contida nos mesmos em energia calorífica ou eletricidade. Os gases gerados nesse processo são tratados para reduzir o impacto sobre a atmosfera, enquanto as cinzas resultantes do processo de incineração são dispostas em aterros adequados.

## **2.4 OS MATERIAS PLÁSTICOS NA INDÚSTRIA DE CALÇADOS**

Uma das principais tendências da produção de calçados é a substituição do couro natural por outros produtos, naturais ou sintéticos. Devido à escassez do couro natural, frente à crescente demanda e também por causa da preferência dos curtumes pelo mercado de exportação, entre outros fatores, tem-se presenciado um relativo aumento na utilização de materiais sintéticos, tais como polímeros, borracha, e compostos artificiais.

Segundo Hassan (2009), a indústria de materiais plásticos é uma das indústrias de maior crescimento do mundo sendo classificada como uma das indústrias de bilhões de dólares. Quase todos os produtos que são utilizados diariamente envolvem o emprego de materiais plásticos e muitos destes produtos podem ser produzidos pelo método de injeção de plásticos. O processo de moldagem por injeção representa o mais importante processo para a fabricação de peças plásticas. Adequado para produção em massa de produtos, pois a transformação da matéria-prima ocorre por um processo relativamente simples.

Os materiais poliméricos aparecem nos calçados com o intuito de baixar custos e dar ao calçado determinadas características que não seriam possíveis com outros tipos de materiais disponíveis. Os principais polímeros utilizados no setor são: PU, PVC e EVA (NEVES et al., 2010).

Conforme dados da ABIPLAST (2008), de toda a segmentação do mercado de transformação de plástico no Brasil, estima-se que 4,8% dos materiais plásticos sejam

utilizados na indústria de calçados. Na Figura 2.7 apresenta-se a divisão do mercado de plásticos por segmento no Brasil, utilizando como referência os dados da ABIPLAST de 2008.

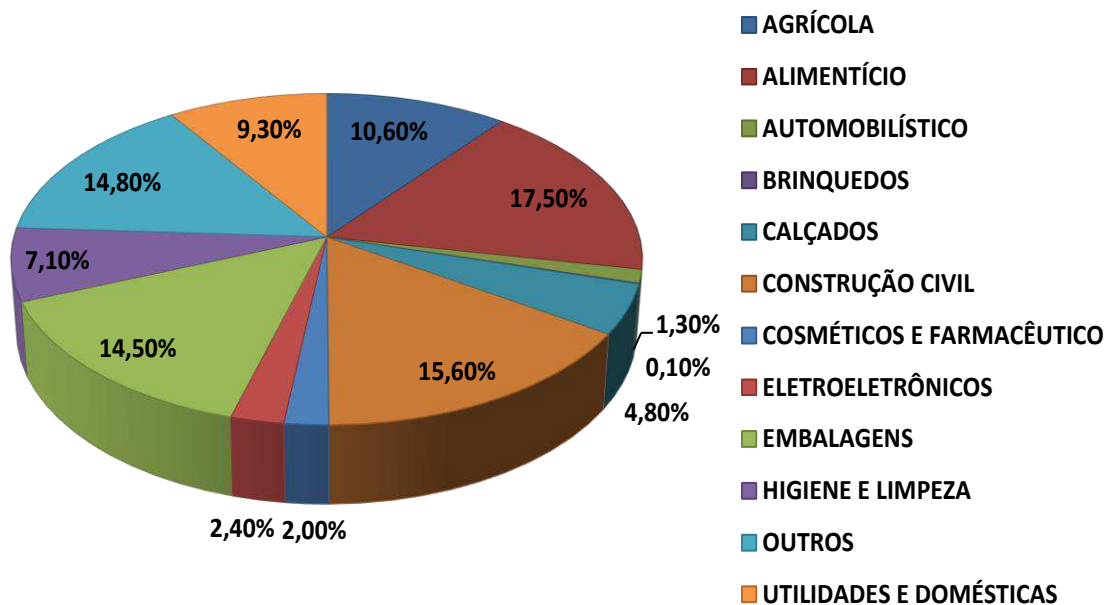


Figura 2.7: Segmentação do Setor Plástico em 2008.

Fonte: Adaptado de ABIPLAST, 2008.

#### 2.4.1 PVC NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

A utilização de produtos fabricados por termoplásticos tem crescido vertiginosamente nas últimas décadas, em especial na indústria calçadista. Os materiais plásticos são encontrados em diversos segmentos da indústria, a citar: automobilístico, construção civil, calçados, eletroeletrônicos, embalagens, brinquedos, dentre outros bens de consumo.

No segmento de calçados, o PVC surge como excelente opção para a confecção de solados e outros componentes, expandidos ou compactos, com os quais podem ser produzidas tanto sandálias inteiramente moldadas em uma única etapa, quanto calçados mais sofisticados, nos quais acabamentos elaborados como transparência ou brilho podem ser dosados mediante a correta formulação do composto injetado.

O PVC é bastante utilizado na obtenção de cabedais injetados em função da grande versatilidade de modelos e cores, além do custo-benefício apresentados pelo processo de fabricação.

Segundo Sachelli (2000), destaca-se como vantagens principais do processo de injeção de termoplásticos: a grande produção com tempo relativamente curto; fabricação de produtos com formas, cores e tamanhos variados; injeções simultâneas de diferentes polímeros em formas complexas; baixo refugo residual e reprocessamento de material; baixo acabamento posterior; diversas aplicações em áreas industriais e altas precisões dimensionais.

#### **2.4.2 TIPOS DE PROCESSOS PARA O BENEFICIAMENTO DO PVC NA INDÚSTRIA**

Em função de suas propriedades isolantes, baixa inflamabilidade, custo reduzido e flexibilidade em larga faixa de temperatura, os compostos de PVC se adequam aos mais variados processos de moldagem, até chegar aos consumidores na forma de objetos.

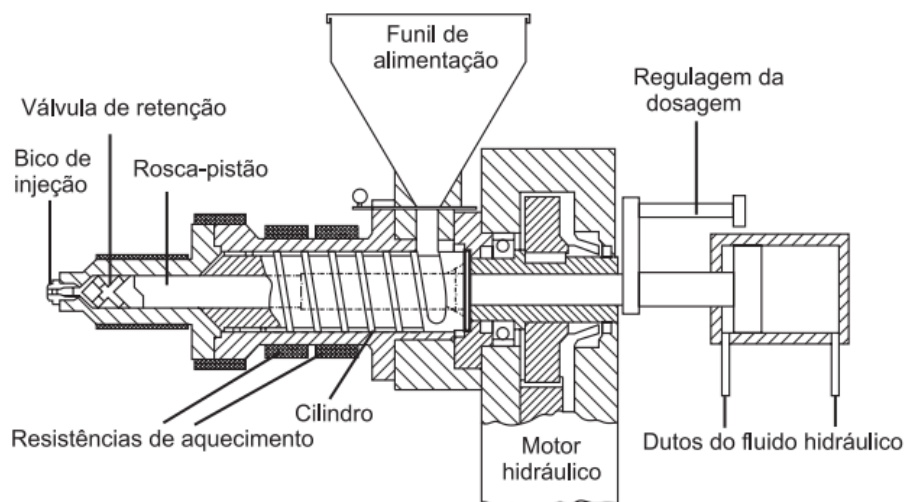
A mistura composta pela resina polimérica e diferentes aditivos deve ser moldada para adquirir a forma do objeto desejado. Vários são os processos de moldagem, no qual podemos citar: vazamento, fiação por fusão, compressão, calandragem, injeção, extrusão, sopro, etc. Na grande maioria dos casos, a mistura passa por um estado fluido, pela ação do calor, com ou sem pressão. Os processos mais comuns estão descritos de forma resumida abaixo, sendo explorado com maior nível de detalhamento, o processo de injeção, ao qual foram obtidas as amostras de cabedais monocores, objeto deste estudo.

- **Processo de vazamento:** é um processo simples pelo qual a mistura é vertida ou vazada em um molde, sob a forma de uma solução viscosa.
- **Processo de fiação por fusão:** a mistura fundida passa através de orifícios de uma placa (fieira), formando filamentos viscosos que se solidificam e são enrolados em bobinas. É indicado para obtenção de fios.
- **Processo de compressão:** consiste em comprimir a mistura aquecida dentro da cavidade de um molde. Este processo é muito usado para termorrígidos.
- **Processo de sopro:** ideal para obtenção de peças ocas pela insuflação de ar no interior do molde. É muito usado na fabricação de frascos a partir de resinas termoplásticas.
- **Processo de calandragem:** consiste na alimentação do PVC, previamente fundido, entre dois cilindros de alimentação que o comprimem para a formação de um filme ou chapa de espessura desejada, obtida por meio da passagem posterior do composto pela abertura de uma sequência de cilindros.

- **Processo de extrusão:** a mistura polimérica passa através de uma matriz com o perfil do objeto desejado e é resfriada tornando-se sólida. O processo de moldagem por extrusão é uma das técnicas de processamento mais úteis e uma das mais utilizadas para converter compostos de PVC em produtos comerciais. Considera-se que entre 45 e 50% de todos os produtos de PVC são obtidos através do processo de moldagem, por meio da incorporação de aditivos que permitem seu uso numa ampla diversidade de produtos, dentre os quais, filmes para embalagens, fios e cabos elétricos, chapas, perfis diversos e tubos.
- **Processo de injeção:** a mistura fundida é introduzida no molde por intermédio de pressão exercida por um êmbolo. (PIATTI e RODRIGUES, 2010)

### 2.4.3 PROCESSO DE INJEÇÃO

O processo de moldagem por injeção faz uso de equipamentos convencionais de moldagem do tipo rosca-pistão. Esses equipamentos possuem, dentro do cilindro de plastificação, uma rosca sem fim semelhante à descrita e utilizada no processo de extrusão com rosca única. A diferença básica entre os processos é que, no caso da injeção, a rosca possui em seu final um anel de bloqueio que permite a passagem do composto fundido no momento da dosagem e impede seu refluxo no momento da aplicação da pressão de injeção (MANRICH, 2005), conforme esquema apresentado na Figura 2.8.



Fonte: Braskem, 2006.

Figura 2.8: Representação esquemática de um conjunto de injeção do tipo rosca-pistão.

De forma simples, a moldagem por injeção de termoplásticos é um processo cíclico onde o polímero granulado é fundido por cisalhamento e aquecimento, e forçado para o interior de uma cavidade localizada entre placas que irão resfriá-lo. A peça moldada é ejetada após sua solidificação e assim o processo é repetido várias vezes (VARELA, 2000).

Segundo Pouzada (1998), as fases de injeção podem ser divididas em: fechamento e injeção do polímero na cavidade do molde; a de compressão: em pressurização e plastificação; a de resfriamento: em refrigeração, abertura, ejeção, pausa até o reinício do próximo ciclo.

A fase de resfriamento é de extrema importância porque ela responde pelo maior dos tempos das fases. Durante esta fase, o calor é transferido por condução para as paredes frias do molde, diminuindo a temperatura do polímero fundido. O fluxo do calor depende primeiramente da difusividade térmica do polímero e do gradiente de temperatura entre o fundido e as paredes do molde. Canais de resfriamento mantêm uma determinada temperatura na superfície da cavidade, desta forma melhora a razão de calor transferido do plástico para o molde. Otimizando esta transferência, consegue-se uma melhor qualidade no processo. As fases de compressão, recalque e resfriamento determinam as dimensões, bem como o peso e as tensões residuais no produto final (MANERO, 1996).

Segundo Braskem (2006), o processo de moldagem por injeção pode ser descrito simplificadamente em seis etapas, que constituem o chamado ciclo de injeção:

a) **Fechamento do molde:** o ciclo de moldagem é iniciado pelo fechamento e travamento do molde, necessário para suportar a altíssima pressão no interior da cavidade no momento da injeção. Os equipamentos atuais de injeção variam este valor desde 30 toneladas até mais de 1000 toneladas;

b) **Dosagem:** plastificação e homogeneização do composto no cilindro de injeção, conseguidas por meio do movimento de rotação da rosca recíproca e de aquecimento do cilindro por resistências elétricas. Parâmetros importantes na etapa de dosagem são a temperatura do cilindro, a velocidade de rotação da rosca e a contrapressão da rosca.

c) **Injeção:** trata-se da injeção do composto fundido para o interior da cavidade (ou cavidades) do molde por meio do movimento linear de avanço da rosca recíproca e bloqueio do contrafluxo pela ação do anel de bloqueio. Parâmetros importantes nessa etapa são a pressão e a velocidade de injeção, sendo que ambas podem ser escalonadas para promover o preenchimento uniforme das cavidades. Outro aspecto importante diretamente

relacionado à etapa de injeção refere-se aos canais de injeção e aos pontos de injeção das cavidades do molde.

d) **Recalque:** finalizado o preenchimento das cavidades, a pressão nas mesmas é mantida até a solidificação completa dos pontos de injeção. Essa manutenção da pressão nas cavidades é conhecida como recalque, e se destina a compensar a contração da peça moldada durante seu resfriamento, evitando a ocorrência de defeitos de moldagem como os chamados “rechupes” e outras imperfeições, bem como perda de parâmetros dimensionais.

e) **Resfriamento:** finalizada a etapa de recalque, a peça é mantida no molde fechado para complementação de sua solidificação. Paralelamente à etapa de resfriamento sem aplicação de pressão na cavidade, o processo inicia um novo ciclo de dosagem de composto para a próxima injeção. O resfriamento prossegue até que a peça moldada apresente resistência mecânica suficiente para poder ser retirada do molde sem sofrer deformações ou perda de parâmetros dimensionais;

f) **Extração:** encerrada a etapa de resfriamento o molde é aberto e a peça extraída por ação de extratores mecânicos ou, mais comumente, hidráulicos ou elétricos. Alguns produtos podem ser extraídos com o auxílio de ar comprimido ou pela simples interferência do operador da máquina injetora. O ciclo de moldagem é então reiniciado por um novo fechamento do molde e etapas posteriores.

## 2.5 MÁQUINAS INJETORAS

Conforme GERMANO (2010), é uma máquina para transformação do material plástico granulado em peças plásticas de grande precisão de forma e dimensões. Em um processo cíclico, repetitivo e altamente controlado, mediante aplicação de calor e pressão, funde e transfere a resina ao interior de um molde de injeção onde o produto é formado.

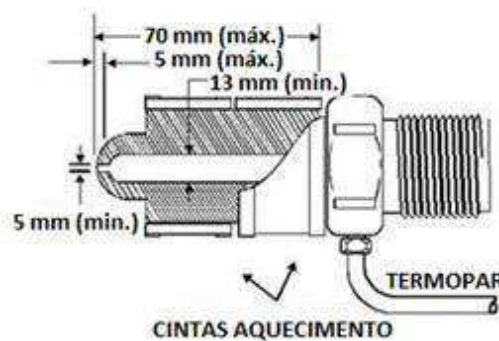
Para se determinar o tamanho de uma injetora, para processar materiais de engenharia, dois fatores básicos deverão ser levados em conta: o peso total do injetado (peças + galhos provenientes das injeções); e a área total projetada da peça. Resultados satisfatórios podem ser obtidos quando o peso total da peça injetada corresponde de 30-80% da capacidade da injetora. O uso da capacidade abaixo de 30% poderá causar degradação da massa fundida por excesso de tempo de residência.



Existem componentes que fazem parte do conjunto injetor que interferem direta no processo convencional de injeção de PVC, os três mais importantes são: bico, válvula de não retorno, cilindro e rosca. Abaixo uma breve explanação acerca de cada componente citado:

### 2.5.1 BICO DE INJEÇÃO

Para os materiais indicados para o processo de injeção direta é recomendado o uso de bicos (Figura 2.9) curtos. O diâmetro do orifício deve ser no mínimo de 5,0 mm para materiais não reforçados, e 8,0 mm para materiais reforçados. O comprimento do orifício não deve ser maior que 5,0 mm. O diâmetro interno do corpo do bico deve ser no mínimo de 13,0 mm. Para melhores resultados, o diâmetro do bico deverá ser 1,0 mm inferior ao menor diâmetro da bucha.



Fonte: Adaptado do manual HIMACO.

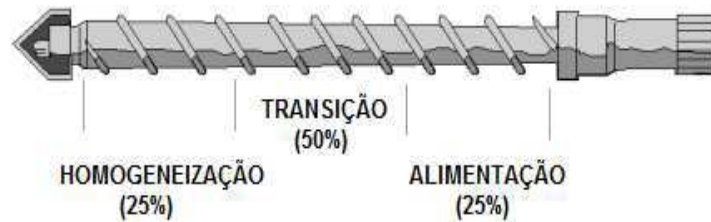
Figura 2.9: Desenho esquemático do bico de injeção.

O aquecimento deve ser feito por cintas e, o termopar deve estar localizado próximo ao orifício de saída. Quando necessário for o uso de bicos longos, o aquecimento deverá ser feito por cintas independentes, neste caso a densidade de potência deverá ser rigorosamente a mesma. O bico deve ser construído com aço SAE 1045 ou equivalente, o qual, além de possuir baixo custo, é macio e acomoda-se bem à bucha de injeção, dificultando o vazamento de material.

### 2.5.2 CILINDRO E ROSCA

É importante ressaltar que cilindros e roscas de injeção (Figura 2.10) podem ser construídos com vários tipos de metais, ligas e tratamentos superficiais, sendo que algumas

combinações de materiais podem oferecer uma proteção ou durabilidade maior que outras. Geralmente, os cilindros são construídos com uma liga de Níquel - Cobalto - Cromo. As roscas são construídas em aço inoxidável, 17-4 PH, e revestidas com algum material para aumentar sua dureza.



Fonte: Adaptado do manual HIMACO

Figura 2.10: Desenho esquemático de uma rosca de injeção de uso geral.

Na Figura 2.10 podem ser observadas três regiões em que se divide a rosca de injeção:

- (I) *Alimentação* - Geralmente é curta, aproximadamente cinco filetes, tem por finalidade transportar os grânulos sólidos para a próxima região, o diâmetro do núcleo permanece constante e o ângulo de inclinação dos filetes é da ordem de 15-20°;
- (II) *Compressão (ou plastificação)* - É a maior parte da rosca, geralmente 11 filetes, é a zona onde se inicia a plastificação devido ao aumento constante do diâmetro do seu núcleo, que fará comprimir e cisalhar o material plástico, nesta região o material já está, praticamente todo fundido;
- (III) *Homogeneização* - Região final da rosca, geralmente com 04 filetes, com profundidade rasa e diâmetro do núcleo constante, nesta zona a plastificação é completada e o material atinge sua máxima homogeneidade.

Geometricamente, a rosca define duas outras características:

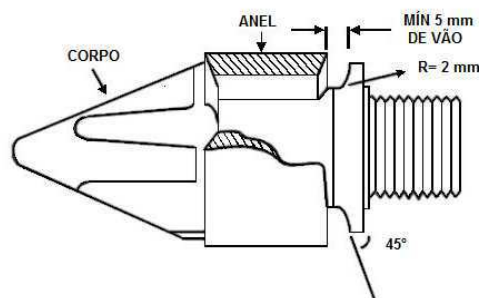
a) Relação comprimento / diâmetro (L/D): Para materiais de engenharia esta relação deve ser de 18-24:1, deve-se salientar que quanto maior esta relação, maior será o tempo de

trabalho mecânico que o material irá sofrer, bem como maior será o tempo de residência sob ação do calor.

b) Taxa de Compressão: É a relação entre os volumes de um passo da região de alimentação e outro da região de homogeneização (na prática é usada a altura dos filetes destas regiões, com erro insignificante), para materiais de engenharia a taxa de compressão varia de 1,5-3,0: 1, deve-se ter em mente que quanto maior a taxa de compressão, maior será o trabalho mecânico sofrido pelo material, conseqüentemente mais calor será gerado devido ao atrito maior entre o material e as paredes da rosca e do cilindro.

### 2.5.3 VÁLVULA DE NÃO RETORNO

Para o processo de matérias de plásticos são recomendadas as válvulas do tipo anel (Figura 2.11). É importante ressaltar que as do tipo bola não são recomendadas, pois podem causar excessivo cisalhamento do material, conseqüentemente degradação.



Fonte: Adaptado do manual HIMACO

Figura 2.11: Desenho esquemático de uma válvula de não retorno.

### 2.5.4 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE INJEÇÃO

#### a) INJETORA

Deve possuir no mínimo 03 zonas de aquecimento, com controle de temperatura individual, os quais devem ser periodicamente calibrados a fim de manter a precisão das temperaturas necessárias ao processo.

Cada material possui características reológicas que necessitam desenhos de rosca adequados para a obtenção do moldado de boa qualidade. Cada rosca deve ser projetada de forma a fundir o material antes da injeção, promover a homogeneização da temperatura do fundido, a dispersão de pigmentos e/ ou aditivos bem como manter a temperatura, pressão e cisalhamento sobre controle para não provocar a degradação do material. Detalhes sobre o desenho de rosca para cada material podem ser vistos em manuais de fabricantes de máquinas, decorrentes da aplicação requerida.

b) **MATRIZ**

Devem ser projetados com dutos de aquecimento e canais de injeção e distribuição adequados aos plásticos em geral.

c) **BARRIL**

Deve ser dimensionado de forma que o peso do injetado (peças + galhos) fique em torno de 40-80% da capacidade do barril. Para se conseguir bons resultados nas peças moldadas, é conveniente manter sob controle algumas variáveis que podem interferir no processo.

d) **PRESSÃO DE INJEÇÃO**

A pressão de injeção é a pressão necessária para promover o preenchimento da cavidade pelo material plástico fundido. A intensidade da pressão de injeção depende de alguns fatores:

- **Tipo de material:** Quanto maior a viscosidade do material, mais difícil se torna o preenchimento da cavidade, portanto a pressão necessária para fazer o material fluir e preencher a cavidade será maior. No caso de materiais com fibra de vidro, deve-se procurar trabalhar com pressão de injeção baixa para manter a integridade da fibra de vidro.
- **Complexidade da peça:** Curvas, ressaltos, nervuras e paredes finas dificultam o fluxo do material dentro da cavidade além de causar resfriamento precoce do material, causando aumento da viscosidade e, portanto dificultando o fluxo do material. Devido

a estes obstáculos o nível da pressão de injeção deve ser maior que em peças menos complexas.

- **Temperatura do molde:** Quanto maior a temperatura do molde, menor será a perda de temperatura do material durante o preenchimento da cavidade, diminuindo assim o aumento da viscosidade do material. Dessa forma, é possível utilizar pressão de injeção menor quando se utiliza temperaturas apropriadas no molde.
- **Canais de injeção e pontos de entrada:** Canais de injeção e distribuição e pontos de injeção estrangulados dificultam a passagem do material fundido, necessitando maior pressão de injeção para preencher a cavidade.

De uma forma geral, a pressão de injeção ideal para uma determinada peça, pode ser determinada iniciando a injeção com pressão baixa e ir aumentando até se obter peças de boa qualidade.

#### e) **PRESSÃO DE RECALQUE**

A pressão de recalque começa a atuar quando a peça já está completa. Sua função é manter o material compactado até que se torne sólido novamente, evitando que ocorra chupagem (rechupe). A intensidade da pressão e o tempo de atuação dependem de alguns fatores como:

- **Temperatura do molde:** Moldes excessivamente quentes retardam a solidificação do material e aumentam a contração de moldagem do material, necessitando tempo de atuação e intensidade maior da pressão de recalque.
- **Projeto da peça:** Paredes grossas dificultam o resfriamento do material, portanto a pressão de recalque deve ser regulada para que atue até que o material esteja solidificado.

#### f) **CONTRA PRESSÃO**

A contra pressão é a pressão que se opõe ao retorno da rosca durante a dosagem do material. Quanto maior a contra pressão, maior é a dificuldade do retorno da rosca, aumentando o cisalhamento no material. Tal fator é conveniente apenas quando se deseja melhorar a homogeneização de Masterbatch (composto plástico de um ou mais aditivos em alta concentração, usado em segmentos da indústria de transformação plástica), por exemplo.

Com relação aos materiais, quanto menor o cisalhamento, melhor será a manutenção das propriedades do material. Recomenda-se, portanto, utilizar baixa contra pressão (Máx. 5 Kgf/cm<sup>2</sup>), o suficiente para garantir que o material a ser injetado esteja isento de bolhas.

#### **g) VELOCIDADE DE INJEÇÃO**

A velocidade de injeção pode ser traduzida como o tempo de preenchimento da cavidade da matriz pelo material fundido. Portanto, quanto maior a velocidade de injeção menor será o tempo de preenchimento da cavidade. Para se processar os materiais de engenharia, é recomendada a utilização de velocidade de injeção média - rápida, pois dessa forma pode-se evitar o congelamento prematuro do material e conseqüentemente falha na peça.

No início de produção, deve-se proceder como no caso da pressão de injeção, ou seja, iniciar o processo com velocidade lenta a fim de evitar-se o surgimento de rebarbas ou danos no molde e elevá-la conforme a necessidade da peça.

#### **h) ROTAÇÃO DA ROSCA**

Quanto maior a rotação da rosca, maior será a homogeneização do material e mais rápida será a etapa de dosagem do material, refletindo em ciclos menores de moldagem. Porém o maior atrito gerado no material é prejudicial, podendo causar degradação do termoplástico. Para conciliar ciclo de moldagem, homogeneização e conservar as propriedades do material, recomenda-se 40 a 80 RPM.

#### **i) TEMPERATURA NO MOLDE**

O bom controle da temperatura na ferramenta (matriz) é determinante no acabamento superficial da peça, tensões internas, contração e estabilidade dimensional. Para se obter controle de temperatura eficiente no molde é necessário que os canais de aquecimento ou refrigeração sejam bem projetados de forma a distribuir uniformemente o calor ou água gelada por todo a matriz. A uniformidade da temperatura no molde é crucial para materiais cristalinos, porque dela depende a uniformidade da cristalização do material e, portanto a estabilidade dimensional do moldado.

## **j) TEMPERATURA DO CILINDRO E MASSA**

Normalmente os termoplásticos de engenharia são injetados com temperaturas que variam entre 240°C e 320°C. Existem casos especiais, como os do PVC, que são injetados a uma temperatura inferior a 190°C. Apesar da temperatura elevada, estes materiais podem ser processados sem problemas em equipamentos comuns, bastando utilizar mantas elétricas de maior potência.

Cada resina em particular possui um perfil médio de temperatura característico, o qual pode apresentar variações em função do tempo de residência do material no cilindro, complexidade da peça e projeto do molde. Quando se dispõe de condições normais de injeção, ou seja, tempo de residência entre 5 e 8 minutos, peso do injetado entre 40 e 80% da capacidade da máquina, molde e rosca bem projetados, utiliza-se perfis de temperatura ascendentes, conforme podemos observar nas figuras abaixo. Em casos críticos, onde o peso do moldado se aproxima de 40% da capacidade de injeção ou o tempo de residência é muito alto, deve-se trabalhar no limite mínimo do perfil de temperatura a fim de se evitar degradação térmica do material.

### **2.5.5 TIPOS DE INJETORAS**

Os calçados geralmente são moldados em compostos de PVC flexível expandido, normalmente podendo ser injetados em máquinas rotativas, verticais e horizontais, conforme apontado a seguir:

#### **a) Injetora Rotativa**

As injetoras rotativas apresentam um ou mais conjuntos de injeção que injetam continuamente material em moldes dispostos em um carrossel. Esse processo de injeção demanda tempos de resfriamento normalmente demorados em função do grande volume das peças moldadas que, para não limitar a capacidade de injeção do processo e conseqüentemente sua produtividade, fazem da rotação dos moldes uma alternativa para melhor aproveitamento da capacidade da máquina. A Figura 2.12 mostra uma máquina injetora rotativa.



Fonte: Adaptado do Catálogo INJEMAC.  
Figura 2.12: Máquina injetora rotativa.

### **b) Injeção Vertical**

São máquinas nas quais o sistema de fechamento e os movimentos do molde ocorrem no eixo vertical. A Figura 2.20 mostra a máquina de injeção vertical.



Fonte: Adaptado do Catálogo INJEMAC.  
Figura 2.13: Máquina injetora vertical.

### **c) Injeção Horizontal**

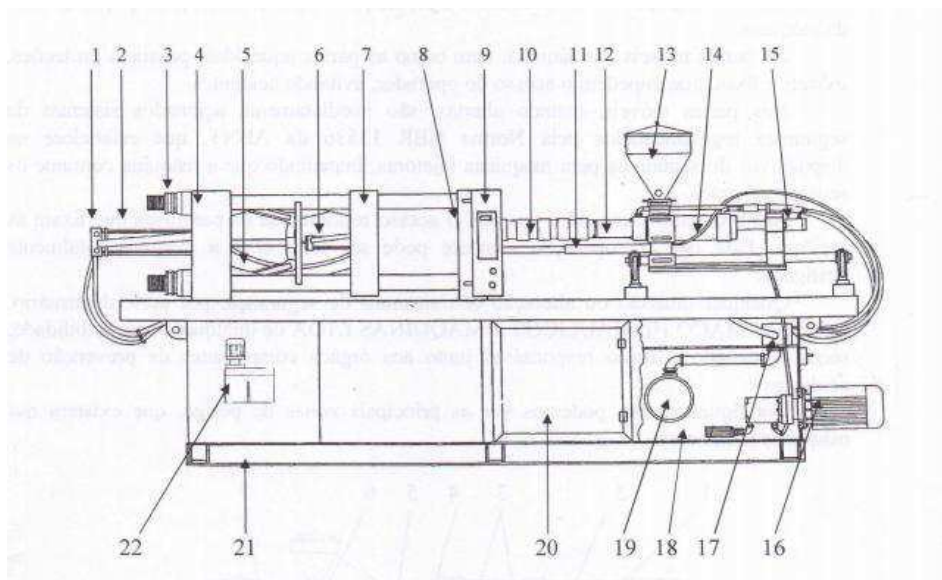
Injetoras horizontais são máquinas nas quais o sistema de fechamento responsável pela movimentação do molde ocorre no eixo horizontal. A Figura 2.14 mostra a máquina injetora horizontal e Figura 2.15 aponta a divisão das principais partes integrantes. Esta foi em função das amostras de cabedais terem sido produzidas numa máquina similar.





Fonte: Adaptado do Catálogo INJEMAC.

Figura 2.14: Máquina injetora horizontal.



ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
1	BLOCO HIDR. DO FECHAMENTO	12	CILINDRO DE DESCOMPRESSÃO
2	CILINDRO DE FECHAMENTO	13	FUNIL
3	REG. ALTURA DO MOLDE	14	CILINDRO DE INJEÇÃO
4	PLATÔ DA TESOURA	15	MOTOR HIDRÁULICO
5	BRAÇOS ARTICULADOS TESOURA	16	CONJUNTO MOTO-BOMBA
6	EXTRAÇÃO (MEC. OU HIDR)	17	UNIDADE HIDRÁULICO
7	PLATÔ MÓVEL	18	RESERVATÓRIO DE ÓLEO
8	PLATÔ DO BICO	19	TROCADOR DE CALOR
9	PAINEL DE COMANDO	20	ARMÁRIO ELÉTRICO
10	CILINDRO DE PLASTIFICAÇÃO	21	BASE
11	CILINDRO DE ENCOSTO DO BICO	22	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

Fonte: Adaptação do Manual Himaco, 2010.

Figura 2.15: Representação esquemática de uma injetora horizontal.

Quadro 2.4 – Principais defeitos de injeção e possíveis soluções:

SOLUÇÕES PARA UMA BOA INJEÇÃO Para obter uma boa injeção e um rendimento satisfatório da máquina, devemos observar a tabela abaixo.	DEFEITOS															
	Há perda de material entre o bico e molde	Há rebarbas na peça	A rosca não retorna	A peça não se completa	A peça moldada apresenta contrações superficiais	A peça apresenta rechupe	Exfoliações sobre a superfície da peça	Estrias devido ao deslizamento do material	A peça apresenta ondulações superficiais	Há manchas sobre a peça	Há pontos opacos sobre a peça	A superfície da peça apresenta estrias coloridas	A peça se deforma após o resfriamento	A peça adere à superfície do molde	A peça é fraca	Os condutores de massa se rompem
SOLUÇÕES																
Aumentar a pressão de injeção				0	0	0		0	0	0			0			0
Diminuir a pressão de injeção		0								0			0			
Aumentar a pressão de recalque				0	0	0			0							
Diminuir a pressão de recalque		0								0			0			
Aumentar tempo de pressão de recalque				0	0	0			0	0			0			0
Diminuir tempo de pressão de recalque		0														
Aumentar a temperatura do ciclo de plastificação			0	0				0			0	0				
Diminuir a temperatura do ciclo de plastificação		0			0	0		0	0	0			0	0	0	0
Diminuir a temperatura da zona de carga			0												0	
Aumentar a temperatura da rosca				0							0					0
Diminuir a temperatura da rosca										0	0					
Aumentar a velocidade da rosca															0	
Diminuir a velocidade da rosca						0		0	0		0	0	0	0	0	
Aumentar a velocidade de injeção				0				0								
Diminuir a velocidade de injeção					0	0		0		0	0	0	0	0	0	
Aumentar a contra pressão da rosca				0	0	0			0		0		0		0	
diminuir a contra pressão da rosca		0	0													
Limpar a rosca										0	0					0
Apertar bem o bico										0	0					
Aumentar o furo do bico				0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	0
Verificar o alinhamento do bico com o molde	0							0		0						0
Verificar o ângulo do bico com o molde	0															0
Regular o limitador de carga		0		0	0	0			0				0		0	0
Aumentar a pressão do fechamento		0														
Verificar a alimentação do funil			0	0												
Verificar se o funil está com o material			0													
Pré-aquecer o material			0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usar material homogêneo						0	0	0		0	0	0			0	
Aumentar a temperatura do molde				0		0		0	0		0	0	0		0	
Diminuir a temperatura do molde		0			0				0					0		0
Aumentar o tempo de resfriamento					0				0				0	0		0
Diminuir o tempo de resfriamento									0						0	
Alargar os canais da fita				0	0	0		0								
Proporcionalizar os canais da fita					0	0		0			0	0			0	
Polir os moldes e arredondar os angulos				0	0			0	0		0		0		0	0
Polir os canais da fita				0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0

Fonte: Adaptação do catálogo HIMACO, 2010.

## 2.5.6 PRINCIPAIS DEFEITOS EM MOLDAGEM DE PEÇAS INJETADAS

Os principais defeitos encontrados em componentes plásticos e associados ao processo de moldagem podem ser da seguinte natureza:

a) Cosméticos ou estéticos: defeitos que podem ser vistos a olho nu e normalmente causa a rejeição da peça, mesmo que todas as outras propriedades e especificações sejam satisfeitas;

b) Defeitos estruturais: o problema pode ser o peso da peça, suas dimensões ou configuração, como no caso de empenamento. Pode se detectar a olho nu ou em testes de laboratório;

c) Defeitos Funcionais: não são detectados a olho nu, mas sim por falharem durante o desempenho de certa função. Como exemplo, peças altamente tensionadas, resultando numa ruptura imprevista, devido ao impacto. (MARAGHI, 1997)

A obtenção de peças de boa qualidade está diretamente associada a cinco importantes fatores técnicos na injeção de termoplásticos:

- I. O projeto da peça (errado ou deficiente);
- II. Projeto e construção da matriz (material inadequado, usinagens e ajustes de bancadas);
- III. Máquina (dimensionamento, confiabilidade e manutenção das condições básicas de operação inadequadas a resina que está sendo processada);
- IV. Matéria prima (especificação correta – propriedades e reologia do polímero, assim como estabilidade dos aditivos a ele misturado);
- V. Processo de transformação (parâmetros de processamento e as habilidades, conhecimento e paciência do operador da máquina, variáveis de difícil controle).(MARAGHI, 1997)

Associados ao processo de transformação de resina estão os principais defeitos de injeção, em que pode-se destacar: empenamento, linhas de solda, linhas de junta, rechupe, vazios, rebarbas, marcas de queimadura, preenchimento incompleto, peso excessivo, variações na contração, marcas ao redor do ponto de injeção e pontos pretos.

a) **Empenamento:** o empenamento é causado por uma diferença na contração da peça, em que uma região apresenta um nível de contração diferente de outra. Os principais fatores são o comportamento anisotrópico do material devido à orientação induzida pelo fluxo, contração térmica assimétrica devido a um resfriamento inadequado do componente, contração volumétrica não-uniforme e dilatação térmica diferenciada devido ao efeito da geometria do componente.

b) **Linhas de solda:** as linhas de solda formam-se durante o preenchimento da cavidade quando a frente de fluxo se separa e se encontra posteriormente em outra região do componente. Basicamente, as linhas de solda aparecem por três motivos: quando a frente de fluxo encontra obstáculos e é obrigada a dividir-se para contorná-lo; quando a espessura do componente é variável e quando é utilizado um molde com mais de um ponto de injeção.

c) **Linhas de junta:** são similares às linhas de solda. Diferem apenas na forma de encontro das frentes de fluxo. Nas linhas de junta os fluxos encontram-se paralelamente.

d) **Rechupe:** é o aprofundamento localizado da superfície do componente onde há variação considerável de espessura de parede, causado pela contração desigual do material durante o seu resfriamento.

e) **Vazios:** podem ser descritos como bolhas que se formam no interior do componente, em que sua superfície externa resfria-se, devido à transferência de calor do material plástico para o sistema de refrigeração da matriz.

f) **Rebarbas:** é uma quantidade de material que penetra na linha de partição do molde e solidifica junto com o componente. Geralmente, a rebarba é causada por: desgaste do molde ou desalinhamento das placas, obstruções entre as placas, força de fechamento insuficiente, posição do ponto de injeção inadequada, regiões com pressões elevadas, excesso de material e presença de materiais estranhos.

g) **Marcas de queimadura:** são marcas de coloração preta que se formam sobre a superfície do componente causado pela combustão do ar aquecido durante a formação das bolsas de ar.

h) **Peças incompletas:** é o enchimento incompleto da peça. As possíveis causas de preenchimento incompleto são: restrições devido à solidificação dos canais de injeção; comprimentos de fluxo muito longos ou complexos; efeito de hesitação e contrapressão devido às bolsas de ar.

i) **Peso excessivo:** é uma característica indesejável ao componente, sendo considerado um defeito. O peso excessivo aumenta o custo de produção devido. Este defeito é causado pelo efeito de empacotamento e pela utilização de espessuras muito elevadas.

j) **Estrias marrons/queima:** Quando a estabilidade térmica do polímero é excedida as cadeias moleculares começam a se desintegrar progressivamente, À medida que se adiciona mais calor, o polímero é submetido á degradação térmica, ou queima. Isto é visualmente percebido como estrias amarronzadas.

k) **Variações na contração:** todo plástico tem um intervalo de contração diferente, a uma espessura fixada. Quanto mais grossa for a peça, mais contração é esperada. Em polímeros amorfos, a contração é unidirecional, ou seja, a mesma contração que ocorre na direção do fluxo acontece na direção perpendicular.

l) **Marcas ao redor do ponto de injeção:** causadas pela fratura do material fundido/turbulência, naquela região. O plástico é cisalhado na entrada e o material que se solidifica é fragmentado.

m) **Pontos pretos (chips):** indicam que uma severa degradação térmica ocorreu, causando a carbonização das moléculas. Na maioria dos casos o polímero carbonizado é depositado na superfície interna do canhão, bico de injeção ou sobre a rosca, na forma de um filme de carbono.(MASCARENHAS, 2002)

## 2.6 CABEDAIS

Os cabedais (Figura 2.16) são componentes superiores fixados ao solado do calçado, que proporcionam proteção e segurança, possibilitando comodidade e conforto aos pés. O cabedal pode ser feito de um único material ou pode ser composto por vários materiais e partes (NEVES, 2010), como por exemplo:

- Couro, que geralmente é bastante resistente, porém tem um peso superior se comparado a outros materiais, é impermeável com exceção de alguns tipos de couro;
- Tecido, que pode ser de algodão ou material sintético, seu peso é bem mais leve se comparado ao couro e facilita a transpiração e mobilidade;
- Laminados sintéticos, geralmente são encontrados em poliuretano (PU) e poli cloreto de vinila (PVC), às vezes é confundido com o couro, pois a evolução tecnológica tem permitido chegar a uma aparência muito próxima a do couro.

Atualmente, para sandálias, são confeccionados em materiais, como nylon, tecido, couro sintético, borracha e plásticos.

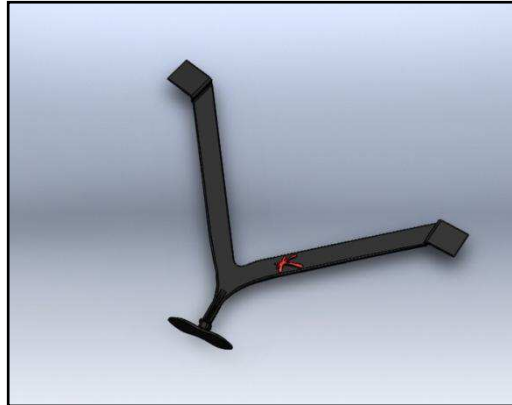


Figura 2.16: Modelo ilustrativo de um cabedal Injetado.

Para facilitar a visualização e o entendimento acerca do que é um cabedal, a seguir tem-se a Figura 2.16 que aponta a utilização de um cabedal em PVC, além de apresentar a divisão básica, com os elementos constituintes do calçado (sandália).



Figura 2.17: Elementos básicos constituintes do calçado (sandálias KENNER).

A palmilha é um componente destinado a proporcionar conforto para o usuário. A palmilha é também responsável pela postura correta e apoio do pé no calçado. São fabricadas geralmente em couro ou EVA.

O solado é a parte do calçado que fica em contato direto com o solo. Portanto, deve garantir proteção, resistência e estabilidade. São feitos geralmente em borracha, mas há também solados em couro e madeira.

## CAPÍTULO - III

### MATERIAL E MÉTODOS

Antes de apresentarmateriais e os métodos abordados no referido estudo, em função de se tratar de pesquisa desenvolvida no âmbito industrial, realizada na empresa Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB, optou-se por descrever uma breve explanação acerca da fabricação das sandálias que utilizam o modelo de cabedal injetado (elemento deste estudo), com o objetivo de facilitar a compreensão do leitor.

As sandálias KENNER (Figura 3.1) são constituídas na sua grande maioria por 03 componentes, sendo o solado em borracha, a palmilha em EVA e cabedais em diversos materiais, tais como: couro; algodão; nylon; sintético; PVC; etc. As referidas sandálias são comercializadas no mercado nacional e internacional. A Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB conta com uma produção média diária de 25.000 pares, tendo a capacidade nominal instalada para produzir 30.000 mil pares/dia.



Fonte: Adaptado do catálogo eletrônico – Coleção Verão KENNER 2015.

Figura 3.1: Elementos constituintes da Sandália KENNER.

Como o foco do trabalho está canalizado na injeção de cabedais de PVC, fruto do significativo aumento no volume de produção, que alavancou as vendas de artigos injetados em torno de 40% em seis anos, passando a representar 53% dos produtos atualmente comercializados pela companhia, foi descrito sucintamente a etapa do processo de injeção na

Tess Indústria e Comércio Ltda., que pode ser visualizado através do Fluxograma 3.1, fornecido pelo Departamento de Qualidade da referida companhia.

### 3.1 PROCESSO DE INJEÇÃO DO CABEDAL DE PVC NA TESS-PB

Inicialmente é feita a separação e pesagem das matérias primas indicadas pelo modelo e cor do cabedal a ser produzido. Em seguida, são adicionados e homogeneizados num misturador, conforme ficha técnica. Quando misturadas, as matérias primas são encaminhadas para a injetora, para realização das injeções dos cabedais conforme demanda solicitada pela programação fornecida pelo setor de Programação e controle de Produção (PCP), sendo concluindo desta forma a fase de injeção dos cabedais de policloreto de vinila (PVC).

Depois de produzidos, os cabedais de PVC passam pelo processo de inspeção de qualidade e são separados e armazenados para serem encaminhados, computados e estocados no setor de Almojarifado, conforme Fluxograma 3.1, a seguir:

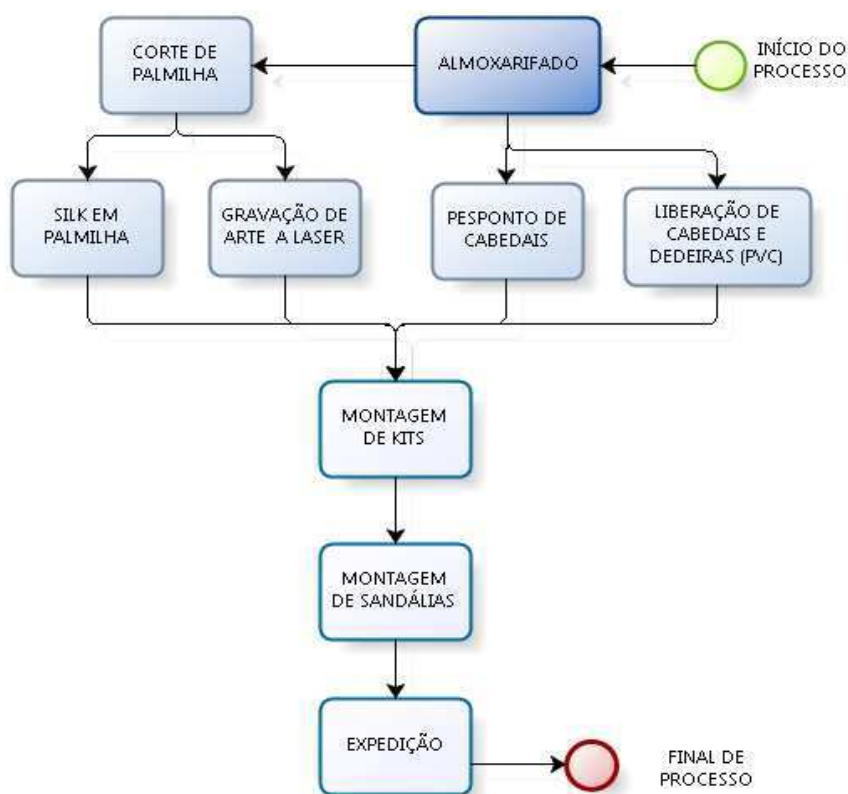


Fluxograma 3.1: Processo Produtivo Cabedal de PVC na Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB.

Mediante as necessidades assinaladas pelo setor comercial corporativo da organização, as demandas de pedidos são geradas e enviadas para o Planejamento e Controle da Produção (PCP), que consolida as precisões em planos de produção e os distribui aos diversos setores produtivos da fábrica.

Para a montagem de modelos que utilizam cabedais de PVC, o almojarifado despacha a quantidade solicitada, sendo os cabedais unidos aos outros componentes e enviados para o setor de montagem, para produção das sandálias Kenner, conforme indicado no Fluxograma 3.2.





Fluxograma 3.2: Processo produtivo para montagem de sandálias na Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB.

A Figura 3.2, apresenta o setor de Injeção de cabedais em PVC do parque fabril da Tess Indústria e Comércio Ltda., onde foram confeccionadas as amostras para estudo de referência.



Figura 3.2: Setor produtivo – Injeção de Cabedais em PVC na Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB.

No Quadro 3.1, apresentam-se os equipamentos necessários à fabricação de cabedais de PVC injetados, pertencentes ao parque fabril da TESS-PB.

Quadro 3.1- Relação de máquinas e equipamentos utilizados na fabricação de cabedais de PVC na TESS-PB:

Injetoras Verticais e Horizontais	Balança de pesagem
Porta Moldes	Alimentadores
Matrizes de Repetição	Geladeira
Misturador Dry-Blend	Torre de Resfriamento

Após serem enxergadas as potencialidades e oportunidades de ganhos técnicos, financeiros e para o meio ambiente, observados na produção de cabedais de PVC na Tess Indústria e Comércio Ltda., buscou-se escolher um modelo de cabedal injetado, que atendesse as seguintes premissas de relevância para a companhia:

- a) Alto volume de produção;
- b) Fabricado em injetoras horizontais;
- c) Matriz de repetição em aço.

Em função das premissas elencadas anteriormente, estudou-se o “plano diretor” traçado para a companhia em 2014, sendo em função da análise do referido, que escolheu-se o cabedal monocolor SUMMER (Figura 3.3), por se tratar de um dos carros chefes da companhia (modelo *Best Seller*), estando em produção há mais de 04 anos, com uma produção média mensalde 100 mil pares/mês, com constantes aumentos de demandas solicitadas pelo mercado consumidor.



Figura 3.3: Sandálias completa com cabedal monocolor SUMMER na cor preta.

Após a definição do modelo, buscou-se elaborar um plano de trabalho que permitisse elevar o grau de compreensão acerca do processo de obtenção de cabedais, suas interferências e interligações através da variação dos parâmetros de controle, sendo vislumbrado a possibilidade de elevar a produtividade, a viabilidade técnica da utilização de resíduos (1º ciclo de reprocessamento) moídos, como carga de mistura em matriz de PVC virgem.

### 3.2 MATERIAL

Neste trabalho, utilizaram-se as seguintes matérias primas abaixo listadas:

- a) Como matriz polimérica para obtenção de cabedais monocolor utilizou-se o composto de policloreto de vinila flexível, PVC Cristal de dureza 65 (Figura 3.4), fornecido pela empresa Karina Indústria e Comércio de Plásticos Ltda. A formulação contendo os aditivos e os respectivos percentuais utilizados na formulação do composto acima citado, estão sob sigilo industrial.



Figura 3.4: Composto de PVC cristal dureza 65 – Embalagem de 25 kg.

- b) O pigmento utilizado para obtenção das amostras de cabedais monocolors foi o Máster MBU preto opaco (Figura 3.5), densidade entre 1,87 -1,93  $g/cm^3$ , fornecido pela Karina Indústria e Comércio de Plásticos Ltda. Os compostos do referido pigmento e seus respectivos percentuais também estão sob sigilo industrial;



Figura 3.5: Master pigmento opaco para mistura.

- c) Material reciclado, integralmente moído, sem passar por nenhum processo de seleção, composto por galhos de injeção e todos os cabedais reprovados por não atenderem as especificações de qualidade, sem separação por cor e modelo (Figura 3.6).



Figura 3.6: Material triturado - galhos, cabedais reprovados e materiais expurgados.

### 3.3 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA TESS-PB

Para realização do trabalho, foram utilizadas as seguintes máquinas e equipamentos em escala industrial, conforme mencionados abaixo:

- a) Balança de precisão, fabricante Toledo (Figura 3.7): Utilizada para pesar a quantidade de pigmento indicada para compor a mistura, conforme ficha técnica específica para o modelo em estudo;
- b) Misturador tipo Mixer, DryBlend (Figura 3.8): Responsável pela mistura e homogeneização do PVC cristal e o pigmento preto opaco;



Figura 3.7: Balança Toledo.



Figura 3.8: Misturador Mixer DryBlend.

- c) Moinho triturador, tipo GK, modelo MF 230- fabricante Mecanofar (Figura 3.9): Empregado para triturar galhos das injeções, de cabedais reprovados por não atenderem as especificações de qualidade e purgas do cilindro de plastificação, oriundas de trocas de cores;



Figura 3.9: Moinho GK MF 230, 3 lâminas capacidade de processamento de 80 m<sup>3</sup>/h.

- d) Injetora horizontal 200 toneladas (Figura 3.10): Usada para obtenção de amostras de cabedal monocores Summer, injetados com mistura de PVC cristal e pigmento opaco preto.



Figura 3.10: Máquina HIMACO ATIS 2000–740, utilizada nos experimentos.

A seguir apresenta-se Tabela 3.1, com as principais informações técnicas acerca da unidade de injeção da ATIS 2000 – 740 LHT, utilizada para obter-se as amostras do estudo:

Tabela 3.1- Dados técnicos da unidade de injeção da ATIS 2000 -740 LHT.

Características Técnicas					
Unidade de injeção	Unidade de Medida	Atis 2000 - 740 LHT			
Diâmetro de rosca	mm	50	55	60	65
Relação de rosca	L/D	1:18	1:16,4	1:15	1:13,8
Pressão de injeção sobre o material	kgf/cm <sup>2</sup>	1830	1515	1270	1087
Volume teórico da injeção	cm <sup>3</sup>	406	491	585	687
Peso máximo injetável (OS)*	g	426	516	614	721
Velocidade máxima da rosca**	RPM	260			
Zona de aquecimento mais bico	unid.	3+1			
Capacidade de plastificação (OS)*	g/s	36	43	49	52
Torque de motor hidráulico	kgfm	82,5			
Potência total de aquecimento	kw	14,3			

Fonte: Adaptado do Catálogo do fabricante HIMACO.

- e) Matriz de repetição, numeração de miolo de grade – N° 40/41, usinada em aço especial para matrizes N2711 (Figura 3.11), com 04 cavidades e dimensões (40x55) cm, refrigerado a água, com capacidade de produção de 180 pares/h;

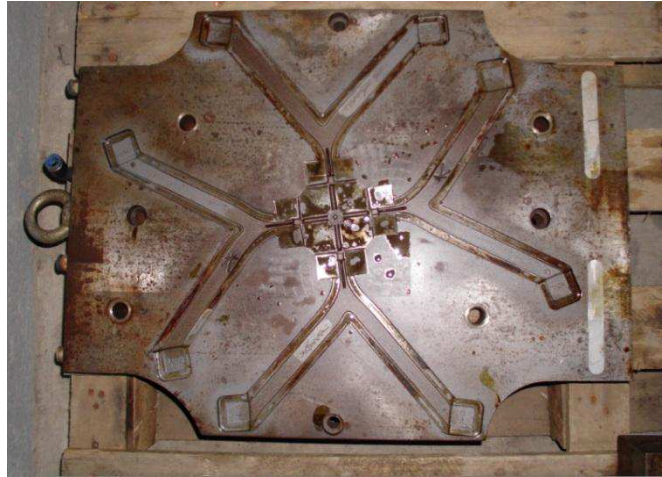


Figura 3.11: Matriz Summer, 40/41, em aço N271.

- f) Unidade refrigeradora de água industrial, Qualiterme US 15, capacidade de 15.000 kCal/h, compressor scroll 1x5TR (Figura 3.12): Utilizada no processo de troca térmica, para refrigerar a matriz de aço, durante os ciclos de injeção;



Figura 3.12: Unidade refrigeradora Qualiterme US 15.

Estima-se que o valor dos insumos necessários para a realização dos experimentos na Tess-PB, corresponde a importância de R\$ 300.000,00 (trezentos mil reais)

### 3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LABORATÓRIOS DA UFCG

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes equipamentos em escala laboratorial, a seguir:

- a) Balança de precisão para pesar os quantitativos referentes à obtenção das amostras propostas;
- b) Mixer utilizado na homogeneização e preparação de amostras para os ensaios do Índice de Fluidez (*MeltFlowIndex* –MFI) (Figura 3.14);
- c) Moinho triturador (escala de laboratório) – moagem e preparação de amostras para ensaios do Índice de Fluidez (Figura 3.15);
- d) DSM plastômero MI-3, equipamento onde foram realizados os ensaios de MFI;

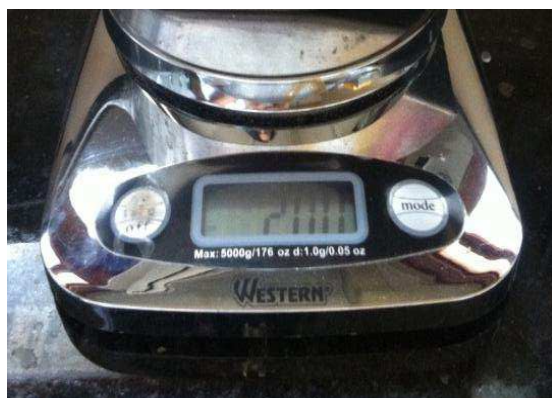


Figura 3.13: Balança de precisão Western.



Figura 3.14: Mixer ThermoScientific.



Figura 3.15: Moinho triturador.



Figura 3.16: DSM plastômero MI-3.



- e) MIC 100 kN, equipamento onde foram realizados os ensaios de tração para todas as amostras de cabedais injetados (Figura 3.17);
- f) Equipamento para realização de dureza Shore A, em todas nos corpos de prova produzidos (Figura 3.18);
- g) Microscópio Óptico para avaliação superficial das amostras.



Figura 3.17: EMIC 100 kN.



Figura 3.18: Mod. WOLTEST MP-20.



Figura 3.19: Microscópio Óptico LEICA 7500.

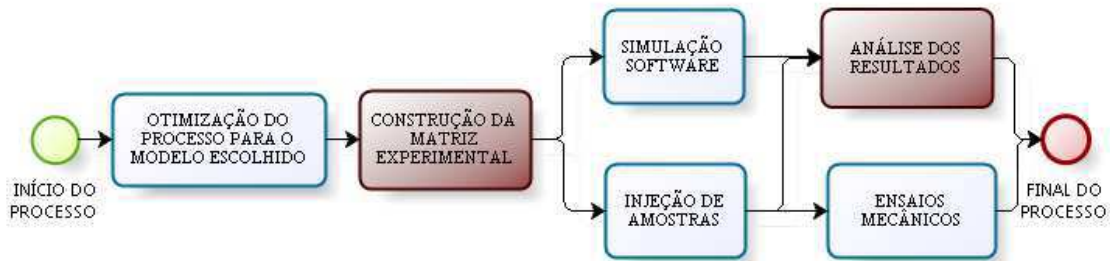
## 3.5 MÉTODOS

### 3.5.1 EXPERIMENTAL

Inicialmente, em virtude da especificidade e abrangência do trabalho, ocorreram visitas técnicas realizadas pela comissão de Professores comportas pelo Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima, Dr. Walman Benício de Castro e o orientador Dr. Wanderley Ferreira de Amorim

Júnior, todos pertencentes ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica-PPGEM, tendo com o objetivo definir a estratégia para o desenvolvimento das atividades de forma causar o mínimo de perturbação ao ambiente industrial da Tess Indústria e Comércio Ltda.

Após a realização de alguns fóruns, entendeu-se que a metodologia ideal seria dividir o trabalho em duas etapas distintas, conforme Fluxogramas 3.3 e 3.4, apresentadas abaixo:



Fluxograma 3.3: Fluxo de atividades da 1ª etapa do trabalho.

- **1ª Etapa**

Definiu-se como a geração da matriz experimental e na injeção de cabedais monocores sem adição de mistura reciclada, com foco em avaliar a influência dos parâmetros de injeção para o modelo proposto (Summer). Em seguida, promover a comparação com os resultados obtidos através da simulação utilizando software, além da caracterização dos cabedais, em termos de propriedades qualitativas e quantitativas, através de ensaios mecânicos e critérios de qualidade estabelecidos pela companhia (dimensional, visual, brilho, etc).



Fluxograma 3.4: Fluxo de atividades da 2ª etapa do trabalho.

- **2ª Etapa**

Estabeleceu-se com sendo a injeção de cabedais monocores nas condições de melhor parametrização determinadas para o processo (definidos na etapa anterior), com adição de mistura reciclada (1º ciclo de reprocessamento), com a contribuição de carga variando de 5 a 100%. Em seguida, submeter às peças obtidas às mesmas caracterizações da 1ª etapa, e por fim, realizar a comparação entre os resultados obtidos nas duas fases do trabalho.

Entendeu-se como fundamental a realização dos testes do MFI antes da produção das amostras com carga reciclada, afim de evidenciar os impactos pela perda aditivos no processamento, sendo o comportamento da viscosidade referente aos percentuais de mistura definidos e avaliados para cada experimento, buscando-se a preservação da máquina injetora, em função da disponibilidade para produção de cabedais em escala industrial, imediatamente ao término dos experimentos.

Após a definição da metodologia e construção das etapas para realização da pesquisa, definiu-se o planejamento para realização dos experimentos, contemplando-se as seguintes ações:

- a) Reunião com as gerências de PCP e Produção para enxergar a disponibilidade da máquina injetora e definir a estratégia de liberação de insumos e colaboradores para auxiliarem nos experimentos;
- b) Avaliação dos impactos produtivos e financeiros em função da não produção estimada de cinco mil pares de sandálias do modelo SUMMER, além de outros custos com aquisição de matéria prima, hora trabalhadas e energia elétrica;
- c) Acordo de datas com autorização da Gerência Industrial da planta, sendo apresentada a necessidade máxima de quatro turnos (8 horas cada) em datas distintas para realização de todos os experimentos planejados, vinculados a injeção direta das amostras de cabedais monocores em PVC;
- d) Revisão geral da injetora ATIS 2000 – 740 se obter a melhor condição e estabilidade da máquina, sendo substituídos todos os termopares, resistências e sensores que poderia interferir no processo de injeção das amostras;
- e) Revisão e jateamento da matriz, com a finalidade de obter-se o melhor cabedal possível;
- f) Formação de equipe técnica multidisciplinar para garantir a continuidade dos experimentos e promover os devidos registros e avaliações;

g) Separação de matéria prima necessária à realização de todas as amostras.

Com o planejamento encaminhado, entendeu-se que se fazia necessário minimizar o número de variações no processo, provocadas por agentes externos, no qual convencionou-se que os experimentos deveriam ser realizados utilizando-se sempre: matérias primas (PVC e pigmento) do mesmo lote de fabricação; mesmas máquinas e equipamentos (injetora, moinho, misturados e balança); matriz (Matriz Summer 40 – Coleção 2) e operadores do mesmo turno de trabalho. Abaixo as premissas adotadas para realização dos experimentos:

- Acordou-se que o resíduo seria constituído por galhos de injeção, todos os cabedais reprovados por que não atenderem às especificações de qualidade e não haveria separação por cor e modelo (Figura 3.20);
- Estipulou-se que o resíduo deveria ser integralmente moído, sem passar por nenhum processo de seleção, até grãos finos, conforme furos da peneira do moinho, conforme Figura 3.21;
- Definiu-se que o material moído deveria ser incorporado em diferentes concentrações e pigmentado com máster preto, chegando a se obter peças com 100% material reciclado ou até a máxima concentração aceitável, que atendesse aos requisitos de qualidade estipulados para o modelo do cabedal (SUMMER).



Figura 3.20: Segregação de cabedais reprovados por defeitos de qualidade.



Figura 3.21: Moagem de cabedais reprovados por defeitos de qualidade.

A partir de cada mistura realizada, obter-se amostras e corpos de prova, com a finalidade de submetê-los às avaliações de propriedades físico-mecânicas e aspectos de

qualidade através de ensaios como MFI, tração, dureza e os de natureza visual, tais como: brilho, preenchimento e análise dimensional, para em seguida, promover a comparação e análise dos resultados obtidos nas etapas da pesquisa.

### **3.5.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL**

Dando-se início a primeira fase do trabalho, partiu-se para a construção da matriz de planejamento experimental fatorial, que é um método que consiste em explorar dados qualitativos, quantitativos e condições adequadas de dado experimento, obtendo-se precisão estatística sobre a variável resposta com menor custo e menor tempo de execução.

A referida execução ocorre Por meio de uma série de testes, são realizadas mudanças ou certos estímulos nas variáveis de entrada (*input*) do sistema, para que se possa observar e identificar os efeitos nas variáveis de resposta ou de saída (*output*), geradas pelo próprio sistema (GALDÁMEZ, 2004).

Para o estudo em questão, em função da grande quantidade de variáveis de processo (Quadro 3.2), entendeu-se que o método adequado seria o Planejamento Experimental  $2^k$ , com repetições no ponto central, sendo a variável respotade natureza qualitativa, em decorrência direta das exigências de qualidade estipuladas para o produto alvo do estudo (cabedal de PVC monocolor SUMMER).

Quadro 3.2- Variáveis que podem interferir no processo de injeção de PVC. :

Item	Matéria Prima	Operador	Matriz	Máquina	Processo
1	Variação na especificação técnica da matéria prima	Falta de conhecimento técnico	Temperatura do molde	Diâmetro da rosca	Temperatura do material
2		Ausência de domínio dos controles operacionais	Força de fechamento	Comprimento da rosca	Velocidade de dosagem
3			Canais de injeção	Geometria da rosca	Velocidade de injeção
4			Escape de gases	Relação entre o comprimento e diâmetro da rosca	Curso de dosagem
5			Canais de refrigeração	Profundidade do flete	Contra pressão
6			Geometria da peça	Rotação da rosca	Tempo de injeção
7			Material de construção da matriz	Zonas de aquecimento	Tempo de resfriamento
8				Geometria e profundidade do bico injetor	Tempo de ciclo
9				Curso de abertura e força de fechamento	Pressão de injeção
10				Força de extração	Temperatura da água de resfriamento

Devido, a necessidade de economizar tempo, matéria prima e maximizar a produção dos experimentos, condições primordiais e de extrema importância no âmbito indústria, percebeu-se rapidamente a importância e vantagens de se empregar planejamento correto. Neste sentido, estudou-se os métodos de planejamento experimental e em função da quantidade de variáveis, conseqüente o grande número de ensaios, entendeu-se que o indicado seria o método de planejamento fatorial  $2^{k-1}$  ( $k$  = número de variáveis), com 03 repetição de pontos centrais. Na seqüência, com o auxílio do prof. Dr. Walman Benício de Castro, realizou-se a construção da matriz experimental qualitativa, que apontou a necessidade da execução de 19 experimentos, conforme visto na Tabela 3.2.

Tabela 3.2- Planejamento experimental  $2^{5-1} + 3$  no ponto central, com 19 experimentos:

VARIÁVEIS					
EXP.	V (rpm)	P (Bar)	T (°C)	REC. %	RES (°C)
1	- (0)	- (15)	- (140)	- (0)	+ (30)
2	+ (15)	- (15)	- (140)	- (0)	- (0)
3	- (0)	+ (50)	- (140)	- (0)	- (0)
4	+ (15)	+ (50)	- (140)	- (0)	+ (30)
5	- (0)	- (15)	+ (180)	- (0)	- (0)
6	+ (15)	- (15)	+ (180)	- (0)	+ (30)
7	- (0)	+ (50)	+ (180)	- (0)	+ (30)
8	+ (15)	+ (50)	+ (180)	- (0)	- (0)
9	- (0)	- (15)	- (140)	+ (90)	- (0)
10	+ (15)	- (15)	- (140)	+ (90)	+ (30)
11	- (0)	+ (50)	- (140)	+ (90)	+ (30)
12	+ (15)	+ (50)	- (140)	+ (90)	- (0)
13	- (0)	- (15)	+ (180)	+ (90)	+ (30)
14	+ (15)	- (15)	+ (180)	+ (90)	- (0)
15	- (0)	+ (50)	+ (180)	+ (90)	- (0)
16	+ (15)	+ (50)	+ (180)	+ (90)	+ (30)
17	0 (7,5)	0 (32,5)	0 (160)	0 (45)	0 (15)
18	0 (7,5)	0 (32,5)	0 (160)	0 (45)	0 (15)
19	0 (7,5)	0 (32,5)	0 (160)	0 (45)	0 (15)

Legenda da Tabela3.2

EXP.- Experimentos realizados	V- Velocidade de injeção	T- Temperatura de injeção
P- Pressão de injeção	REC.- Recalque	RES.- Resfriamento

### 3.5.3 INJEÇÃO - 1ª ETAPA

Após a construção da matriz experimental, escolheu-se a máquina horizontal ATIS 2000-740 LHT (II), por ser a máquina mais nova do setor, para realizar todas as injeções necessárias ao cumprimento do plano de trabalho. Em seguida, programou-se uma parada da máquina durante um turno de trabalho (08 horas) para revisão geral, conforme planejamento

descrito anteriormente, sendo feita a manutenção preventiva (equipe de manutenção e técnico da Himaco), com o intuito de garantir a melhor condição funcional para obtenção das amostras de peças, ou seja, cabedais injetados(Figura 3.22).



Figura 3.22: Manutenção geral da Injetora ATIS 2000 – 740, realizada pela equipe de manutenção e técnico credenciado pelo fabricante.

Durante a referida manutenção foram substituídas todas as resistências, responsáveis pelo aquecimento das três do canhão, revisão geral da parte eletroeletrônica e conjuntos hidráulicos com substituição de bomba de alimentação de óleo. Foram gastos aproximadamente R\$ 8.000,00 (oito mil reais) com peças de reposição e hora técnica.

Sequenciando o planejamento foi realizada a manutenção e jateamento da matriz SUMMER 40/41, que seria utilizada para obtenção das amostras (Figura 3.23).





Figura 3.23: Jateamento da matriz SUMMER 40/41.

Após garantir a condição satisfatória de operação para o conjunto injetora e matriz, levou-se ao conhecimento dos setores de PCP (Programação e Controle de Produção) e Produção Industrial, a necessidade da realização dos ensaios propostos anteriormente. Avaliaram-se os impactos no atendimento dos volumes (4.500 pares/média decorrentes das três últimas paradas sugeridas), os custos aproximados de não montagem dos pares de sandálias programados (R\$ 150.000,00 - cento e cinquenta mil reais), caso não fosse possível à reprogramação dos pedidos.

Aguardou-se então a liberação da estrutura necessária à injeção das amostras. Recebeu-se a devolutiva, que todos os recursos seriam liberados, porém as paradas ficariam com defasagem de no mínimo 30 dias. Recebeu-se duas propostas fornecidas pelo PCP, no qual escolheu-se a oferta em que as paradas ocorreriam no mesmo turno de trabalho (1º turno), buscando-se preservar as condições de processamento impostas anteriormente.

Montou-se uma equipe multidisciplinar, formada por colaboradores da empresa e alunos da UFCG composta por: 02 engenheiros de manutenção (mecânico/elétrico); 02 ferramenteiros ajustadores; 02 mantenedores (mecânico/elétrico); 01 auditor sênior de qualidade; 01 supervisor de produção; 01 abastecedor; 01 operador de máquinas; 01 mestrando e 01 graduando em Engenharia de Materiais da UFCG, totalizando 12 pessoas direcionadas para acompanhar as atividades e garantir que todo o processo fosse cumprido na realização dos 19 experimentos contidos na matriz de planejamento.

O material para a realização das amostras foi disponibilizado pela Empresa Tess Indústria e Comércio Ltda., assim como, parque de máquinas e mão de obra especializada (mencionados acima), na data acordada, sendo a injeções ocorridas conforme sequência de atividades (Figura 3.24), abaixo descritas:



Figura 3.24: 1ª etapa de injeções de amostras – a) ajustagem de matriz na máquina; b) pesagem da massa de pigmento; c) homogeneização da mistura (pigmento + PVC cristal); d) obtenção da mistura homogeneizada; e) alimentação do conjunto plastificador da ATIS 2000-740; f) parametrização da máquina.

a) A matriz Summer numeração 40/41 foi transportada e devidamente ajustada no porta moldes fixado no platô da máquina ATIS 2000-740 (II), sendo conferido o nivelamento e alinhamento das placas. Na sequência, as mangueiras pertencentes ao sistema de refrigeração foram conectadas a matriz;

b) O PVC (por questões de sigilo industrial não será apresentada as especificações técnicas da matéria prima) virgem foi cedido em embalagens lacradas de 25 kg;

c) O pigmento preto opaco foi pesado na balança de Toledo, sendo a quantidade incorporada a receita, seguindo as indicações contidas na ficha técnica referente ao cabedal alvo do estudo;

d) A mistura para injeção de cabedais contendo PVC cristal virgem e pigmento preto opaco, foi obtida no mixer MixerDryBlend;

e) Após a homogeneização por um período de 05 minutos no mixer, a mistura foi conduzida pelo abastecedor até o alimentador da máquina ATIS 2000-740;

f) Com etapas anteriormente finalizadas, foi feita a parametrização da máquina e iniciou-se a sequência dos 19 experimentos, realizando-os ordenados pelas temperaturas de 140°C, 160°C e 180°C, conforme apontado na matriz de planejamento experimental.

É importante ressaltar que antes da realização dos ciclos de injeção, definiu-se que as 10 primeiras injeções, para cada um dos 19 experimentos, seriam descartadas e colhidos apenas dez amostras de cabedais oriundos dos 10 ciclos posteriores. Com isso, garantiu-se a estabilidade do processo, visando obter-se amostras referentes à programação dos 19 ensaios propostos pela matriz experimental.

Para cada experimento realizado, os cabedais obtidos foram separados, etiquetados e embalados para serem avaliados posteriormente em relação às caracterizações proposta neste trabalho (caracterização mecânica, morfológica e visual – padrão de qualidade), sendo coletada e imagens termográficas (câmera termográfica FLIR, modelo I5) da matriz e dos cabedais, após a realização de cada ciclo de injeção, com o intuito de visualizar a distribuição de temperatura na matriz e nas peças, que podem ser visualizados, respectivamente, através das Figuras 3.25 e 3.26.



Figura 3.25: Separação e registro do material injetado.

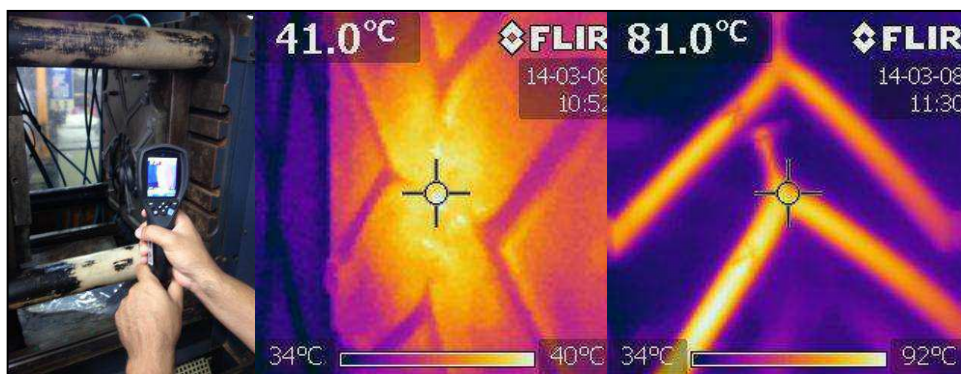


Figura 3.26: Imagens termográficas obtidas pela câmera Flir I5.

Durante a realização dos 19 experimentos, o material rejeitado e reprovado fora acondicionado em caixas plásticas e descartados para moagem (Figura 3.27), sendo reaproveitados na integra na fase subsequente, ou seja, na produção das amostras injetadas com percentual de mistura reciclada, fruto da 2ª parte do ciclo de aquisição de amostras de cabedais monocores com mistura reciclada.



Figura 3.27:Material segregado para moagem.

### 3.5.4 SIMULAÇÃO DA INJEÇÃO DO CABEDAL EM PVC

Com o objetivo de identificar os parâmetros de controle com maior nível de interferência na moldagem plástica de cabedais monocores (cabedais em PVC), assim como, determinar quais os melhores valores de ajustagem para esses parâmetros, visando minimizar as perdas de processo, buscou-se uma ferramenta de simulação computacional (CFD) que possibilitasse uma análise, mais completa, capaz de indicar mudanças de projeto na matriz (ponto de injeção), a redução no consumo de matéria prima (diminuição de galhos),

como também proporcionar o aumento da produtividade, atendendo aos requisitos de qualidade estipulados para o produto.

Foi sugerida a compra de um software de modelagem e simulações, SolidWorksPlastics. O pleito foi prontamente atendido pela Tess Indústria e Comércio, sendo incluído o treinamento para operar e obter ao máximo o recurso da ferramenta adquirida.

Inicialmente, para compreensão de todo o escoamento do fluido, no processo de injeção de cabedais, modelo Summer 40/41, realizou-se simulações com o intuito de estudar o comportamento dos parâmetros e suas respectivas influências nas peças obtidas pelo processo de injeção direta de PVC, na Tess Indústria e Comércio Ltda.

Neste sentido, buscou-se o auxílio do software SolidWorksPlastics Pro 2012 (Figura 3.28), para simular diversos aspectos para compor o estudo com base nas temperaturas elencadas na matriz de planejamento fatorial, conforme listado abaixo:

- Crescimento de temperatura no final do preenchimento (*Temperature growth at end of fill*);
- Tensão de cisalhamento no final do preenchimento (*Shear stress at end of fill*);
- Pressão no final do preenchimento (*Pressure at end of fill*);
- Portão contribuição do enchimento (*Gate filling contribution*);
- Temperatura central de frente de fluxo (*Flow front central temperature*);
- Tempo de Preenchimento (*Fill time*);
- Facilidade de preenchimento (*Ease of fill*);
- Temperatura média no fim do preenchimento (*Bulk temperature at end of fill*).

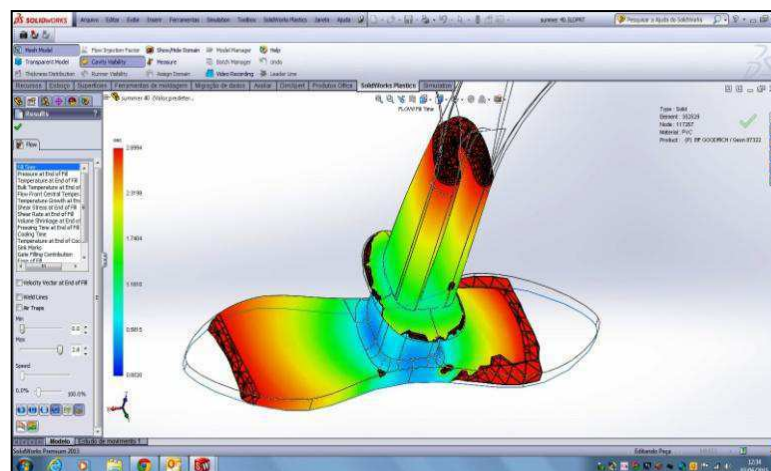


Figura 3.28: Tela do software SolidWorksPlastic Pro no momento do escoamento.

O software foi escolhido e adquirido por ser amplamente utilizado e por apresentar modelagem matemática padrão tornando-o mais fácil e versátil a sua utilização.

### **3.5.5 MEDIDAS DO ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI)**

Sequenciando os trabalhos, buscou-se realizar os testes Índice de Fluides do Material (MFI) no Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, para medir a fluidez entre as diversas amostras obtidas pela composição de misturas (PVC e reciclado – 1º ciclo de processamento), com carga adicionada de 0% até 100% de material reprocessado (1º ciclo de processamento). Considerou-se que comparação entre as medidas de fluidez eram necessária em função das perdas de propriedade causadas durante o ciclo de plastificação, que poderiam causar alterações nos cabedais produzidos em escala comercial, bem com buscou-se preservar a condição básica da injetora ATIS 2000-740 (II), utilizada para fabricação de cabedais em escala industrial.

A seguir estão listadas as etapas realizadas para os ensaios de MFI (Figura 3.29):

- a) Pesagem das composições (PVC + carga reciclada) por meio da balança de precisão Western;
- b) Misturas processadas Mixer ThermoScientific, para homogeneização do composto;
- c) Após a homogeneização dos compostos no mixer, as mesmas foram processadas no moinho triturador, com a finalidade de preparar as amostras para a etapa seguinte;
- d) As amostras recebidas do processo de moagem foram ensaiadas no equipamento DSM plastômero MI-3.

Sequenciaram-se os experimentos contendo os percentuais de mistura, conforme Quadro 3.2, nas mesmas condições de processamento obtidas na indústria, mantendo-se o representativo percentual de matéria prima, parâmetros e máquina injetora.

Os percentual de material reciclado variaram de 0% em 100%, em acréscimo de 5% em cada experimento. Foram exatamente 20 ensaios realizados no Mixer. Verificou-se que todas as 20 misturas foram bem processadas.



Figura 3.29: Etapas para a realização dos ensaios de FMI – a) pesagem dos compostos; b) homogeneização da mistura; c) moagem e preparação das amostras; d) Ensaio de MFI.

Quadro 3.2- Percentual de mistura utilizada nas receitas para avaliação de fluidez.

ENSAIOS																					
ORDEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
PVC (%)	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
MOÍDO (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

### 3.5.6 INJEÇÃO 2ª ETAPA

A segunda etapa de obtenção das amostras de cabedais oriundos de mistura reciclada foi semelhante ao ocorrida na primeira rodada de ensaios, repetindo-se o mesmo time e condições de processamento estabelecidas anteriormente (turno de trabalho/ máquina/ matriz/ operador/ abastecedor), variando apenas em dois tópicos programados, conforme abaixo mencionados:

- a) Adição de carga reciclada na obtenção de cabedais monocores Summer, conforme a Figura 3.30 e os dados dos novos experimentos contidos no quadro X, anteriormente utilizado nos ensaios de MFI;
- b) Fixação dos parâmetros de processo, segundo os Quadros 3.3, 3.4 e 3.5, mencionados na sequência.



Figura 3.30: Composto de mistura de PVC – Embalagem de 25 kg.

Quadro 3.3- Parâmetros de injeção.

INJEÇÃO	
PRESSÃO	26 kg/cm <sup>2</sup>
VELOCIDADE	07 rpm
DOSAGEM	69 g
PRESSÃO CARREGAMENTO	99 kg/cm <sup>2</sup>
VELOCIDADE CARREGAMENTO	99 rpm
CONTRA-PRESSÃO	65 kg/cm <sup>2</sup>
DESCOMPRESSÃO	65 kg/cm <sup>2</sup>



Quadro 3.4- Parâmetros de temperatura.

TEMPERATURA	PROGRAMADO	EFETIVO
ZONA 1	160°C	156°C
ZONA 2	157°C	156°C
ZONA 3	157°C	156°C
% Bico	20%	

Quadro3.5- Parâmetros em função do tempo.

TEMPO	
TEMPO INJEÇÃO	12s
TEMPO RESFRIAMENTO	16s
RETARDO CARREGAMENTO	09s

Repetiu-se a separação, etiquetagem e embalagens das peças obtidas, para serem avaliados em relação à caracterização mecânica e morfológica, além da comparação com resultados obtidos entre os cabedais oriundos da mistura virgem e os obtidos com a máximocarga de reciclado, ou seja, 100% de material reprocessado.

### **3.6 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA**

#### **3.6.1 ENSAIO DE TRAÇÃO**

Antes de submeter as amostras aos ensaios de tração, por ser um tema bastante específico, atrelado a um processo de fabricação industrial, de uma peça em PVC, componente de uma sandália, percebeu-se uma enorme dificuldade no tocante a falta de normatização para a realização de ensaios de tração das amostras obtidas de cabedais injetados, bem como acerca da amarração dos corpos de prova no sistema de fixação da máquina.

Em função do exposto, enxergou-se a necessidade de projetar um sistema de garras mecânicas, adequados ao tipo de corpo de prova (cabedais), submetidos aos ensaios de tração.

Inicialmente, utilizando o SolidWorks 2012, foi elaborado o primeiro protótipo, sendo confeccionadas na Ferramentaria da própria empresa. As garras mecânicas foram constituídas de aço 1020 e parafusos tipo allen, modelo M6. Para a confecção das garras foi utilizado 01 torno mecânico STRONG e 01 fresadora STRONG, ambos com o ano de fabricação de 2010.

O projeto inicial (Figura 3.31) não teve o resultado esperado, conforme simulações obtidas através do SolidWorks 2012, sendo assim, verificou-se a necessidade de modificar o projeto, alterando o sistema de fixação, conforme ilustrado na Figura 3.32. De maneira análoga, os resultados não foram satisfatórios. Após análises durante a realização de vários ensaios, percebeu-se que os corpos de prova estavam sendo tratados de forma errônea, tendo em vista que o mesmo não estavam sendo fixados corretamente. Para resolver a problemática, buscou-se uma forma de padronização dos corpos de prova, obtidos através de definição de corte e comprimentos padronizados. Com isso, pode-se utilizar as garras do próprio equipamento (DL500).



Figura 3.31 – Projeto inicial da garra.



Figura 3.32 – Projeto modificado da garra.

Os primeiros ensaios foram realizados no Laboratório de Qualidade, da Tess-PB, num ambiente climatizado, a uma temperatura de 23°C, através de uma máquina universal da marca EMIC modelo DL500 (Figura 3.33).



Figura 3.33: Máquina de Tração da Tess-PB, onde foram realizados os ensaios iniciais.

Houve a necessidade de separar o par de cabedais em quatro partes, com padronização de tamanho e área de corte, para só então, realizar os testes específicos e desta forma, avaliar o comportamento do cabedal por completo em suas propriedades mecânicas. Para facilitar o processo, os pares de cabedais foram separados (Quadro3.6) em tamanhos iguais, para que não pudesse haver nenhuma discordância que alterasse os resultados. Todos os corpos de prova foram cortados, medidos milimetricamente, cada lado com 130 mm de comprimento e com área de 52.50 mm<sup>2</sup>, como é visto na Figura 3.34.

Quadro3.6- Padronização doscorpos de provas para ensaio de tração.

Cabedal esquerdo	EE	Esquerdo-Esquerdo
	ED	Esquerdo-Direito
Cabedal direito	DE	Direito-esquerdo
	DD	Direito-Direito



Figura 3.34: Corpos de prova obtidos de cabedais injetados.

O ensaio de tração foi realizado nas seguintes etapas a seguir listadas (Figuras 3.35.; 3.36 e 3.37):

- a) Fixação dos corpos de prova e início do esforço mecânico:



Figura 3.35: Início do ensaio de tração.

- b) Tracionamento do corpo de prova:



Figura 3.36: Ensaio de tração em andamento.

c) Ruptura do corpo de prova e análise dos resultados:



Figura 3.37: Ruptura após o ensaio de tração.

Imediatamente após serem medidas, cortadas e separadas, as amostras de cabedais foram caracterizadas mecanicamente, através do ensaio de tração, realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais - UFCG, com uma célula de carga de 100 kN, conforme Figura 3.38.



Figura 3.38: Máquina de Tração EMIC 100 kN, onde foram realizados os ensaios de tração.

Foram ensaiados quarenta e quatro pares de cabedais modelo SUMMER, no qual cada lado foi ensaiado alterando-se a sua composição, ou seja, a quantidade de material moído variando de 0 a 100% de mistura reciclada.

### 3.6.2 DUREZA SHORE A

A propriedade mecânica denominada dureza é largamente utilizada na especificação de materiais, nos estudos e pesquisas que analisam propriedades mecânicas e na comparação de diversos materiais.

Pode-se dividir o ensaio de dureza em três tipos principais, que dependem da maneira com que o ensaio pode ser conduzido, a saber:

- Por penetração;
- Por choque;
- Por risco.

A finalidade de realizar o ensaio de dureza neste trabalho deu-se em função da necessidade de se comparar as durezas dos cabedais obtidos pela injeção material virgem x reciclado, avaliando os possíveis impactos no produto acabado (sandálias).

Os testes foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG, sendo o equipamento utilizado foi durômetro Shore A, mod. WoltestMP-20(Figura 3.39), a uma temperatura ambiente (26°C).



Figura 3.39: Equipamento para ensaio de micrudureza das amostras de cabedais.

## 3.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS AMOSTRAS

### 3.7.1 MICROSCOPIA ÓPTICA

Buscando-se avaliar a existência de mudanças na superfície das amostras, utilizou-se da caracterização morfológica, através da microscopia óptica, utilizando-se um microscópio ótico, modelo Olympus BX 51M (Figura 3.40), com aumentos de até 100x.

Utilizaram-se amostras padronizadas, conforme padronização utilizada para o ensaio de tração, sendo aplicado um corte de seção transversal no centro das amostras. Em seguida, as faces procedentes do corte, foram limpas com álcool e submetidas ao ensaio. Após a captura das imagens, as fotos obtidas foram importadas para o software LAES EZ, para realizar-se o devido tratamento para melhorar a qualidade da, com o objetivo de facilitar a identificação de possíveis defeitos e/ou impurezas nos cabedais com mistura reciclada.



Figura 3.40- Microscópio Óptico LEICA 7500.

Através da microscopia ótica foi possível analisar superficialmente o material injetado na condição de 0%, 50% e 100% obtidos através de mistura reciclada, e posteriormente comparar os resultados encontrados para cada percentual apontado.

## **CAPÍTULO - IV**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **4.1 SIMULADOS**

As simulações foram utilizadas para analisar o comportamento do fluido no momento do preenchimento da matriz, avaliando-se as melhores condições de produção dos cabedais em PVC e compará-lo com os resultados obtidos através da metodologia experimental. O trabalho proporciona a análise de quais são os parâmetros de maior influência no processo de injeção de cabedal monocolor preto, produzido em PVC cristal – dureza 65, sendo preservadas todas as condições operacionais estabelecidas previamente para este trabalho (matéria prima, molde, máquina e operadores).

##### **4.1.1 DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO**

As simulações acerca das distribuições de pressão apresentaram diferentes resultados da condição ideal, apesar de ter sido utilizada as melhores condições para fabricação de um cabedal. O valor da pressão máxima nas simulações variaram de 95-99 MPa, conforme pode ser visto nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, referentes as temperaturas programadas de 140, 160 e 180°C, se contrapondo ao valor ideal de 32,5 bar (3,2 MPa). Esta diferença pode ser interpretada pelos seguintes pontos, que não foram incorporada nas simulações:

- Posição do sensor de pressão da rosca na injetora, onde está localizada na parte hidráulica traseira;
- O ponto máximo de pressão nas simulações é dado no bico da injetora, onde o galho é formado;
- A relação diâmetro da rosca com diâmetro do bico é de total importância nesta comparação, tendo em vista que o diâmetro da rosca é 10 vezes maior que o diâmetro do bico. Sabe-se que quanto maior a área menor será a pressão para uma mesma força de trabalho. O mesmo ocorre ao inverso, quanto menor a área maior vai ser a pressão;
- Canal de injeção mal dimensionado, elevando a força de injeção para se preencher as cavidades da matriz.
- Viscosidade da resina, na temperatura de operação.



Neste sentido admite-se que as simulações realizadas não foram satisfatórias para avaliar este parâmetro de processo especificamente.

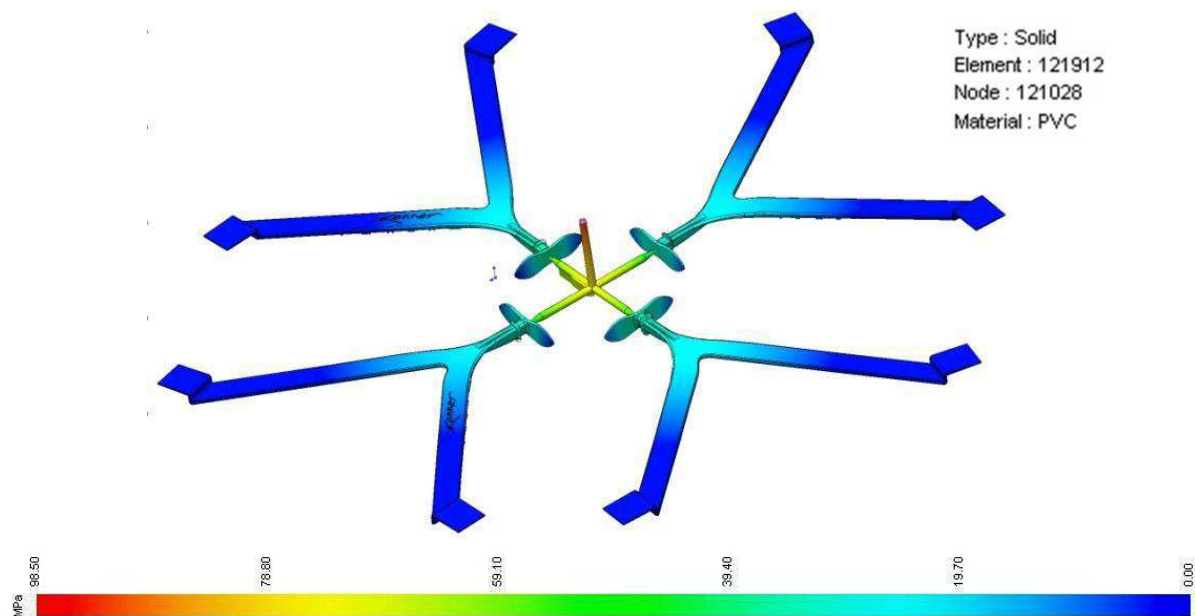


Figura 4.1: Pressão no fim do preenchimento (140°C).

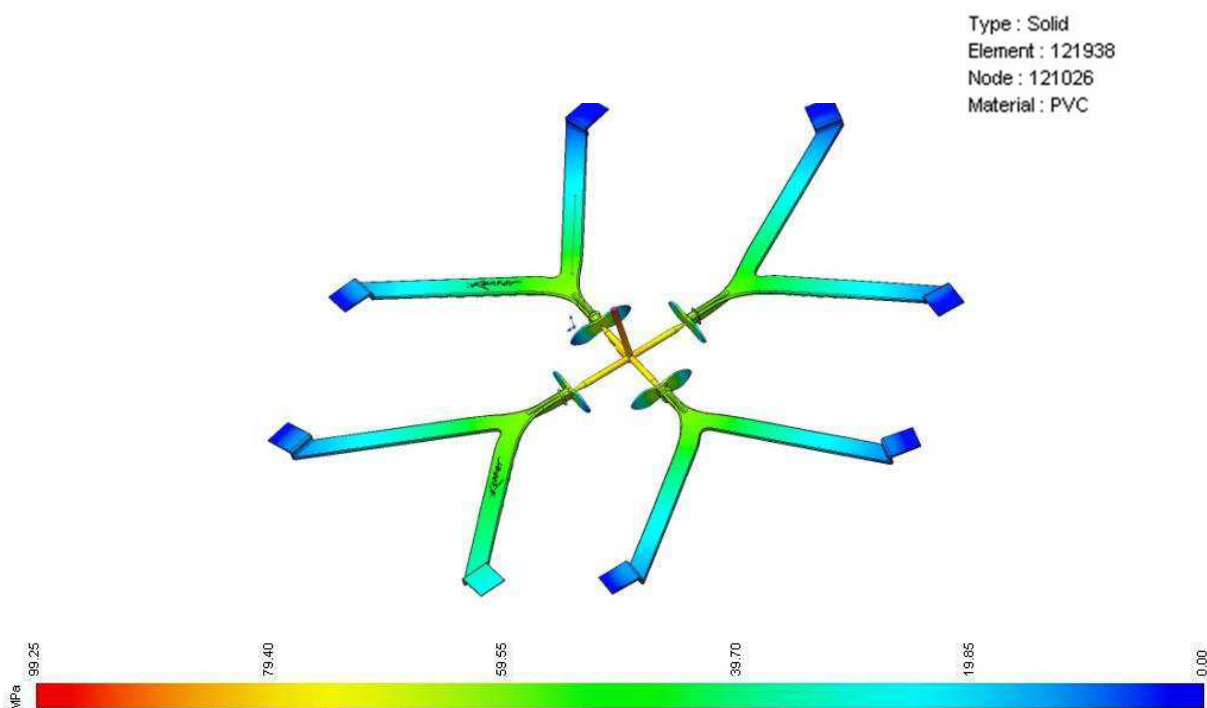


Figura 4.2: Pressão no fim do preenchimento (160°C)

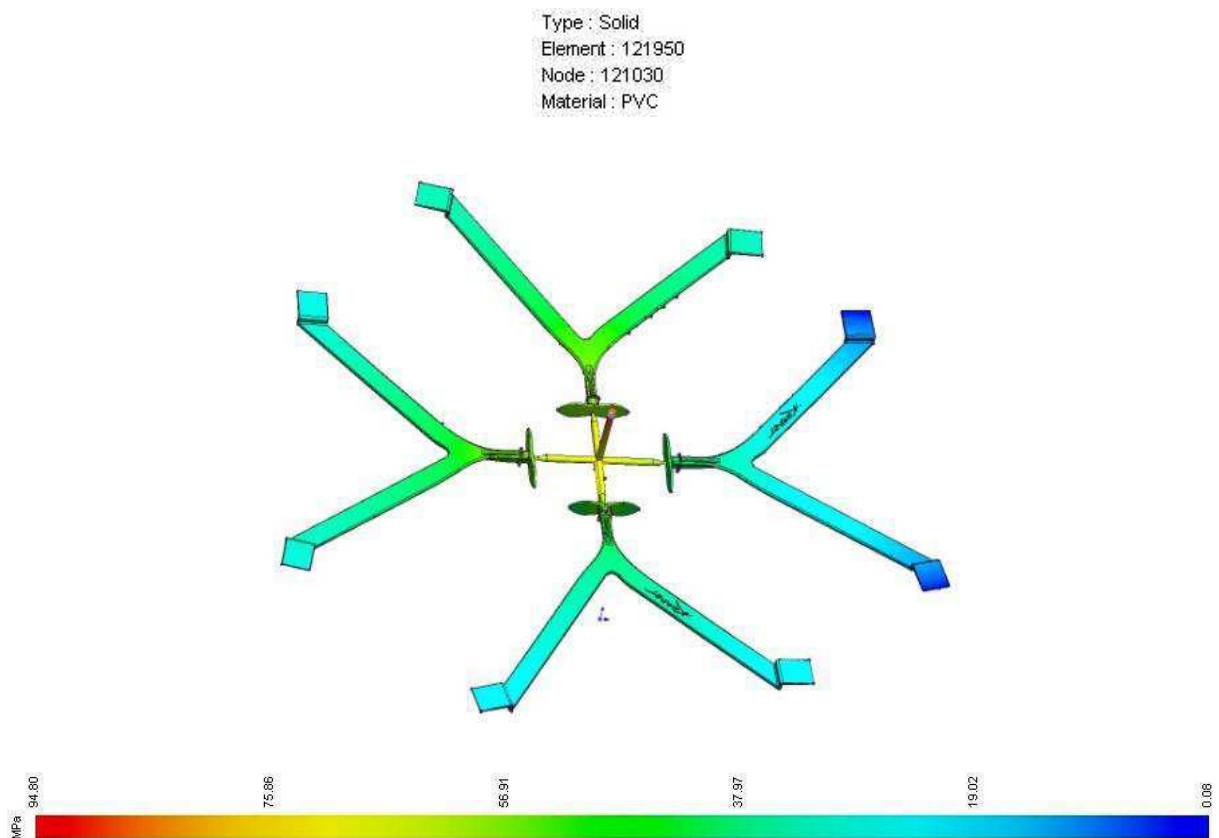


Figura 4.3: Pressão no fim do preenchimento (180°C).

#### 4.1.2 DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA

Para avaliação das temperaturas, percebeu-se que os resultados das simulações foram totalmente satisfatórios, uma vez que a aplicação de uma maior temperatura (180°C) na cavidade da matriz do material simulado, gerou uma redução das tensões internas, produzindo superfícies mais brilhantes, o que coincide com os experimentos realizados e apontados no Quadro 4.1. Foi possível perceber que as temperaturas baixas permitem ciclos de injeção mais rápidos, porém apresentam a desvantagem de gerar tensões internas, peças incompletas e linhas de junção muito marcadas, como mostrado nos experimentos realizados (Quadro 4.1). Percebeu-se assim, que a distribuição de temperatura no material é de fundamental importância no processo de injeção de cabedais monocores.

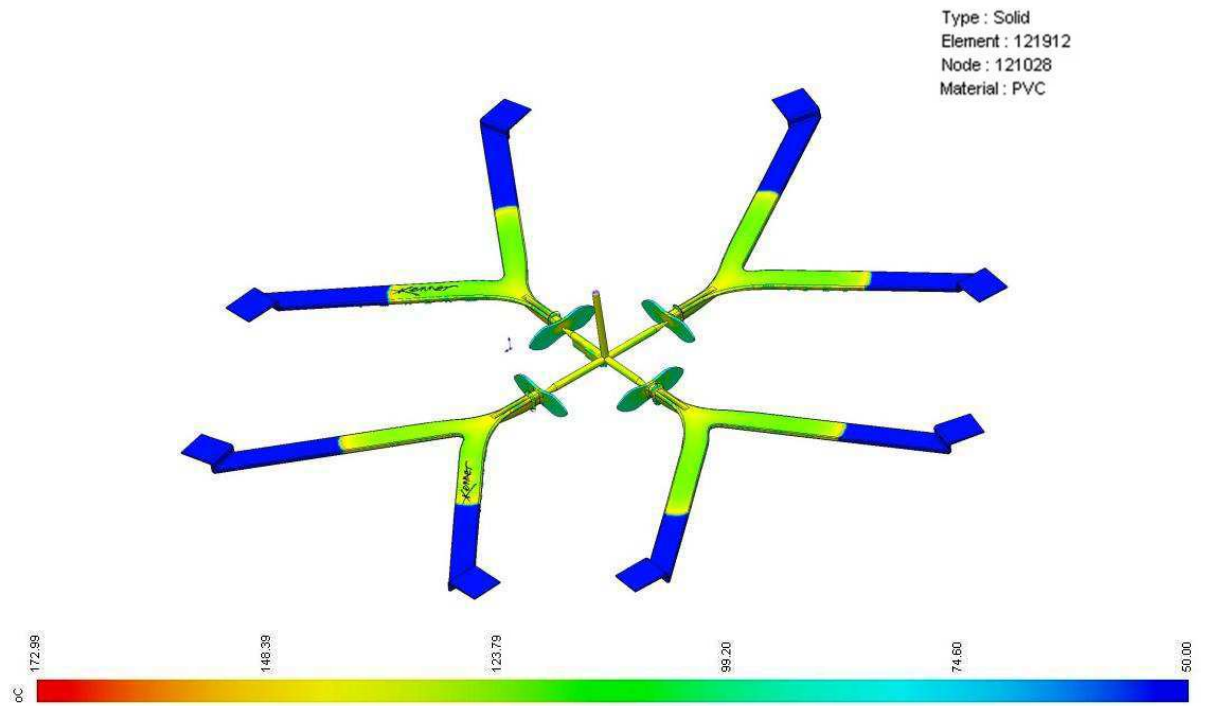


Figura 4.4: Temperatura média no fim do preenchimento (140°C).

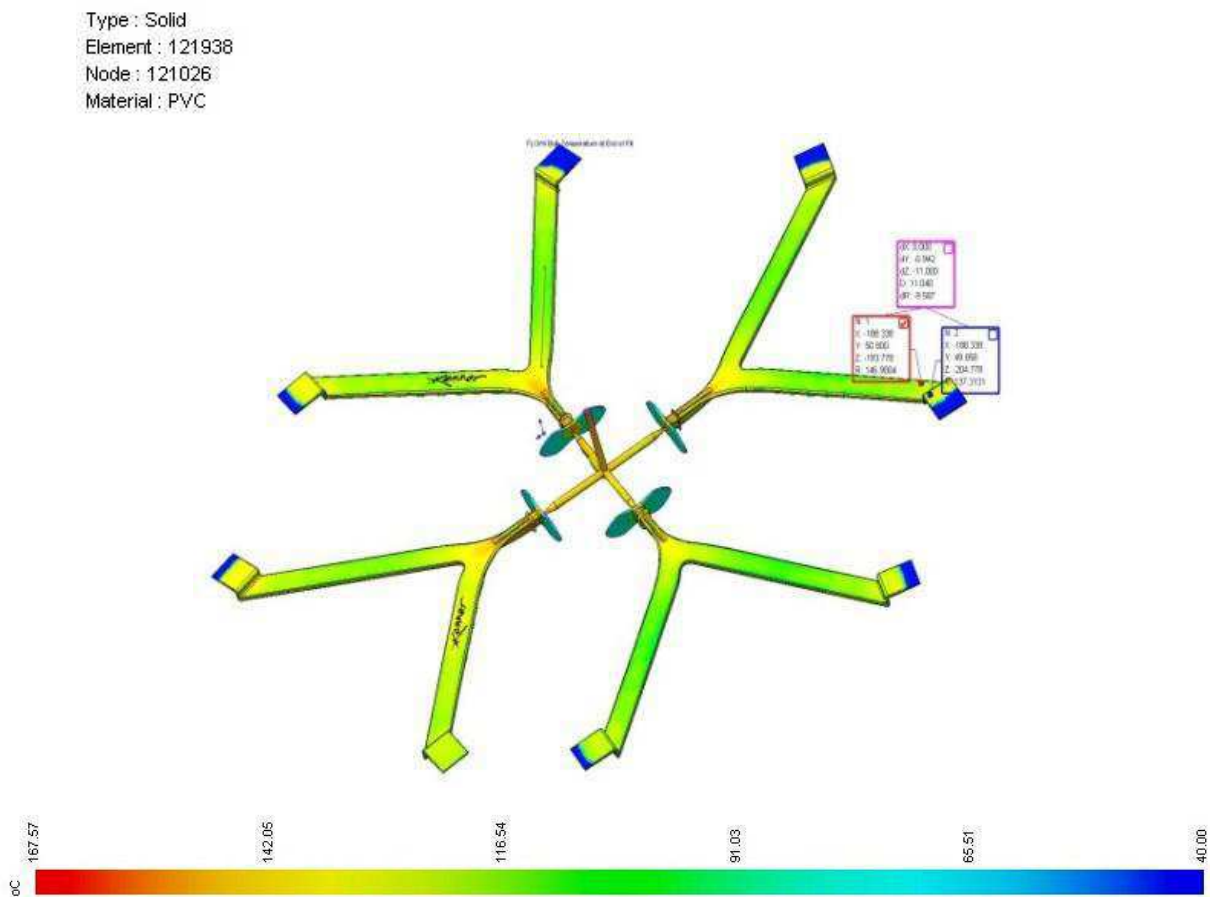


Figura 4.5: Temperatura média no fim do preenchimento (160°C).

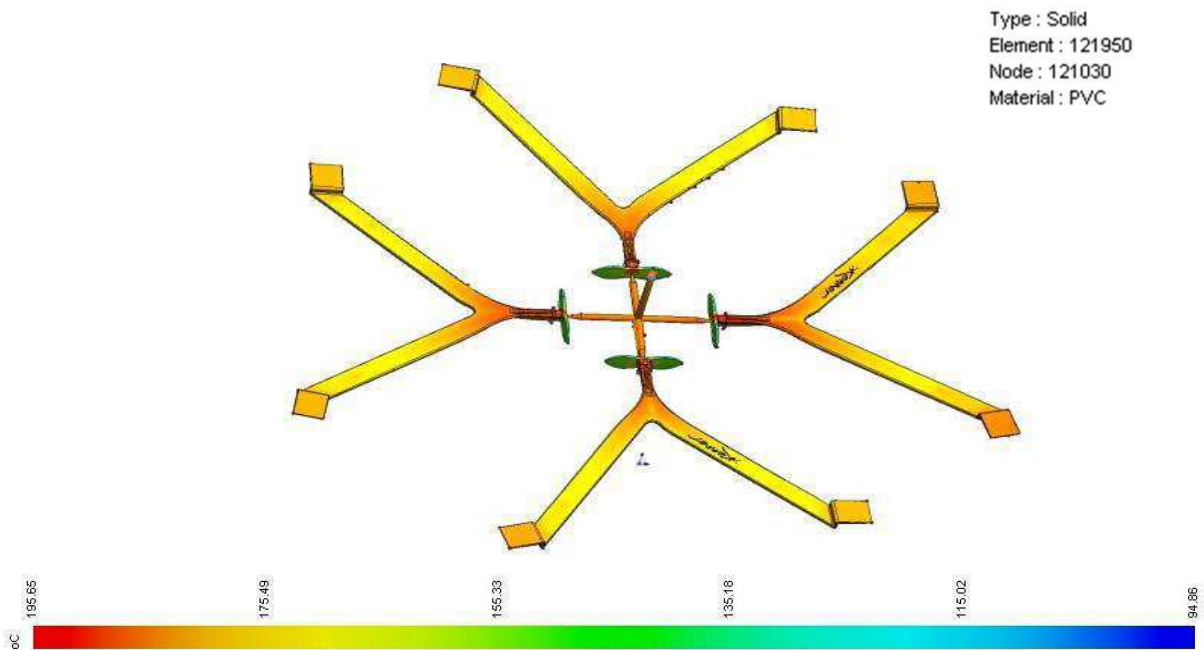


Figura 4.6: Temperatura média no fim do preenchimento (180°C).

#### 4.1.3 TEMPO DE ENCHIMENTO

O tempo de enchimento nas simulações ocorreu de forma esperada, tendo em vista que o tempo próximo dos ciclos já obtidos em escala industrial coincidiu. Sabe-se que no processo de fabricação dos cabedais monocores Summer, levam-se em torno de 15-20 segundos para efetuar o ciclo completo (da injeção – à extração do cabedal), e observa-se nas simulações uma variação aproximada que pode ser visto nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

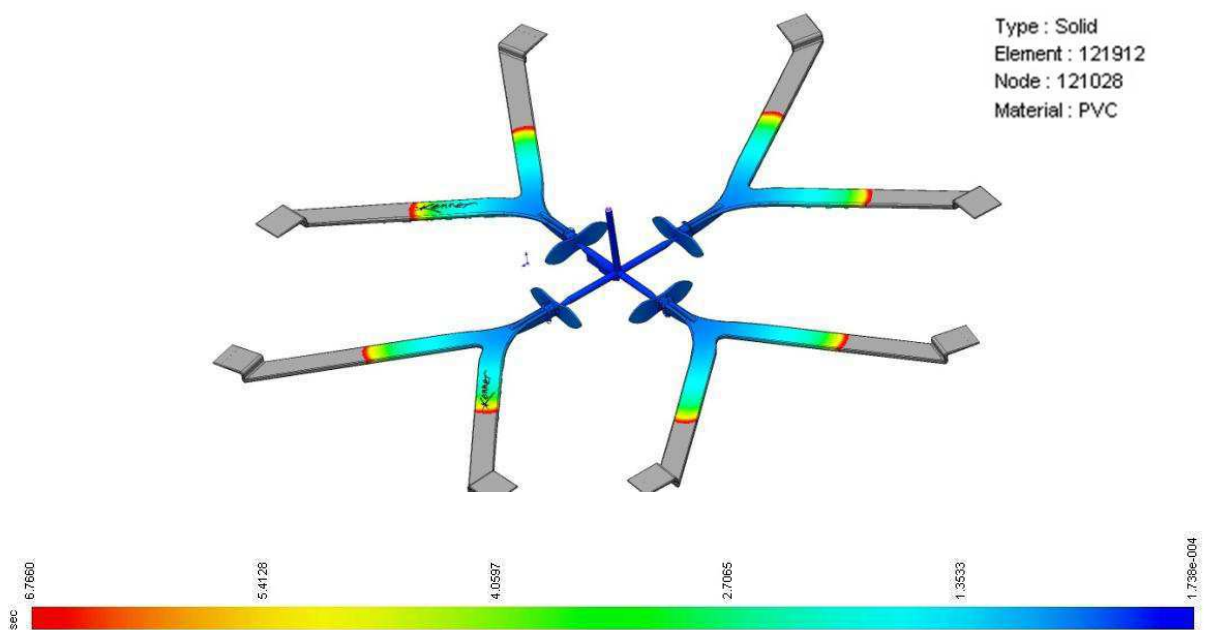


Figura 4.7 – Tempo de preenchimento (140°C).

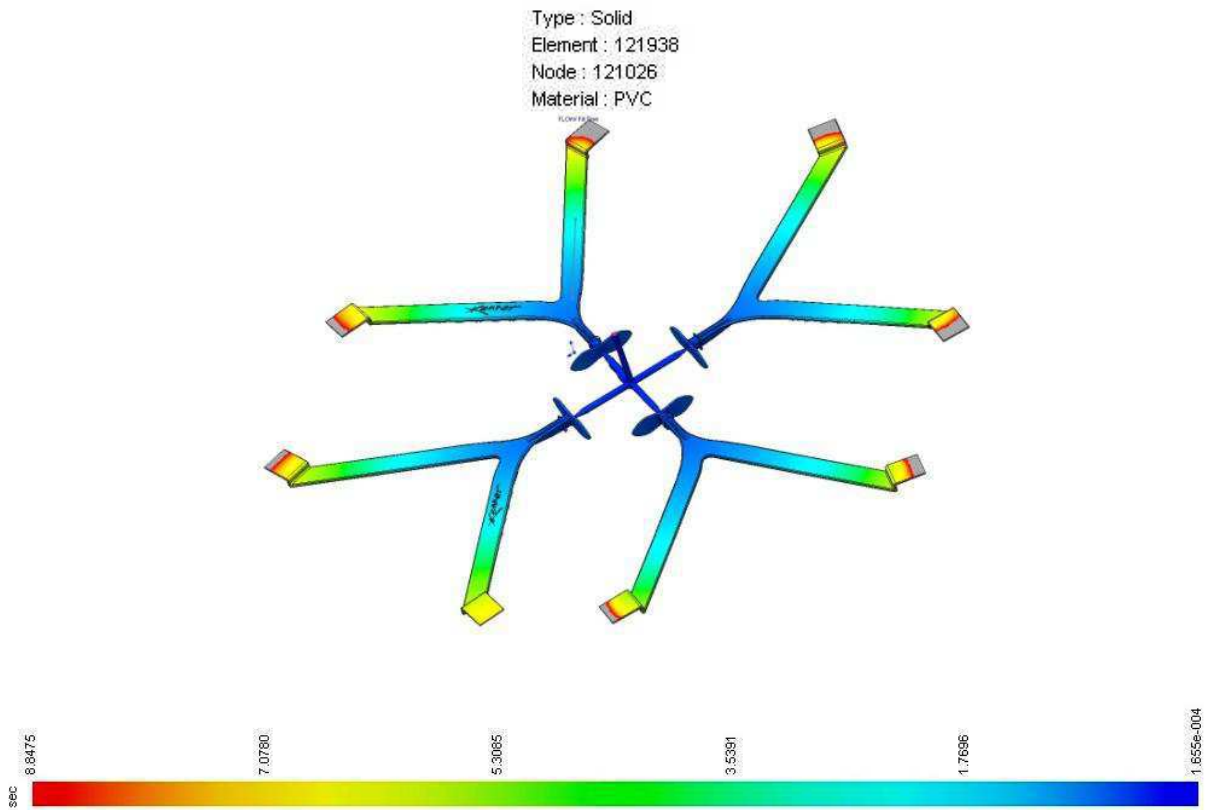


Figura 4.8 – Tempo de preenchimento (160°C).

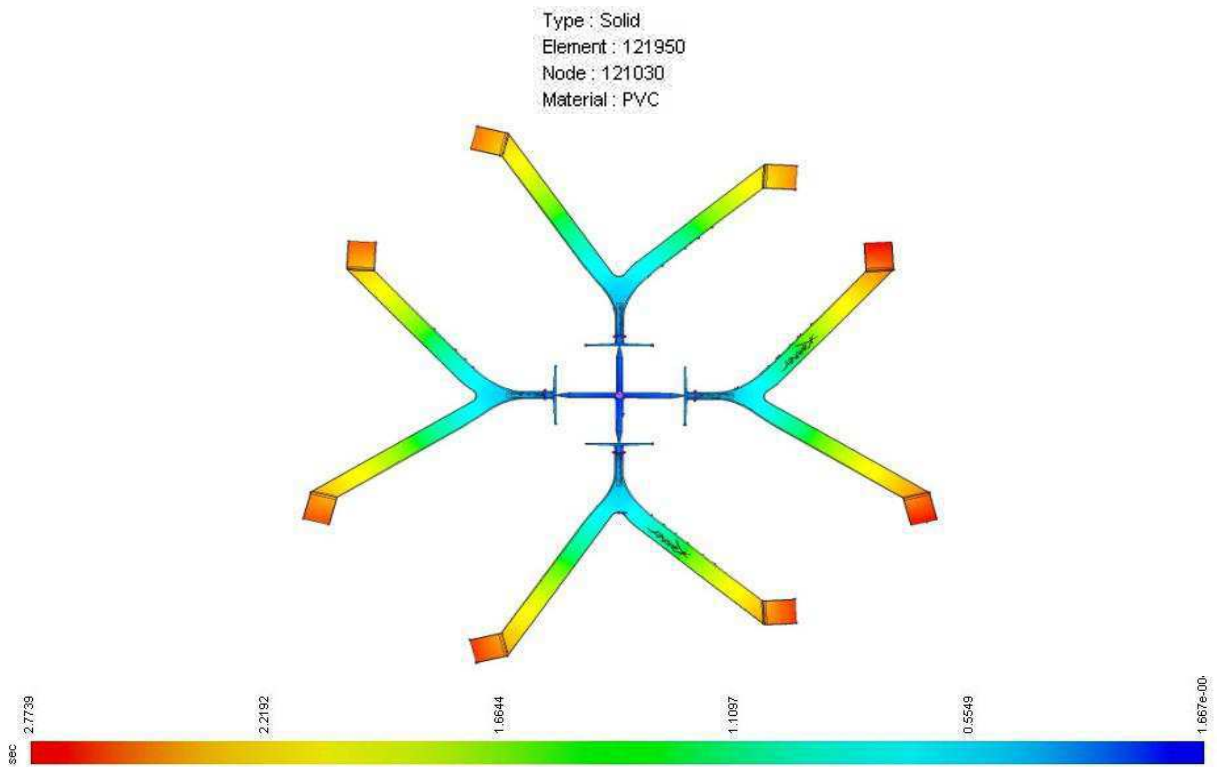


Figura 4.9 – Tempo de preenchimento (180°C).

#### 4.1.4 FACILIDADE DE ENCHIMENTO

Neste tipo de simulação é possível entender as dificuldades de preenchimento das cavidades. As áreas verdes indicam zonas que podem ser preenchidas facilmente, as áreas amarelas representam regiões nas quais o preenchimento das zonas ocorrem de forma normalmente e as áreas vermelhas indicam as regiões com dificuldade de preenchimento durante o ciclo de injeção.

Tendo em vista, esta análise de simulação, pode-se comprovar que, para o material fluido em questão, quanto maior a temperatura, menos viscoso o fluido se torna, perdendo parte de suas propriedades viscosas. Observou-se, na simulação com a temperatura de 140°C, que o preenchimento da cavidade foi praticamente representado pela cor vermelho. O fato é um indicativo que a temperatura de 140°C é baixa para a injeção do material na matriz. O contrário ocorre na temperatura de 180°C, em que a facilidade de preenchimento foi praticamente todo verde. Percebe-se claramente a interferência da temperatura no preenchimento das cavidades através das Figuras 4.10, 4.11 e 4.12.

A facilidade de preenchimento está diretamente ligada com os aspectos dimensionais dos cabedais, por isso tem-se semelhança entre os resultados das simulações e obtidos através dos experimentos listados no Quadro 4.1.

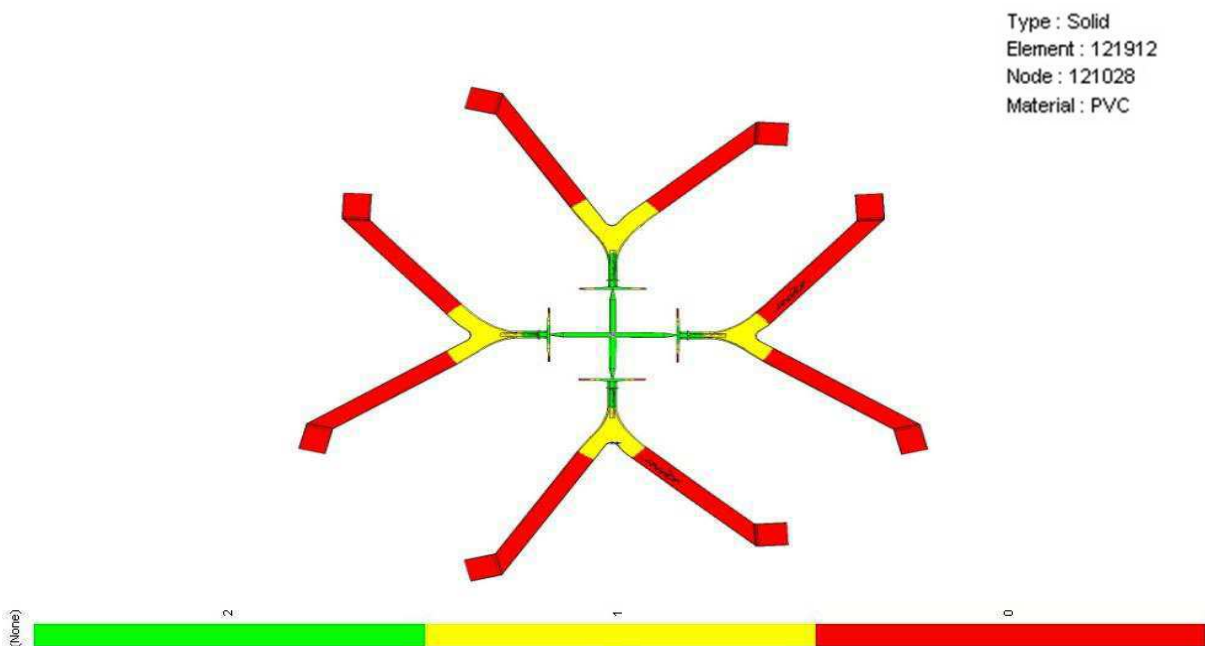


Figura 4.10 – Facilidade de preenchimento (140°C).

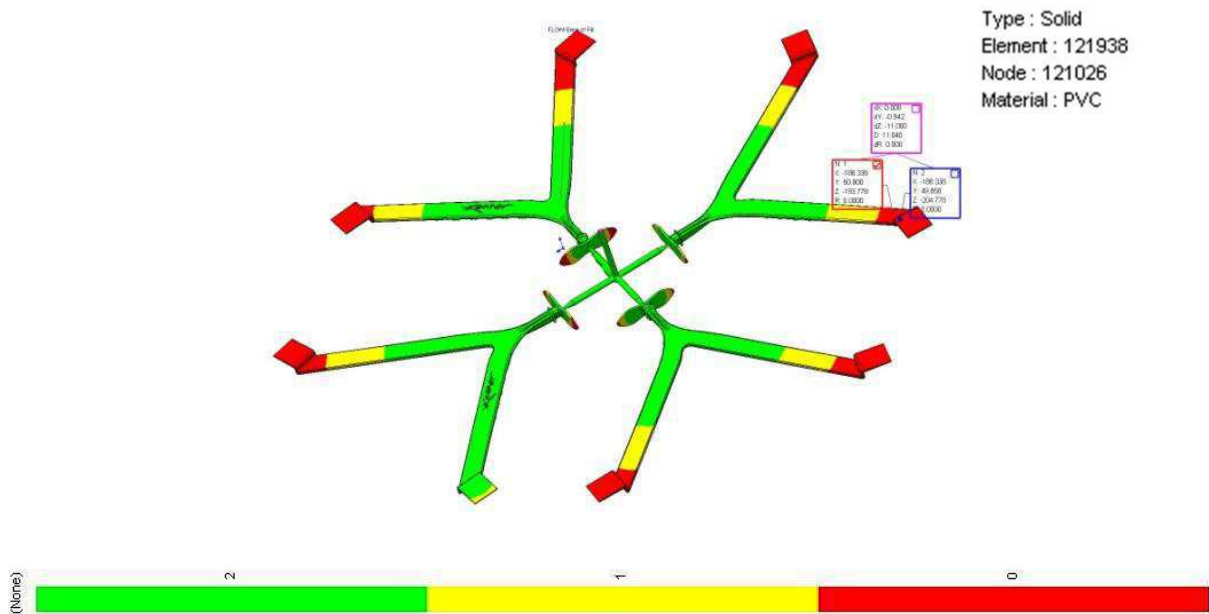


Figura 4.11 – Facilidade de preenchimento (160°C).

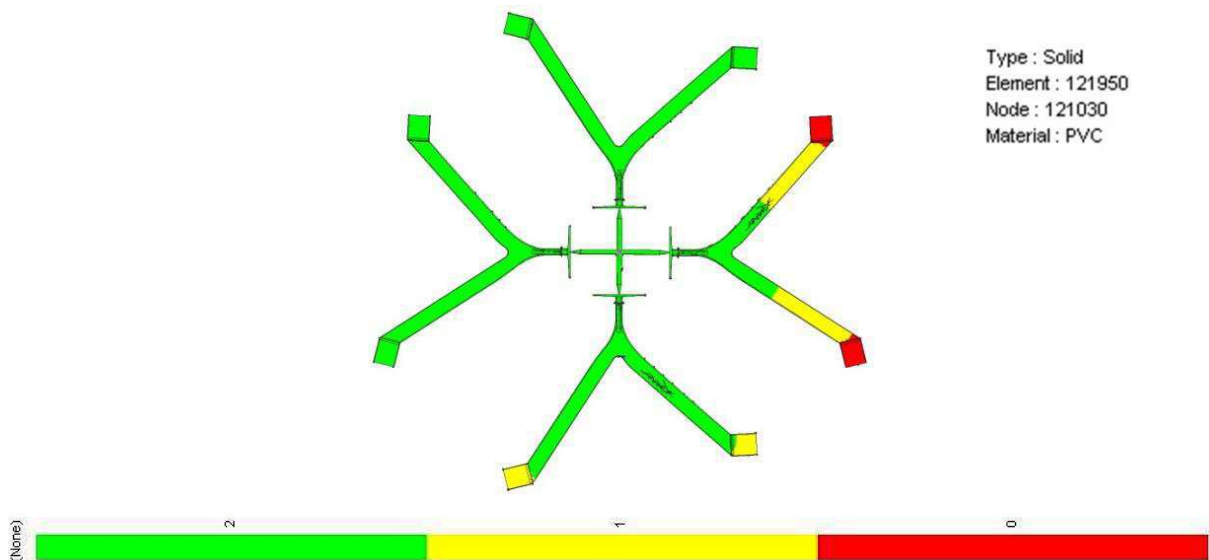


Figura 4.12 – Facilidade de preenchimento (180°C).

#### 4.1.5 DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO

Com a simulação realizada pode-se verificar a variação da deformação provocada pelo cisalhamento do material por unidade de tempo. Os resultados das simulação podem ser comparados com os ensaios de tração realizados para caracterizar mecanicamente os cabedais monocores em PVC.

A média encontrada na simulação foi de 5.90 MPa (Figura 4.13), muito próxima da média que se obteve na caracterização mecânica, obtidas nos ensaios de tração (6 MPa), tornando assim, as simulações precisas e coerentes aos experimentos realizados com os cabedais processados no estudo.

Na simulação da distribuição de tensão vista na Figura 4.14, a tensão máxima foi de 2.81 MPa; uma tensão baixa devido a alta temperatura no cabedal, responsável pela redução das tensões internas (Figura 4.15).

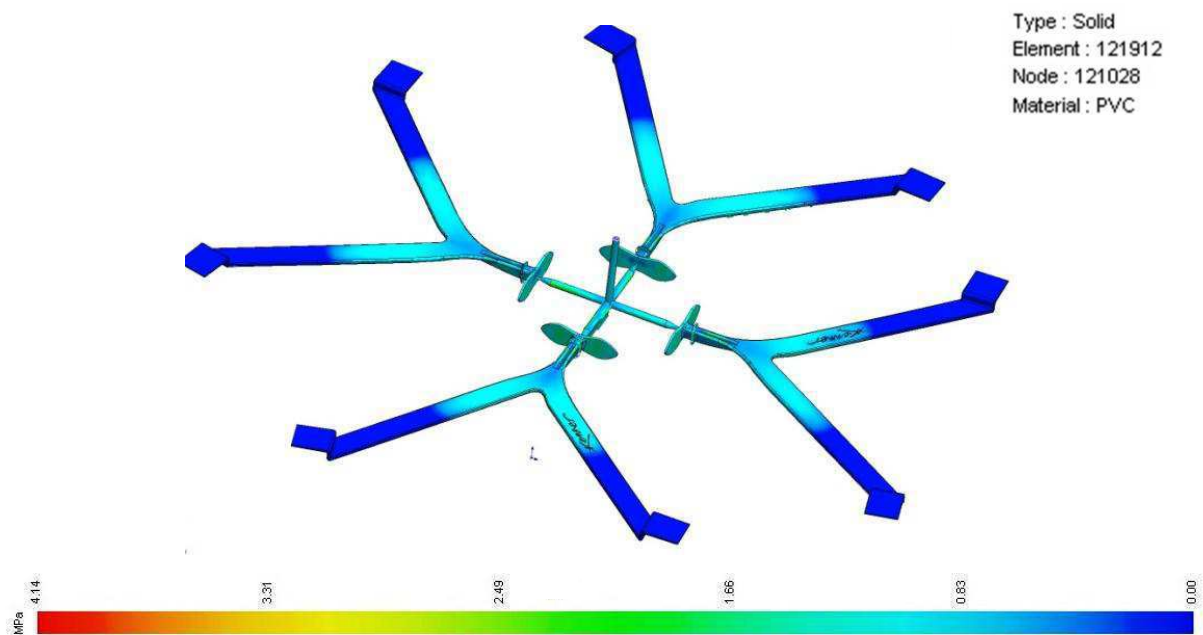


Figura 4.13 – Tensão de cisalhamento no fim do preenchimento (140°C).

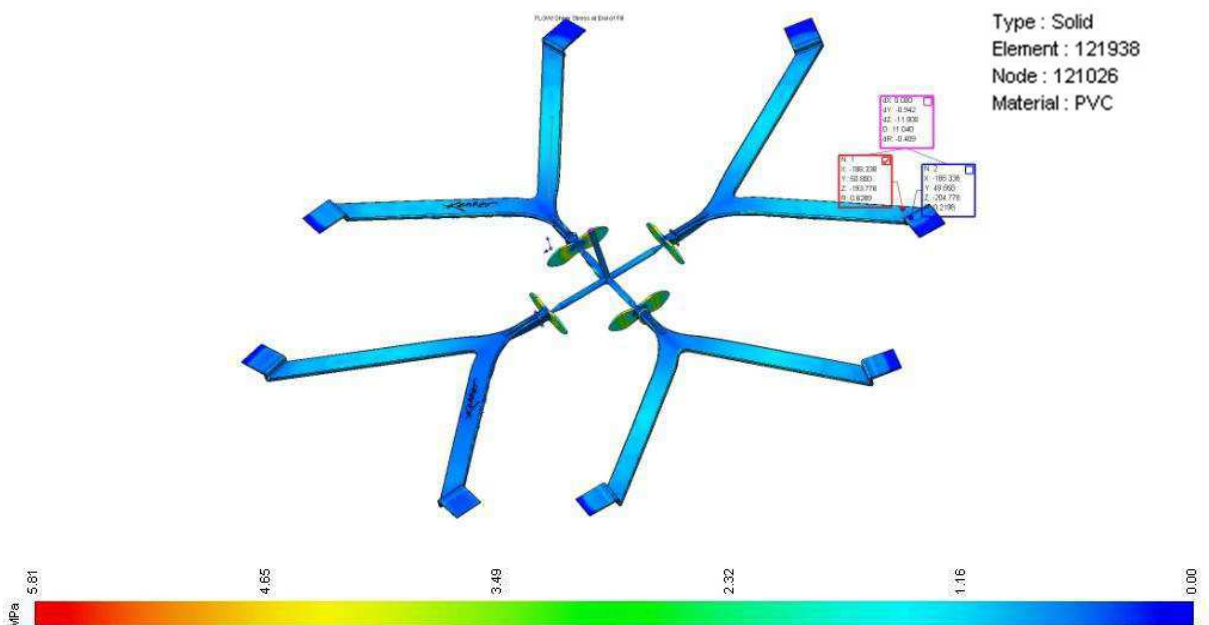


Figura 4.14 – Tensão de cisalhamento no fim do preenchimento (160°C).



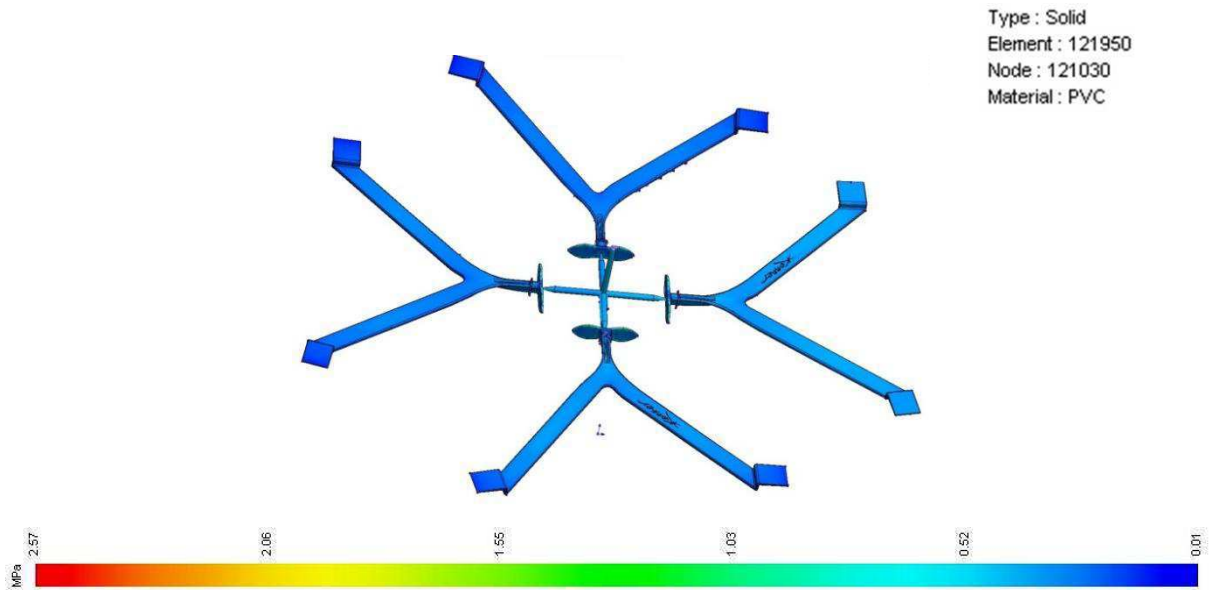


Figura 4.15 – Tensão de cisalhamento no fim do preenchimento (180°C).

## 4.2 EXPERIMENTAL

### 4.2.1 ANÁLISE QUALITATIVA DOS CABEDAIS PRODUZIDOS

Os cabedais são fabricados pelo processo de injeção de PVC, mas durante este processo pode-se perceber diferentes tipos de defeitos, tais como:

- Cabedal com rebarba;
- Cabedal com rechupe;
- Cabedal manchado;
- Cabedal fora do dimensional especificado;
- Cabedal incompleto (falta de preenchimento da cavidade);
- Cabedal com excesso de brilho.

#### a) Cabedal com rebarba

Cabedais com rebarbas (Figura 4.16) são peças que apresentam sobras de materiais. As rebarbas não fazem parte da geometria da peça, elas podem aparecer em junções do molde, gavetas, linha de fechamento, e até mesmo em pontos de injeção, por falta de força de fechamento e/ou ajustes. São prejudiciais em áreas de vedações, lugares onde haverá armazenamento e ou passagem de líquidos, comprometendo a eficiência do produto. As medidas para evitar este tipo de defeito são: diminuição da temperatura do cilindro,

diminuição da pressão de injeção, diminuição do tempo de recalque, aumentar a força de fechamento e ajustar o travamento do molde.



Figura 4.16: Cabedal com rebarba.

#### **b) Cabedal com rechupe**

Os pontos de rechupes (Figura 4.17) são baixos relevos da superfície, que muitas vezes são identificáveis por reflexões diferenciadas de luz e brilhos. O rechupe é dado pela variação de contração em toda a região do cabedal. Pontos de rechupes ocorrem em áreas típicas como nervuras de grande massa. As medidas de evitar este tipo de defeito são: controlar o curso de dosagem e eventualmente aumentá-lo, prolongar o tempo de pressão de recalque, aumentar a pressão de recalque, variar alguns parâmetros da temperatura do molde, otimizar a velocidade de injeção e aumentar a pressão de injeção.



Figura 4.17: Cabedais com rechupe.

#### **c) Cabedal manchado**

Cabedais manchados (Figura 4.18) são pequenas alterações no aspecto visual do cabedal que não fazem parte do visual original do mesmo. As manchas podem aparecer devido a moldes sujos e/ou falta de lubrificação nos moldes. As medidas para se evitar este tipo de

defeito são: efetuar a limpeza dos moldes sempre que utilizá-los e efetuar a lubrificação dos moldes antes e depois de seu uso.



Figura 4.18: Cabedal manchado.

#### **d) Cabedal fora do dimensional**

Os cabedais fora das dimensões padrão (Figura 4.19) são cabedais injetados que estão com sua geometria original alterada, tanto maior quanto menor, que pode ser causada por temperatura de injeção elevada ou temperatura de injeção baixa, respectivamente. As medidas para se evitar este tipo de defeito são: regular a temperatura de injeção, controlar o tempo de resfriamento e regular a temperatura da água de resfriamento.

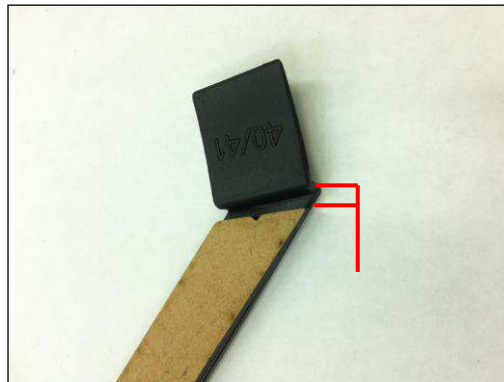


Figura 4.19: Cabedal fora do dimensional.

#### **e) Cabedal incompleto**

Cabedal incompleto (Figura 4.20) são peças onde não estão completas. A peça não conforma sua geometria original. Pode ser causado por moldes sujos, como por exemplo com excesso de graxa ou até erros de projetos e construções. As medidas de evitar este tipo de defeito são: ajustar a alimentação e dosagem, aumentar a pressão de injeção, aumentar a temperatura do molde, aumentar a velocidade de injeção e aumentar o tempo de recalque.

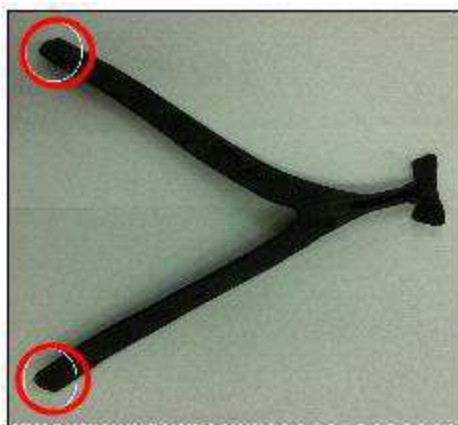


Figura 4.20: Cabedal incompleto.

#### f) Cabedal com excesso de brilho

Os cabedais com excesso de brilho (Figura 4.21) estão presentes principalmente na área de ponto de injeção e destacam-se por diferença de brilho. Este problema é causado por baixas velocidades de fluxo, que está ligado com a temperatura de operação. A medida de evitar este tipo de defeito é: aumentar a velocidade de injeção, escalonando a velocidade para que o início de enchimento do molde seja rápida e posteriormente mais lento.



Figura 4.21: Cabedal com excesso de brilho.

Diante desta situação, todos os cabedais obtidos nos experimentos foram rigorosamente avaliados pelo auditor de qualidade destinado a acompanhar a obtenção das amostras, incumbido de apontar as não conformidades de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o referido modelo de cabedal (exigências comerciais).

A seguir, no Quadro 4.1, observa-se os resultados obtidos na avaliação dos cabedais, realizadas pelo auditor de qualidade, oriundos do planejamento experimental.

Quadro 4.1- Resultado final dos cabedais injetados da matriz de planejamento experimental.

EXP	ASPECTO VISUAL	DIMENSIONAL	PREENCHIMENTO	RESULTADO
1	Manchado	Pequeno	Total	Rejeitado
2	Manchado	Pequeno	Falha extremidades	Rejeitado
3	Muito Manchado	Pequeno	Falhas de preenchimento	Rejeitado
4	Rechupes/Opaco	Pequeno	Poucas falhas nas pontas	Rejeitado
5	Muito manchado	Pequeno	Falha na dedeira	Rejeitado
6	Rechupes/manchas	Pequeno	Poucas falhas nas pontas	Rejeitado
7	Manchado	Pequeno	Total	Rejeitado
8	Pouco Brilho/ Manchado	Pequeno	Falha extremidades	Rejeitado
9	Brilho excessivo / opaco	Grande	Total	Rejeitado
10	Brilho e fluxo de material nas pontas	Grande	Falha extremidades	Rejeitado
11	Brilho excessivo	Grande	Total	Rejeitado
12	Brilho excessivo/deformações	Grande	Total	Rejeitado
13	Brilho excessivo	Grande	Total	Rejeitado
14	Brilho excessivo	Bom	Total	Rejeitado
15	Brilho excessivo/deformações	Grande	Total/falhas nas pontas	Rejeitado
16	Rechupes/brilho excessivo	Bom	Falha extremidades	Rejeitado
17	Brilho excessivo	Bom	Total	Rejeitado
18	Brilho	Bom	Total/falha extremidade	Rejeitado
19	Pouco Brilho	Bom	Total	Aprovado

De acordo com os resultados do Quadro 4.1, a rejeição dos cabedais deu-se por defeitos característicos do processo de injeção de PVC, dentre eles pode-se destacar: cabedal incompleto, que pode ter sido ocasionada pela baixa temperatura que o material foi injetado ou por ter sofrido um resfriamento demasiadamente rápido. Estes defeitos são visto de forma expressiva nos experimento de 2 a 4.

As manchas nos cabedais vistos nos experimentos compreendidos entre 3 a 5 são ocasionadas pela temperatura relativamente baixa, ou pela falta de escape de gases nas cavidades durante o ciclo de injeção.

O dimensionamento pequeno observado nos experimentos entre 2 e 4, são ocasionados pela temperatura baixa no processo de injeção, onde o material possuirá uma rápida solidificação.

O brilho excessivo nos cabedais obtidos nos experimentos apresentados no Quadro 4.1, são ocasionados pelo aumento da temperatura ou acúmulo de gases na matriz. Isto é visto nos experimentos entre 13 e 16, em que a temperatura de trabalho é de 180°C e a 90% de recalque. Com a elevação da temperatura a viscosidade da amostra irá diminuir, deixando o material mais fluido. Também é visto nos experimentos de 13 a 16, o tamanho demasiadamente grande do cabedal; por consequência da temperatura elevada, o material preenche mais facilmente a cavidade do molde, tendo em contra partida um processo de solidificação mais demorado, com grandes possibilidades de não atender as especificações dimensionais.

Percebe-se com os resultados alcançados, que as piores condições de fabricação dos cabedais no processo de injeção foram:

- Temperatura baixa (140°C) e temperatura alta (180°C);
- Pressão baixa (15 bar) e pressão alta (50 bar);
- Recalque baixo (0%) e recalque alto (90%);
- Velocidade baixa (0 rpm) e velocidade alta (15 rpm).

e as melhores condições de fabricação são:

- Temperatura média (160°C);
- Pressão média (32,5 bar);
- Recalque médio (45%);
- Velocidade média (7,5 rpm).

Sendo assim, constata-se que essas condições são as mais recomendáveis para a fabricação no processo de injeção de PVC para o modelo escolhido para o estudo.

#### 4.2.2 ANÁLISE DO ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI)

O teste de MFI foi realizado na máquina DSM plastômero MI-3. Inicialmente, foram realizados com sucesso nas misturas de 5% até 40% de carga reciclada. Após esse percentual, os testes foram suspensos em função de obstrução do orifício de passagem do material.

Primeiramente, houve uma obstrução do canal pelo qual o material vaza. Isso ocorreu devido ao aumento da viscosidade, concedida ao material através da adição da mistura reciclada com carga, sendo percebida a dificuldade de fluir a 160°C. No primeiro momento, interpretou-se, através desses resultados, que não seria viável injetar em escala industrial com percentuais acima de 40% de mistura reciclada. Após avaliação, para entender melhor o evento, atentou-se que o tempo da residência no mixer alterou a viscosidade do material em relação ao material injetado nas condições reais de produção, ou seja, o tempo de residência do material no cilindro de plastificação é muito menor que o tempo de homogeneização no mixer.

Na Figura 4.22 pode-se observar os resultados do ensaio de MFI na condição de processamento com 100% , 60% e 40% de PVC virgem:

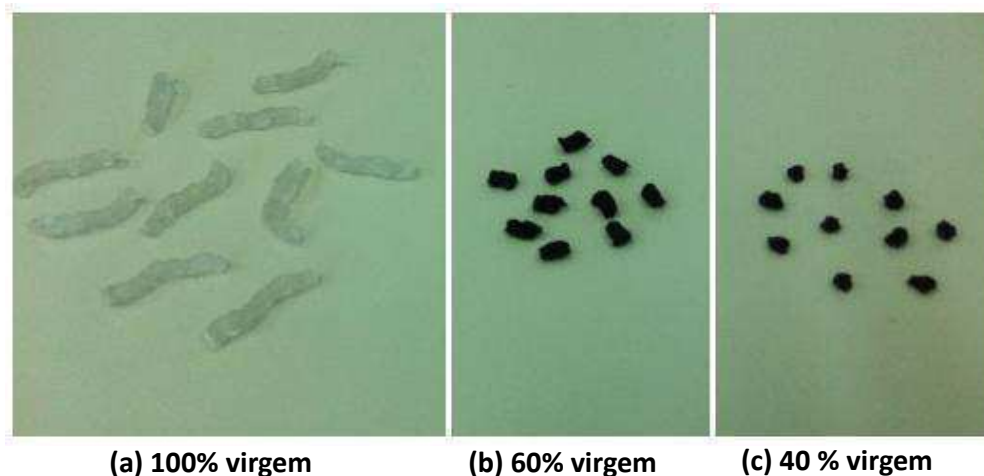


Figura 4.22 – Resultado das amostras após o MFI.

Os resultados obtidos nos ensaio foram:

- a) PVC cristal (dureza 65): 0,1621 g/10 min;
- b) Mistura reciclada – composição (60% de PVC + 40% de carga reciclada)=0,0405 g/10 min;
- c) Mistura reciclada – composição (40% de PVC + 60% de carga reciclada)=0,0324 g/10 min.

### 4.2.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Conforme os resultados vistos na Figura 4.23, pode-se dizer que nas amostras de cabedal Esquerdo-Esquerdo (EE), a faixa de deformação variou entre 378,6 e 424,5 mm, enquanto que a tensão necessária para romper a amostra variou entre 29,67 e 33,35 kgf/mm<sup>2</sup>.

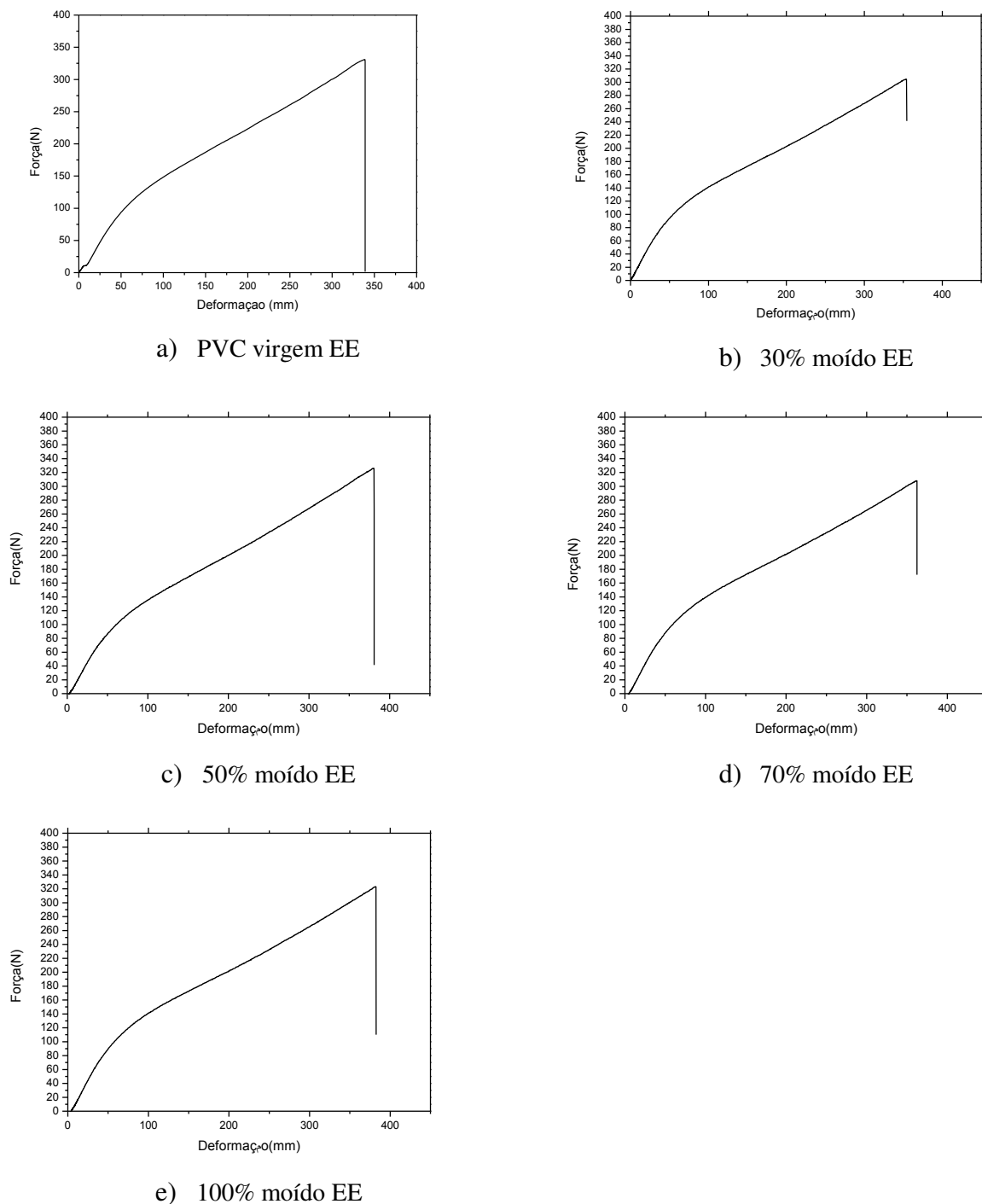
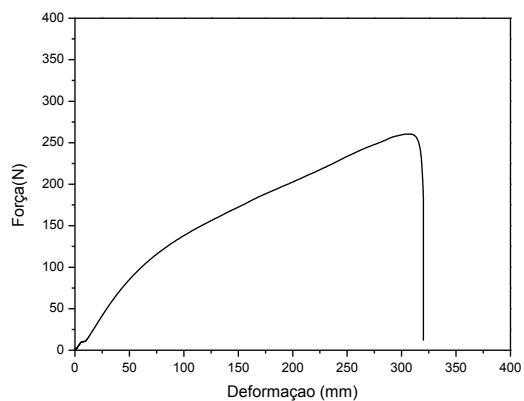


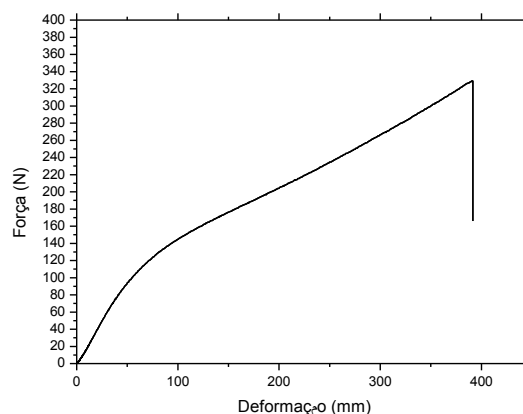
Figura 4.23: Comportamento Tensão x Deformação para o cabedal EE.



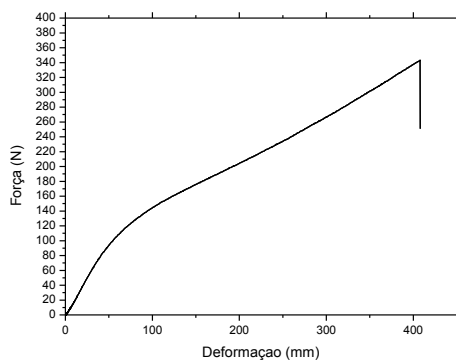
Para as amostras de cabedal Esquerdo-Direito (ED), constatou-se que a faixa de deformação variou entre 416,6 e 462,9 (mm), enquanto que a força necessária para romper as amostras variou entre 32,52 kgf e 36,33 kgf, conforme a Figura 4.24.



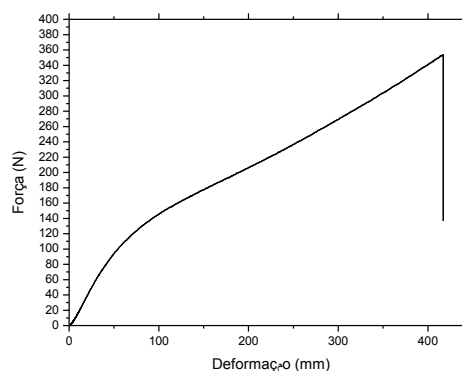
a) PVC virgem ED



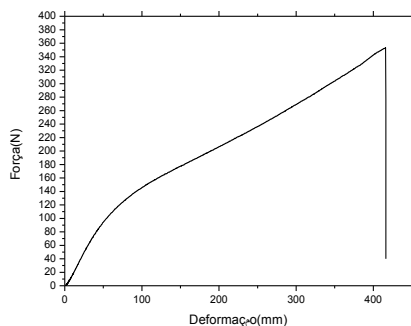
b) 30% moído ED



c) 50% moído ED



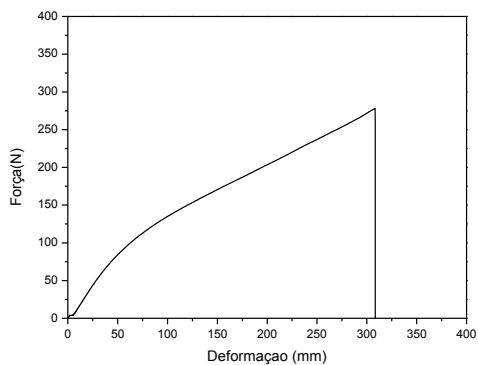
d) 70% moído ED



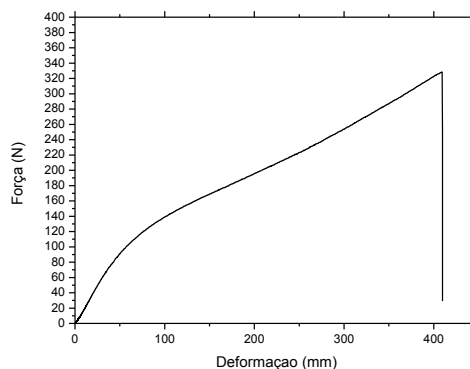
e) 100% moído ED

Figura 4.24: Comportamento Tensão x Deformação para o cabedal ED.

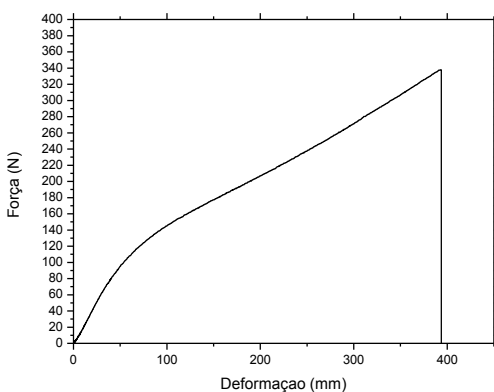
Para as amostras de cabedal Direito-Esquerdo (DE), notou-se que a faixa de deformação variou entre 415,6 e 454,5 mm, enquanto que a tensão necessária para romper as amostras variou entre 32,10 e 34,46 kgf/mm<sup>2</sup>, conforme a Figura 4.25.



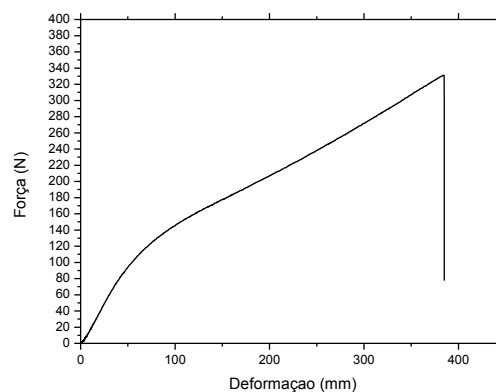
a) PVC virgem DE



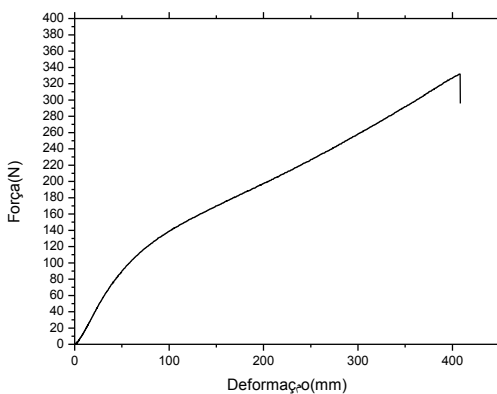
b) 30% moído DE



c) 50% moído DE



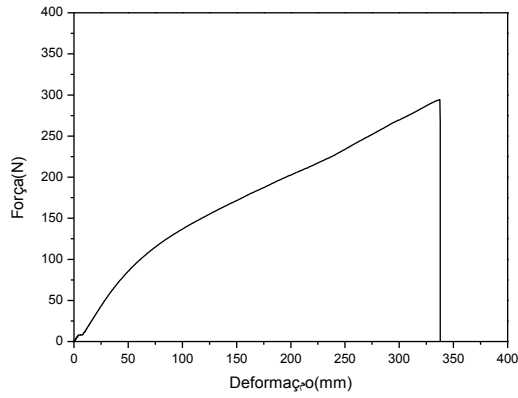
d) 70% moído DE



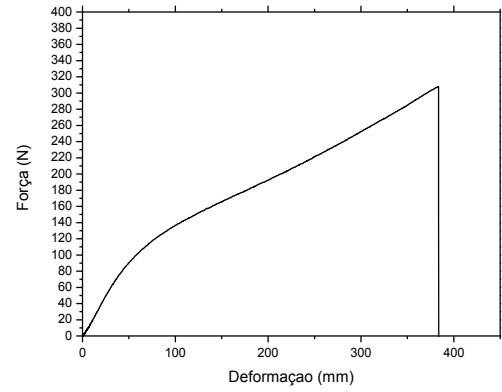
e) 100% moído DE

Figura 4.25: Comportamento Tensão x Deformação para o cabedal DE.

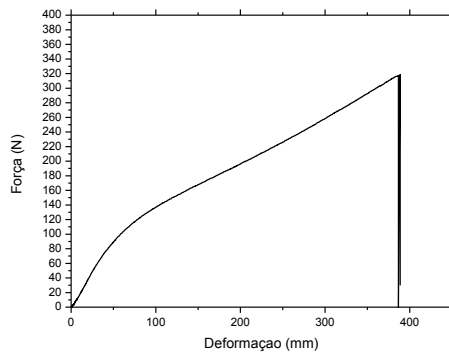
Para as amostras de cabedal Direito-Direito (DD), observou-se que a faixa de deformação variou entre 392,8 e 431,4 mm, enquanto que a tensão necessária para romper as amostras variou entre 30,09 e 32,52 kgf/mm<sup>2</sup>, conforme a Figura 4.26.



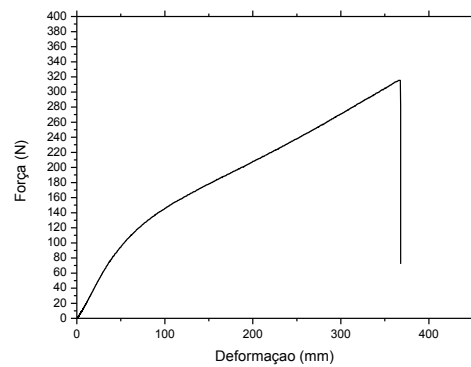
a) PVC virgem DD



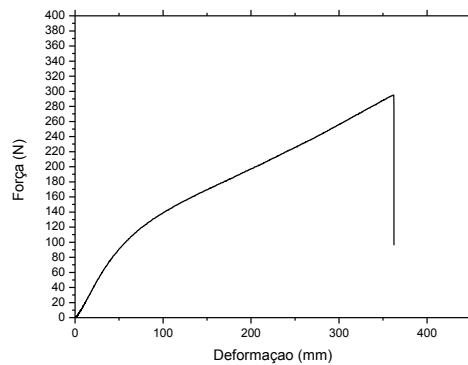
b) 30% moído DD



c) 50% moído DD



d) 70% moído DD



e) 100% moído DD

Figura 4.26: Comportamento Tensão x Deformação para o cabedal DD.

De acordo com o os resultados expostos nos gráficos dos ensaios de tração (Figuras 4.23, 4.24, 4.25 e 4.26), pode-se observar que não houve alterações significativas no que diz respeito à resistência mecânica das amostras estudadas. Os valores da tensão permaneceram dentro de uma faixa que variou de 29,67 a 36,33 kgf/mm<sup>2</sup>, e a deformação sofrida pelas amostras variam de 378,6 a 462,9 mm.

Analisando os resultados pode-se dizer que o cabedal com até 100% de material moído possui resistência mecânica próxima aos cabedais injetados apenas com o material virgem. Os resultados se aplicam a todos os lados dos cabedais (direito e esquerdo), não havendo influência da sua geometria no processo.

#### **4.2.4 MICROSCOPIA ÓPTICA**

Os ensaios morfológicos serviram para comparar os resultados alcançados com o cabedal em PVC virgem e dos cabedais injetados com adição de reciclado, sendo que os percentuais variaram de 5% a 100% de material moído (1º ciclo).

Foram feito imagens de amostras com 100% de PVC virgem, com 50% de material moído e com 100% de material reciclado.

A seguir ilustram-se os resultados da microscopia ótica (aumento de 100x), realizados com amostras de seção transversal de cabedais produzidos com e sem mistura reciclada.



Figura 4.27: Amostra da superfície do cabedal com PVC virgem.

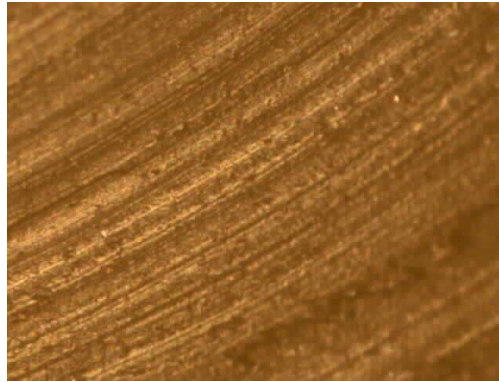


Figura 4.28: Amostra da superfície do cabedal com 50% de reciclado adicionado ao PVC virgem.

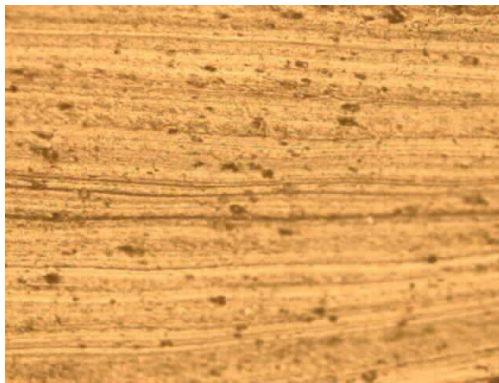


Figura 4.29: Amostra da superfície do cabedal com 100% de reciclado.

Mediante a avaliação das imagens apresentadas (Figuras 4.27, 4.28 e 4.29), pode-se perceber que na medida em que a adição de reciclado aumenta, não são percebidas inclusões ou vazios, ou seja, não foram constatadas variações significativas. Deste modo, pode-se concluir que adição de reciclado (1º ciclo) não influencia nas condições da superfície dos cabedais injetados pelo método convencional.

#### **4.2.5 ENSAIO DE DUREZA SHORE A**

Os testes de dureza Shore A foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais na UFCG, num equipamento durômetro Woltest MP-20. As médias dos valores de dureza obtidos para 05 pares de cabedais ensaiados, por percentual indicado na Quadro 4.2, reforçam a similaridade das propriedades mecânicas e morfológica, constatadas em experimentos realizados anteriormente. Através dos resultados vistos no Quadro 4.2, pode-se

dizer que o cabedal com qualquer composição de material moído (1º ciclo de reciclagem) apresenta boa resistência mecânica e condições de uso tão boas quanto às do cabedal com PVC100% virgem.

Quadro 4.2- Resultados do ensaio de dureza Shore A:

<b>AMOSTRA</b>	<b>DUREZA</b>
Cabedal PVC virgem	71
Cabedal 30% moído	70,5
Cabedal 50% moído	70
Cabedal 70% moído	70
Cabedal 100% moído	71

## CAPÍTULO – V

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

#### 5.1 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos a partir das simulações, dos experimentos realizados, ensaios mecânicos e morfológicos, pode-se concluir de uma maneira geral, que:

- Com as simulações realizadas em diferentes condições operacionais, verificou-se a viabilidade do CFD, para auxiliar no projeto de produtos;
- Parâmetros como temperatura, tempo de enchimento, facilidade de enchimento e tensão de cisalhamento, concordaram os resultados experimentais, exceto a pressão, em que constatou-se desvios entre os resultados teóricos e experimentais consideráveis;
- Os melhores parâmetros de injeção para o cabedal de referência são: velocidade de injeção 7,5 RPM, pressão de injeção 32,5 bar, temperatura de injeção 160<sup>o</sup>C (3<sup>o</sup> zona) e refrigeração da matriz (água 15<sup>o</sup>C). Os parâmetros de maior influência no processo de injeção do cabedal de referência, são: a temperatura do material, pressão e velocidade de injeção;
- Com os melhores parâmetros de fabricação, obteve-se aumento na produção de cabedais monocolor em PVC, Summer (40/41) injetados em matriz de aço, por meio de processo convencional em 11,25%, saindo de uma produção horária de 160 para/hora (média), para 180 pares/ hora (média).
- Os ensaios de tração realizados com as diversas composições mostrou que não existem diferenças significativas nas propriedades mecânicas das peças produzidas com material virgem e as obtidas com até 100% de mistura reciclada (1<sup>o</sup> ciclo);
- As imagens obtidas por meio de microscopia ótica e o ensaio de dureza comprovaram que o produto não sofre alterações que mudem a condição de conforto ao serem produzidos em escala industrial;

- Foi possível reduzir os custos de produção por meio da incorporação de material reciclado (PVC – 1º ciclo de reprocessamento) através do processo de moagem, mantendo o mesmo nível de qualidade e sem alterações significativas das propriedades mecânicas.

Após a validação do estudo, e a incorporação de carga reciclada à fabricação de novos produtos, estima-se que a contribuição econômica seja de R\$ 400.000,00/ano.

## **5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

Como sugestões podem ser citadas os seguintes trabalhos:

- Desenvolver experimentos relacionados com a produção de cabedais com adição de reciclado com mais de um ciclo de reciclagem;
- Ampliar os experimentos relacionados com a produção de cabedais coloridos, avaliando o comportamento mediante a adição de reciclado;
- Estudar o escoamento do material sendo injetado em camadas finas, utilizando simulação computacional, para definir espessura mínima para a soldagem de cores.



## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D.C.M. **Processo de injeção de polipropileno em indústria automobilística.** 2009. Monografia (Trabalho de Conclusão de curso em Produção de Plástico). Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo.
- BARRIERE, T., GELIN, J.C., LIU, B. Improving mould design and injection parameters in metal injection moulding by accurate 3D finite element simulation, *Journal of Materials Processing Technology* 125-126, p. 518-524, February 2002.
- BORONAT, T., SEGUI, V.J., PEYDRO, M.A., REIG, M.J. Influence of temperature and shear rate on the rheology and processability of reprocessed ABS in injection molding process, *Journal of Materials Processing Technology* 209, p. 2735-2745, June 2008.
- CHAN, S.F., LAW, C.K., CHAN, K.K. Computerised price quoting system for injection mould manufacture, *Journal of Materials Processing Technology* 139, p. 212-218, 2003.
- DALCIN, G.B. **Ensaio dos Materiais.** 2007. Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo.
- DUNNE, P., SOE, S.P., BYRNE, G., VENUS, A., WHEATLEY, A.R., Some demands on rapid prototypes used as master patterns in rapid tooling for injection moulding, *Journal of Materials Processing Technology* 150, p. 201-207, March 2003.
- FERREIRA, F.C., IOZZI, M.A., MARTINS, G.S., MARTINS, M.A., MATTOSO, L.H.C. Caracterização mecânica e térmica de compostos de poli(cloreto de vinila) reforçados com fibra de sisal, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol 14, n. 5, p. 326-333, 2004.
- FRANCISCHINI, A.S.N., AZEVEDO, P.F. Mudanças técnicas e institucional: impactos sobre empresa do setor calçadista, In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23-25, 2007, Curitiba.

FRANZEN, V., KWIATKOWSKI, L., MARTINS, P.A.F., TEKKAYA, A.E. Single point incremental forming of PVC, *Journal of Materials Processing Technology* 209, p. 462-469, February 2008.

GALDAMEZ, E.V.C. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GALDAMEZ, E.V.C., CARPINETTI, L.C.R. Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica, *Gestão e Produção*, v.11, n. 1, p. 121-134, Jan-Abr 2004.

ITO, M., NAGAI, K. Degradation behavior and application of recycled PVC sheet made of floor sheet for railway vehicle, *Polymer Degradation and Stability* 92, p.1692-1699, June 2007.

KWONG, C.K., SMITH, G.F, LAU, W.S. A blackboard-based approach to concurrent process desing of injection moulding, *Journal of Materials Processing Technology* 70, p. 258-263, September 1996.

LIANG, J.Z., NESS, J.N. The calculation of cooling time in injection moulding, *Journal of Materials Processing Technology* 57, p 62-64, August 1994.

NEVES, J.J.G. **A utilização de materiais plásticos na indústria de calçados femininos no Brasil e sua aceitação.** 2010. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Produção de Plásticos). Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo.

RAMOS, F.B. **Influencia da manutenção em uma fabrica de transformação de plásticos.** 2009. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Produção). Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo.

RODRIGO JUNIOR, A., NUNES, L.R., ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. São Paulo: Editora Revista e ampliada, 2006, 11 p; 78 p; 237 p.

SAHLI, M., MILLOT, C., ROQUES-CARMES, C., KHAN MALEK, C., BARRIERE, T., GELIN, J.C. Quality assessment of polymer replication by hot embossing and micro-injection moulding processes using scanning mechanical microscopy, *Journal of Materials Processing Technology* 209, p. 5751-5861, June 2009.

SÁNCHEZ, B., LLADÓ, J. Surface quality of PVC fittings based on the design of the sprue, *Journal of Materials Processing Technology* 207, p. 13-20, April 2008.

TSENG, W.J. Statistical analysis of process parameters influencing dimensional control in ceramic injection molding, *Journal of Materials Processing Technology* 79, p 242-250, March 1997.

YARLAGADDA, K.D.V., KHONG, C.A.T. Development of a hybrid neural network system for prediction of process parameters in injection moulding, *Journal of Materials Processing Technolo*