



FACULDADE SATC
ENGENHARIA MECÂNICA



**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTAS PARA SOLUCIONAR
FRESTAS RESULTANTES DE DILATAÇÃO TÉRMICA EM PERFIL DE MATERIAL
POLIMÉRICO RECICLADO**

Luiz Fernando Feltrim Inacio

Criciúma,
Julho, 2020



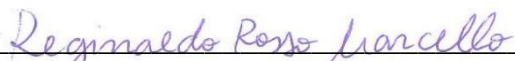
Luiz Fernando Feltrim Inacio

**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTAS PARA SOLUCIONAR
FRESTAS RESULTANTES DE DILATAÇÃO TÉRMICA EM PERFIL DE MATERIAL
POLIMÉRICO RECICLADO**

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.



Alexandre Milanez, Dr. Eng.



Reginaldo Rosso Marcello, Me. Eng.

Criciúma,
Julho, 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao meu pai, que mesmo não presente é o responsável por ter me incentivado e ser minha referência para chegar onde estou hoje.

Em seguida, para a minha mãe, a pessoa que sempre fez de tudo para que eu alcançasse meus objetivos e é meu pilar de sustentação.

Agradeço, também, a todos os envolvidos que acreditam no que proponho e que ajudam no desempenho com o apoio que é necessário.

Por fim, e não menos importante, a empresa Santa Luzia Molduras pela confiança no meu potencial e aos meus orientadores, sendo o primeiro o meu orientador na SATC, o Prof. Dr. Eng. Alexandre Milanez por todo o auxílio e dúvidas solucionadas no decorrer desta experiência e, por segundo, o funcionário da empresa Santa Luzia MSc. Eng. Francisco Pizzetti May.

RESUMO

Molduras e decorações residenciais sofrem constante mudanças para suprir necessidades do público alvo. Há um leque de materiais possíveis para a modelagem e produção do solicitado. Porém, por se tratar de um produto aparente em locais onde os detalhes são perceptíveis, não se pode deixar que o meio proporcione mudanças na geometria do produto. Com isso, o presente trabalho aborda a pesquisa e o desenvolvimento de uma nova composição do material de rodapés. Este material necessita ser de matriz polimérica reciclada, então selecionou-se materiais para serem aditivos de reforço para redução do coeficiente de dilatação do rodapé utilizado. Após, foi homogeneizado e peletizado os materiais em mistura mecânica através de uma extrusora monorosca. Com as formulações preparadas, injetou-se CP para ensaios de tração, dilatação e análise térmica. Como resultado, obteve-se 18 formulações para estudo e caracterização proposta das misturas. Os materiais de adição, de acordo com a porcentagem utilizada, influenciaram diretamente nos resultados de tração. Este resultado, foi um guia para seleção das formulações para análise térmica e realização do ensaio dilatométrico. As formulações que podem suprir o problema são as com maiores teores de adições de cargas, pois mesmo com resistências mecânicas reduzidas ainda suportam as tensões usais solicitadas.

Palavras-chave: Compósito; Polímero; Dilatação Térmica; Ensaios; Molduras.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ambiente com molduras Santa Luzia (Santa luzia, 2020).	12
Figura 2 – Biblioteca desenvolvida de polímeros (Do autor, 2020).	13
Figura 3 – a) Peneira, b) Recipiente para esferas e cinza e c) Cinza Moída. (Do autor, 2020).	16
Figura 4 – a) Forno, b) Recipiente da Cinza e c) Peneira Vibratória (Do autor, 2020).	17
Figura 5 – a) Alimentação das Formulações, b) Homogeneização e c) Mistura Picotada (Do autor, 2020).	18
Figura 6 – Dimensões corpo de prova (Do autor, 2020).....	19
Figura 7 – Injetora (Do autor, 2020).	20
Figura 8 – a), b) e c) Corpos de Prova Tração (Do autor, 2020).	20
Figura 9 – a) Corpos de prova, b) Tração e c) Corpos ensaiados (Do autor, 2020)..	21
Figura 10 – Dados dos ensaios para parametrização do avanço.....	22
Figura 11 – a) Corpos de prova para 1 formulação, b) Local de ensaio, c) Tração e d) Todas as Formulações (Do autor, 2020).	23
Figura 12 – Máquina TA (Do autor, 2020).	24
Figura 13 – a) Modelo 1, b) Modelo 2, c) Modelo 3 e d) Modelo 4 (Do autor, 2020). 25	
Figura 14 – Representação do Modelo 3 colocado entre rodapés (Do autor, 2020). 26	
Figura 15 – <i>Sketch</i> de instalação (Do autor, 2020).	26
Figura 16 – a), b, c) e d) Preparação dos Modelos (Do autor, 2020).	27
Figura 17 – Modelos instalados (Do autor, 2020).....	28
Figura 18 – a) PU1 4%, b) PU2 % e c) C.PE 10%. (Do autor, 2020).	30
Figura 19 – Análise térmica PU1 4% (Do autor, 2020).....	32
Figura 20 – Arquivo para registrar dados de dimensões das frestas (Do autor, 2020).	33
Figura 21 – <i>Sketch</i> Corpo de Prova Dilatação (Do autor, 2020).....	38
Figura 22 – Corpos de provas Dilatação (Do autor, 2020).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avanço de ensaio (Do autor, 2020)	21
Tabela 2 – Granulometria Cinza Leve (Do autor, 2020)	29
Tabela 3 – Granulometria Cinza Pesada (Do autor, 2020).....	29
Tabela 4 – Granulometria Fibra de Vidro (Do autor, 2020)	29
Tabela 5 – Rendimento Cargas (Do autor, 2020).....	29
Tabela 6 – Resultado ensaio de tração (Do autor, 2020)	31

LISTA DE ABREVIações

SIGLAS

ASTM - American Society for Testing and Materials

C.L – Cinza leve

C.PE – Cinza pesada

CCDM – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

CI – Centro Inferior

CP – Corpo(s) de prova

CS – Centro Superior

CT – Centro Tecnológico

CT – Centro Tecnológico

DI – Direita Inferior

DS – Direita Superior

EI – Esquerda Inferior

EPS – Poliestireno expandido

ES – Esquerda Superior

F.V – Fibra de vidro

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

g - Gramas

IPARQUE – Parque Científico e Tecnológico

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ITA – instituto Tecnológico da Aeronáutica

KN – Kilonewton

LACAMI - Laboratório de Caracterização Microestrutural

LACOMP - Laboratório de Conformação Mecânica e Processamentos de Polímeros

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

PS – Poliestireno

PU – Poliuretano

PU1 – Poliuretano tipo 1

PU2 – Poliuretano tipo 2

RS – Rio Grande Do Sul

SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera Catarinense;

SENAI – Serviço nacional de Aprendizagem Industrial

SP – São Paulo

TA – Thermal Analyzes

UCS – Universidade de Caxias do Sul

UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

UNESP – Universidade Estadual Paulista

SÍMBOLOS

T_g [°C] Temperatura de transição vítrea

σ [MPa] Tensão imediata de tração

SUMÁRIO

RESUMO	4
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	5
LISTA DE ABREVIACÕES	7
1. INTRODUÇÃO	11
1.2 A EMPRESA.....	11
2. INÍCIO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	13
2.1 INTRODUÇÃO AO TEMA.....	13
2.1.1 Polímeros	13
2.1.2 Normas	14
2.2 PROPOSTAS.....	14
2.2.1 Compósitos	15
2.2.2 Grampos	15
3...PROCEDIMENTOS	16
3.1 DILATAÇÃO.....	16
3.1.1 Obtenção dos Materiais	16
3.1.2 Moagem Cinza Pesada	16
3.1.3 Granulometria	17
3.1.4 Homogeneização	18
3.1.5 Injeção	19
3.1.6 Tração	21
3.1.7 Análise Térmica	23
3.1.8 Ensaio Dilatométrico	24
3.2 GRAMPOS.....	25
3.2.1 Modelos	25
3.2.2 Padrão Instalação	26
3.2.3 Instalação	26
3.2.4 Acompanhamento	28
4...RESULTADOS	28
4.1 GRANULOMETRIA.....	28
4.2 INJEÇÃO.....	29
4.3 DENSIDADE.....	30

4.4	TRAÇÃO	30
4.5	ANÁLISE TÉRMICA.....	31
4.6	DILATOMETRIA	32
4.7	GRAMPEAMENTO	33
3.	CONCLUSÃO	34
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXO 1	37
ANEXO 2	38
ANEXO 3	39
ANEXO 4	40

1. INTRODUÇÃO

A decoração em residências deve sempre agradar o proprietário e suas visitas. Há casos que a decoração se encontra em locais comerciais, onde se possui um fluxo grande de pessoas, as quais podem ser admiradoras de trabalhos arquitetônicos. Neste cenário, os detalhes são muito analisados e criticados, positivamente ou negativamente. Atualmente existem técnicas que possibilitam esconder um defeito gerado por uma má instalação ou não ter os devidos cuidados com o decorrer do tempo. Porém, pode se ocorrer resultados não esperados por responsabilidade da temperatura do meio, como a contração de um material em baixas temperaturas, assim resultando frestas indesejadas em decorações.

Com este problema, o trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma nova composição de um material com matriz PS expandido, o EPS, que evite a temperatura do ambiente ser um causador de imperfeições nas obras decorativas. Foram desenvolvidas formulações, as quais usaram materiais como aditivos de reforços para redução do coeficiente de dilatação. Com as formulações prontas e preparadas na indústria Santa Luzia molduras, foram injetados na Faculdade SATC os CP para caracterização das novas composições para o uso decorativo. Resultaram CP de dilatação, tração e análise térmica.

Os CP de tração, possibilitaram obter resultados de quanto suportariam como tensões em determinada direção e qual seu alongamento antes da ruptura. Os melhores resultados com maiores porcentagens de reforço, foram selecionados para análise térmica para conhecimento de sua Tg. Parâmetro este, necessário para realizar os ensaios dilatométrico. Em trabalhos futuros, espera-se realizar o ensaio dilatométrico e começar novas pesquisas, como, obter uma composição com boa elasticidade e tensão de suporte necessário, afim de compensar as irregularidades de locais de instalação.

1.2 A EMPRESA

A SATC, é uma empresa de ensino do fundamento a Pós-Graduação, a qual além do meio educacional, também realiza projetos de pesquisa e soluções para empresas que possuem problemas até o momento sem solução, com é o caso deste

trabalho. A SATC está localizada em Criciúma, Santa Catarina. Fundada em 1959, foi criada para ser o braço assistencial da Indústria Carbonífera do sul de Santa Catarina, a instituição se tornou referência na formação técnica de profissionais, e também na formação de cidadãos comprometidos com a sociedade. Atualmente possui 60 laboratórios de nível tecnológico avançado e mais de 5 mil alunos (SATC, 2020).

Já a indústria Santa Luzia molduras, desenvolve inúmeros produtos decorativos para a indústria civil. Esta é localizada com sua Matriz em, Braço do norte, Santa Catarina. Foi criada em 1942, por João Effting na fabricação de espelho. Atualmente, o princípio de produção de seus produtos é a sustentabilidade, portanto utiliza do reaproveitamento de resíduos descartados na natureza para utilização em seus produtos (SANTA LUZIA, 2020). As molduras sustentáveis desempenham um local que transmite ao usuário conforto, como na Fig. 1.



Figura 1 – Ambiente com molduras Santa Luzia (Santa luzia, 2020).

As decorações fabricadas na empresa Santa Luzia, são de reconhecimento internacional, proporcionando tecnologia e alta qualidade a todos os ambientes que está presente.

2. INÍCIO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

2.1 INTRODUÇÃO AO TEMA

Neste capítulo serão abordados os conhecimentos buscados para obtenção de maior proximidade com materiais poliméricos, como, famílias poliméricas, processos, suas características e caracterizações técnicas.

2.1.1 Polímeros

Foi realizada muita pesquisa, especialmente em Artigos Científicos, Monografias, Dissertações e Teses para obtenção de conhecimento inicial a fim de solucionar os desafios estabelecidos.

Inicialmente, procurou-se por pessoas com maior conhecimento na área, ou que inclusive trabalhassem com materiais poliméricos, para entender quais são as diferenças deles para os materiais ferrosos, comumente usados na Engenharia Mecânica.

Visitou-se laboratórios especializados tanto na SATC quanto em outras instituições para conhecimento de onde, como e qual o custo de possíveis futuros ensaios e desenvolvimento. O propósito foi o planejamento para evitar ociosidades futuras, mas que infelizmente não foram evitadas quando fatores normalmente não adotados apareceram.

Para facilitar o conhecimento sobre a gama de materiais poliméricos e suas características, criou-se uma biblioteca para auxílio pessoal nos estudos e desenvolvimentos das propostas, tanto atuais quanto futuras.

A Fig. 2, apresenta parte do que foi desenvolvido.

MATERIAL	SIGLA	PROPRIEDADES	LIMITAÇÕES	TIPO
COPOLIESTERES	COPE	RESISTENCIA A FADIGA	HIDRÓLISE	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
COPOLIESTERES	COPE	LIVRE DE PLASTIFICANTE	RESISTENCIA UV	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
COPOLIESTERES	COPE	AMPLA FAIXA DE TEMPERATURA DE USO	FLUIDOS POLARES	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
COPOLIESTERES	COPE	VERSATILIDADE RIGIDEZ/ESPESURA		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
COPOLIAMIDA	COPA	RESISTÊNCIA A TEMPERATURA	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
COPOLIAMIDA	COPA	LIVRE DE PLASTIFICANTE	ABSORÇÃO DE UMIDADE	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
COPOLIAMIDA	COPA	RESISTÊNCIA QUÍMICA		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
POLIURETANO TERMOPLÁSTICO	TPE-U	RESISTÊNCIA A ABRASÃO	HIDRÓLISE	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
POLIURETANO TERMOPLÁSTICO	TPE-U	LIVRE DE PLASTIFICANTE	RESISTÊNCIA TÉRMICA	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
POLIURETANO TERMOPLÁSTICO	TPE-U	TIPOS DIFERENTES		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
POLIURETANO TERMOPLÁSTICO	TPE-U	ALONGAMENTO E FLEXIBILIDADE		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
POLIURETANO TERMOPLÁSTICO	TPE-U	RESISTENCIA UV		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
ESTIRENO-BUTADENO-ESTIRENO	TPE-S/SBS	DUREZA EXTRA BAIXA	BAIXA RESISTÊNCIA A RASGO	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
ESTIRENO-BUTADENO-ESTIRENO	TPE-S/SBS	FACIL PROCESSAMENTO	BAIXA RESISTÊNCIA TÉRMICA	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
ESTIRENO-BUTADENO-ESTIRENO	TPE-S/SBS	CUSTO		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
ESTIRENO-BUTADENO-ESTIRENO	TPE-S/SBS	COMPATIBILIZANTE		ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
ESTIRENO-ISOPRENO-ESTIRENO	SIS	DUREZA EXTRA BAIXA	BAIXA RESISTÊNCIA A RASGO	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO
ESTIRENO-ISOPRENO-ESTIRENO	SIS	FACIL PROCESSAMENTO	BAIXA RESISTÊNCIA TÉRMICA	ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO

Figura 2 – Biblioteca desenvolvida de polímeros (Do autor, 2020).

Feita uma visita para conhecimento dos processos da Santa Luzia, desde a matéria prima até o produto final, focando principalmente nos processos. Este procedimento ajudou bastante no andamento dos estudos.

2.1.2 Normas

Para conhecimento de caracterizações dos materiais poliméricos, em especial o PS, fez-se necessário conhecer procedimentos técnicos e normatizados. A norma NBR 11752, serviu como parâmetro inicial para a habituação com ensaios e corpos de provas possíveis para uma caracterização completa do PS.

Com o desenvolvimento da pesquisa e com a formulação de propostas, foi definindo-se as normas necessárias, corpos de provas, quais máquinas utilizar para identificar os dados das propostas. Usou-se no começo como guia as normas, ASTM D 696, ASTM E 831, ASTM D 256, ASTM D 638 e NBR 6892.

2.2 PROPOSTAS

Utilizou-se de referências acadêmicas durante a pesquisa para solução do que foi determinado. É comum o método que será informado para obtenção de características desejadas em materiais poliméricos nas indústrias, principalmente quando não se possui a propriedade desejada em um produto e sua troca não é vantajosa ou não é possível.

Procurando viabilidade nesta técnica adotada para a empresa, pensou-se em uma vasta quantidade de materiais para adição ao PS (Reciclado ou não). Por ser necessária compatibilidade entre os materiais em estudo, pesquisou-se muito sobre essa interação, porém, a tecnologia almejada não é encontrada nos trabalhos públicos divulgados e se trata de algo específico, como, material, característica e condição.

Os materiais adotados foram compartilhados com pessoas especializadas em materiais poliméricos e seus processos, então filtrou-se as possibilidades, de materiais e proporções, resultando as melhores opções para este caso e cenário proposto.

Usou-se também dos conhecimentos adquiridos durante a graduação, além da experiência adquirida em tempo prático de estágios e bolsas de iniciação científica, o que colaborou muito para o desenvolvimento das propostas seguintes.

2.2.1 Compósitos

Pela facilidade de aquisição, deslocamento e sustentabilidade, foram selecionados os seguintes materiais de adição:

- Fibra de Vidro moída (FV);
- Poliuretano tipo 1 (PU1 - Amarelado);
- Poliuretano tipo 2 (PU2 - Cinza);
- Cinza de carvão tipo Leve (CL);
- Cinza de carvão tipo Pesada (CP);
- Cinza de carvão tipo Leve + Pesada (CL+ CP).

As proporções de adição foram em relação a massa de PS usada para homogeneização em extrusora, sendo para FV, CL, CP e CL + CP, 2, 5 e 10%, já para os PU1 e PU2, por se tratarem de uma relação entre volume e massa muito alta, a adição ficou em 1, 2 e 4%.

Anexo 1 mostra as formulações facilitando a compreensão.

2.2.2 Grampos

Em paralelo ao estudo do desenvolvimento de compósitos, e otimizando o horário do estágio, nos casos de ociosidades não planejadas, usou-se dos momentos em dependências de ensaios, materiais e autorizações, para então desenvolver a técnica de estudo com grampos.

Procurando ser aplicável e de fácil utilização, pensou-se em grampos para usar entre os perfis de rodapés e então verificar suporte da variação dimensional do produto, como uma resistência, e se haveria ou não trincas/quebras do rodapé. Como um modelo em simulação numérica dependeria de tempo útil das outras propostas, optou-se por utilizar um modelo diretamente experimental simulando caso real.

Os Rodapés desenvolvidos na Santa Luzia, possuem rasgos para introdução de buchas para adesão/fixação na parede, como também para nivelamento entre rodapés. Portanto, pensando nessas aplicações foram desenvolvidos 4 tipos de grampos para uso entre rodapés, sendo de materiais com coeficiente de dilatação menores que o do PS, assim criando resistência ao afastamento entre os rodapés.

3. PROCEDIMENTOS

A seguir, serão apresentados, detalhadamente, os procedimentos realizados para desenvolvimento das propostas estudadas e projetadas.

3.1 DILATAÇÃO

3.1.1 Obtenção dos Materiais

Com as propostas planejadas, foi solicitado ao departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Santa Luzia, diretamente com a Eng. Stéphanie Niehues Wiggers, os materiais FV, PU1 e PU2, sendo, FV comprado e os PU pegos na unidade da Santa Luzia de Joinville. CL e CP foram pedidos ao Centro Tecnológico da SATC (CT - SATC), o qual possui parceria direta com a Termelétrica Jorge Lacerda, local de retirada das cinzas.

Todos os materiais de adição usados são moídos, semelhante a um pó, para serem usados como cargas ao PS e não prejudicarem maquinário utilizado na produção do rodapé.

3.1.2 Moagem Cinza Pesada

A cinza de carvão oriunda das bacias de descartes da Termelétrica Jorge Lacerda, a CP, precisa ser seca e moída. A Fig. 3, disponibiliza imagens durante procedimento.



Figura 3 – a) Peneira, b) Recipiente para esferas e cinza e c) Cinza Moída. (Do autor, 2020).

Como a cinza que foi pega já estava com baixa umidade, a coleta foi seguida por peneiramento em *mesh* 10 (2 mm), Fig. 3 a). Após retirada dos rejeitos não desejados, foi moída em moinhos de bolas no CT-SATC usando recipiente adequado, presente na Fig. 3 b). Finalizada moagem, separou-se a cinza, Fig. 3 c).

3.1.3 Granulometria

Para conhecimento geral das cargas escolhidas e que poderão ser utilizadas em produção dos rodapés, julgou-se interessante, por mim e por orientações técnicas, saber a proporção útil do material escolhido, a partir do diâmetro de grão.

A granulometria dos materiais usados em adição ao PS que não são polímeros, como o PU, foi selecionada para um diâmetro menor ou igual que a peneira de *mesh* 120 (0,0125 mm) deixa passar. A escolha de um diâmetro pequeno é para não prejudicar as condições produtivas e tribológicas da rosca da extrusora. A Fig. 4, apresenta imagens durante procedimento.

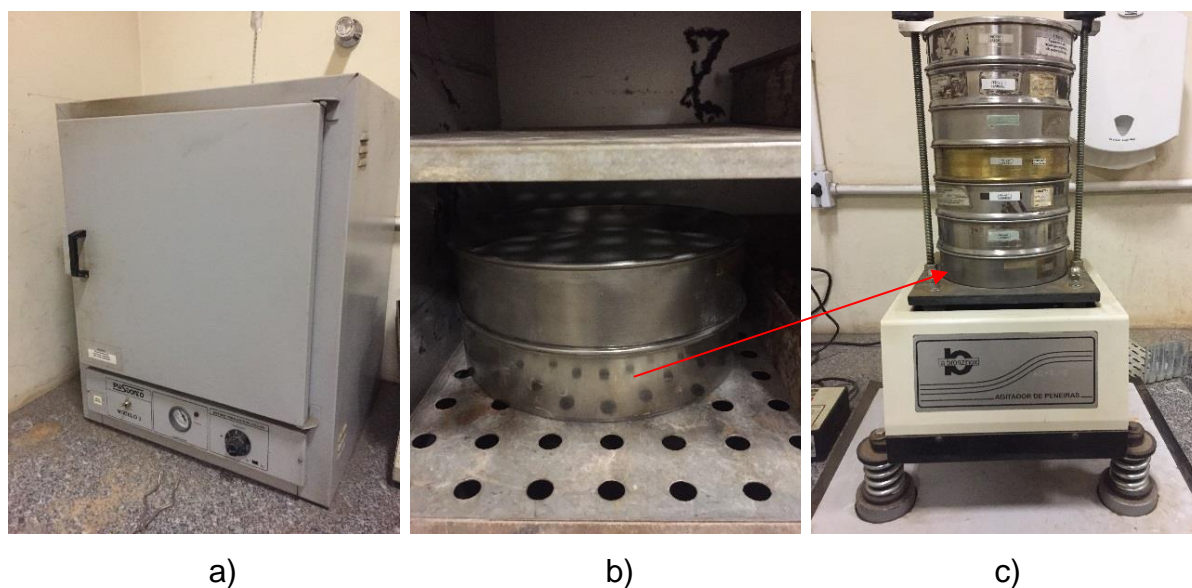


Figura 4 – a) Forno, b) Recipiente da Cinza e c) Peneira Vibratória (Do autor, 2020).

Primeiro foi aquecido em forno, de acordo com a Fig. 4 a), em temperatura de 100°C durante 30 minutos para secagem dos materiais. O recipiente de aquecimento usado é igual ao que se utiliza na última posição da peneira vibratória, Fig. 4 b). Após

secagem peneirou-se as quantidades necessárias, Fig. 4 c), para obtenção dos compósitos de acordo com a proposta planejada.

3.1.4 Homogeneização

Pretendia-se fazer mistura em injetora na SATC, porém a mistura, segundo o coordenador do laboratório responsável, seria incompleta, então pensou-se em fazer no IPARQUE (UNESC) para não interromper as atividades de produção da Santa Luzia. Após muita demora e receber a informação de que a máquina iria ficar parada para manutenção sem data para retorno, foi obrigado usar a Santa Luzia para este procedimento. As formulações foram homogeneizadas na empresa Santa Luzia em extrusora monorosca, e picotada após mistura completa.

Nas transições das formulações para homogeneização, usou-se PS sem nenhuma adição na limpeza da rosca para evitar influência de uma carga na outra.

A Fig. 5, mostra a realização da homogeneização.

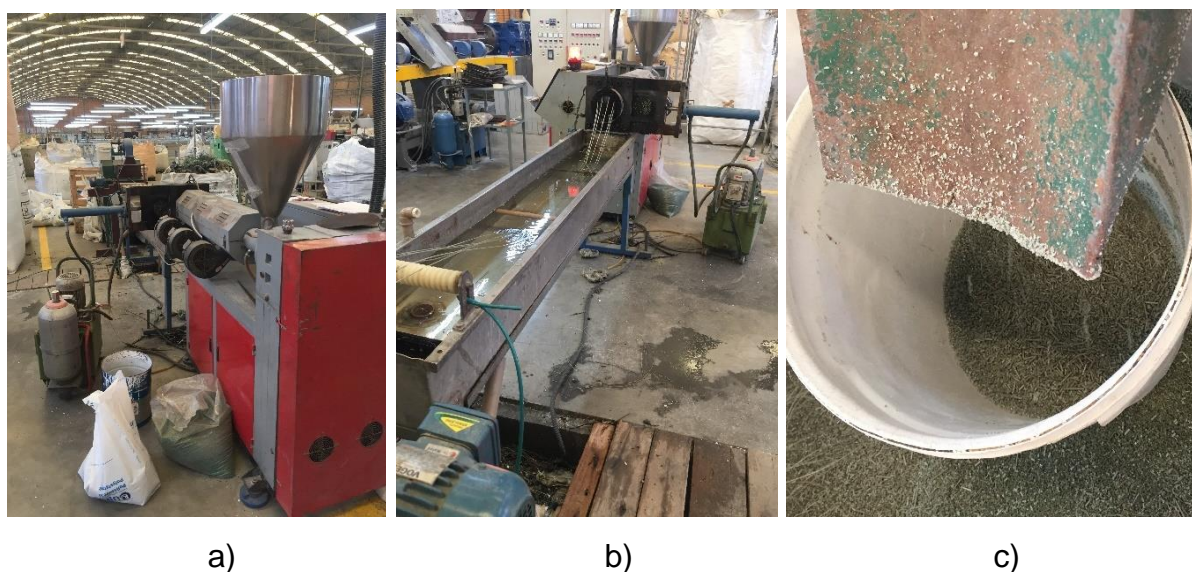


Figura 5 – a) Alimentação das Formulações, b) Homogeneização e c) Mistura Picotada (Do autor, 2020).

A Fig. 5 a) apresenta o funil de alimentação onde foram colocadas todas as misturas propostas, as quais saíram homogeneizadas em filamento, mostrado pelo Fig. 5 b), e então picotadas para futuras utilizações, Fig. 5 c).

3.1.5 Injeção

Foi utilizada a norma ASTM D 638 para desenvolvimento de Corpos de Provas e ensaio de tração para caracterização do suporte de tensões mecânicas. Injetou-se para todas as formulações e também PS puro, este para referência dos resultados, corpos de provas para ensaio de tração.

As dimensões dos corpos de provas, foram atendidas as indicações que a norma dispõe. As dimensões do corpo de prova injetado estão na Fig. 6. A espessura é 3,6 mm.

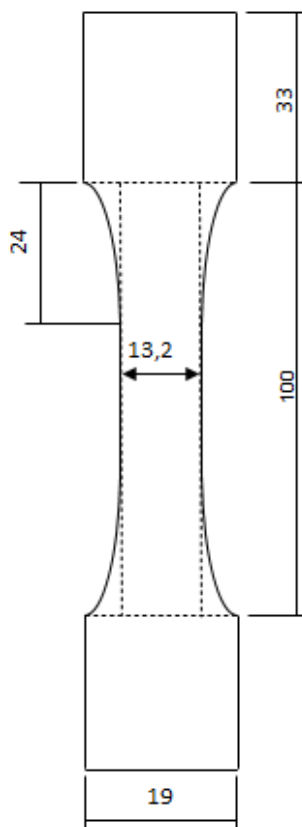


Figura 6 – Dimensões corpo de prova (Do autor, 2020).

As dimensões apresentadas na Fig. 6 atendem a norma ASTM D 638. Foi mensurado com paquímetro Mitutoyo e é apresentado as reais dimensões dos corpos de provas.

Usando uma Injetora Pavan Zanetti, Fig. 7, modelou-se os corpos de provas presente na Fig. 8.



Figura 7 – Injetora (Do autor, 2020).

Utilizado Injetora, presente na Fig. 7, no LACOMP, laboratório especializado em polímeros.

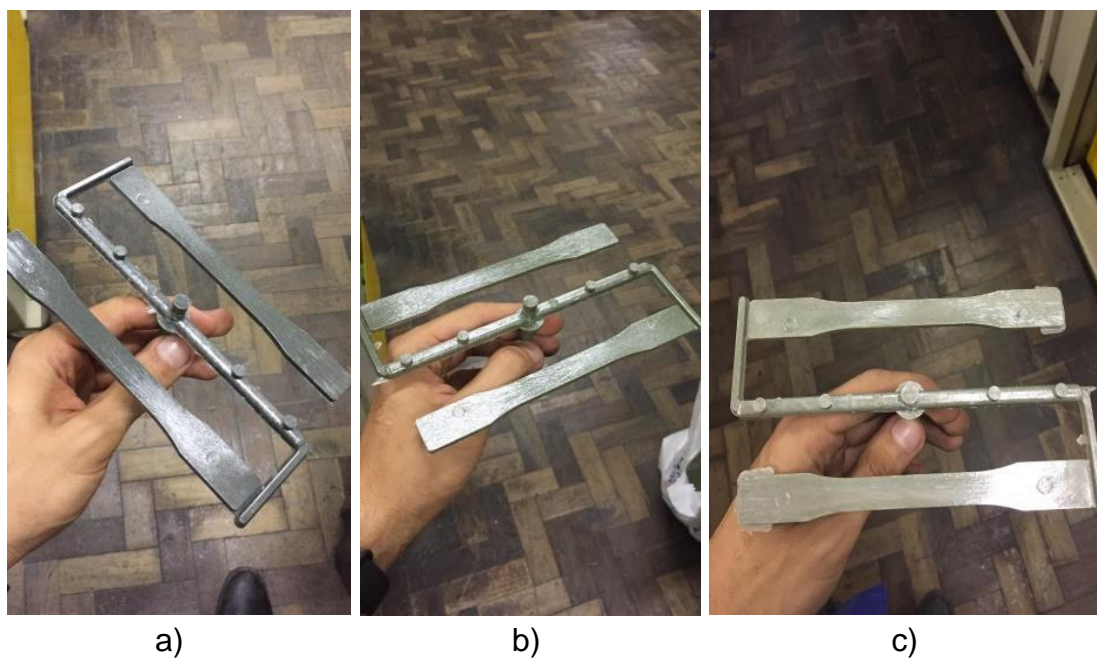


Figura 8 – a), b) e c) Corpos de Prova Tração (Do autor, 2020).

Na Fig. 8 a), b) e c), é apresentado 3 corpos de provas de formulações diferentes após retirada do ferramental que o deu forma.

3.1.6 Tração

Seguindo ainda a norma ASTM D 638, na máquina EMIC do laboratório LACAMI da SATC parametrizou-se o avanço sugerido para materiais poliméricos frágeis como o PS comparando diferentes velocidades.

Usou-se 5 corpos de provas de PS reciclado sem adição de carga, Fig. 9. Verificou-se qual a melhor velocidade de avanço, Tab. 1, para uma caracterização mecânica de tração mais confiável. Interpretou-se os resultados para uso na caracterização dos compósitos Fig. 10.

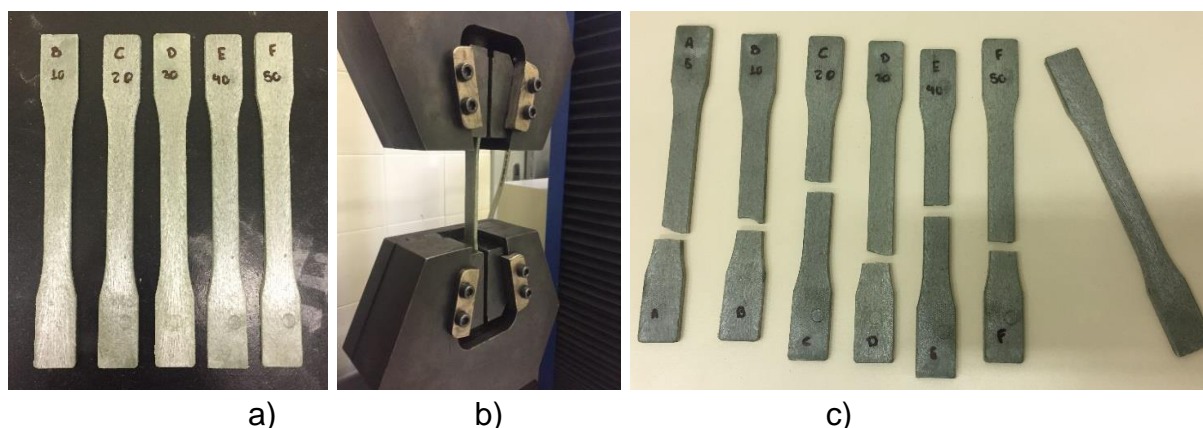


Figura 9 – a) Corpos de prova, b) Tração e c) Corpos ensaiados (Do autor, 2020).

Tabela 1 – Avanço de ensaio (Do autor, 2020)

Corpo de prova	Avanço [mm/min]
CP 1	5
CP 2	10
CP 3	20
CP 4	30
CP 5	40
CP 6	50

Fonte: Do autor, (2020).

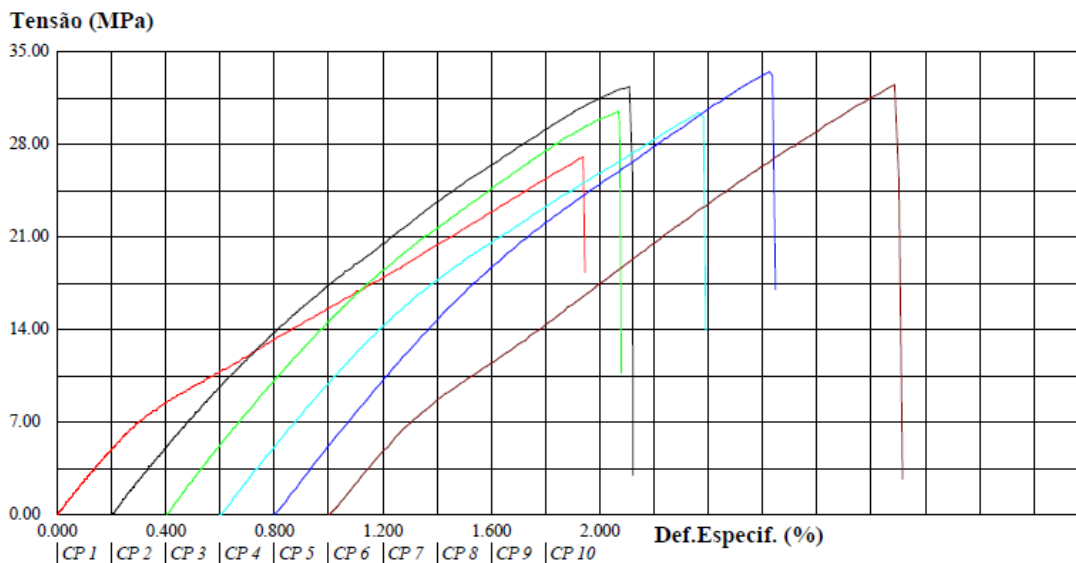


Figura 10 – Dados dos ensaios para parametrização do avanço.

(Do autor, 2020).

Foram ensaiados os corpos de provas para decisão de qual a melhor velocidade de avanço dentro da faixa que a norma indica serem as melhores, a depender apenas do material. Selecionou-se o avanço de 5 mm/min, pois foi visto esta velocidade em trabalhos científicos para PS virgem. Foi refeito ensaio no avanço de 5 mm/min e obteve comportamento semelhante aos outros avanços.

Com o avanço determinado foram ensaiadas todas as 18 formulações desenvolvidas. Foram tracionados 3 corpos de prova para cada formulação, logo obtendo média dos resultados para reduzir desvio e validar cada valor informado pela máquina. Procedimento na Fig. 11.

Os resultados procurados são provenientes da Eq. 1, os quais seus dados são parametrizados diretamente na máquina.

$$\sigma = \frac{F}{l.e} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Onde:

F [N]: Força aplicada

l [mm]: Largura da secção inicial do CP

e [mm]: Espessura inicial do CP

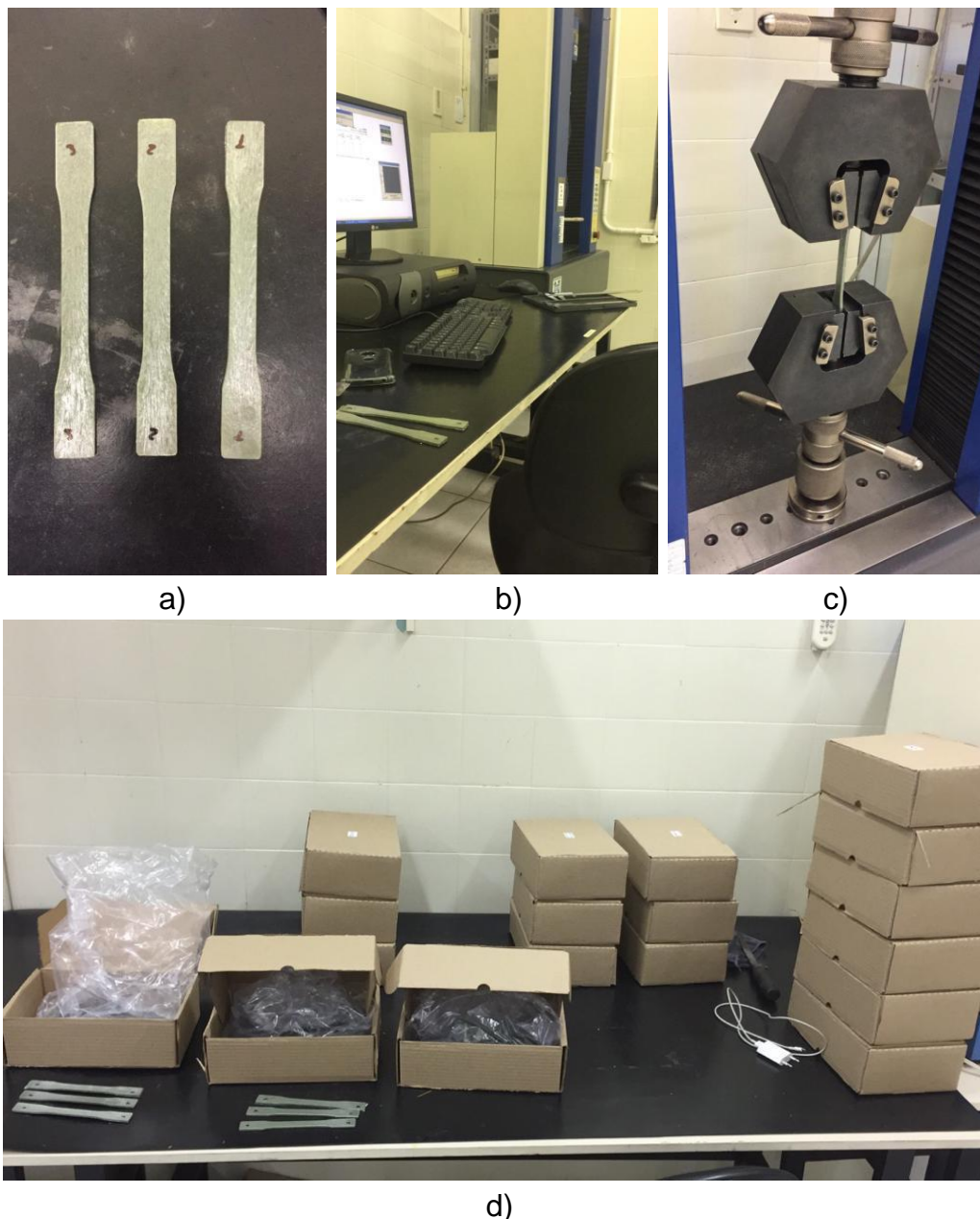


Figura 11 – a) Corpos de prova para 1 formulação, b) Local de ensaio, c) Tração e d) Todas as Formulações (Do autor, 2020).

Após ensaio de cada corpo de prova foi separada e identificada cada amostra para controle e possível análise futura de miscibilidade entre os materiais, matriz e de adição nas formulações, usando microscópio.

3.1.7 Análise Térmica

A análise térmica caracteriza qual a temperatura em que o material em estudo atingirá a transição vítrea, sua fusão e evaporação.

Este procedimento foi realizado no CT – SATC em máquina Discovery SDT 650 para DSC/TGA, Fig. 12, específica para o procedimento usando como corpo de prova um pedaço do material com até 30 mg.



Figura 12 – Máquina para TA (Do autor, 2020).

O ensaio foi realizado desde a temperatura ambiente até 400°C com uma rampa de aquecimento de 10°C por minuto e aquecimento com ar atmosférico tratado.

3.1.8 Ensaio Dilatométrico

O ensaio de dilatação para realização no IPARQUE analisa a dilatação do material em estudo por pixels projetado em uma face, logo, se faz necessário indicar ao realizador a temperatura máxima a ser estudada. O IPARQUE foi único local encontrado que realiza este procedimento nas proximidades e com um preço mais acessível.

Se o material em estudo atingir a temperatura de transição vítrea, terá uma grande variação na sua dimensão levando o resultado da análise ao erro. A mudança do estado sólido para o estado borrachoso, desempenha variações bruscas de dimensão para um sensor tão preciso, como o do ensaio. Sabendo o limite, pode-se

chegar perto desta temperatura e conseguir uma quantidade maior de dados para a dilatação do compósito em estudo levando a um resultado confiável.

Foi solicitado pelos responsáveis do ensaio um corpo de prova com aproximadamente 50 x 5 x 5 mm, Anexo 2. Utilizou-se os caminhos de injeção dos corpos de provas de tração, Fig. 8, e ajustados para as dimensões solicitadas. Consultei o IPARQUE e falaram que atende o que solicitam.

Os corpos de provas para dilatação estão no Anexo 2.

3.2 GRAMPOS

3.2.1 Modelos

Preparou-se 4 tipos diferente de grampos para avaliar suporte da variação dimensional da fresta entre rodapés com a diferença de temperatura. Os tipos estão em seguida na Fig. 12.

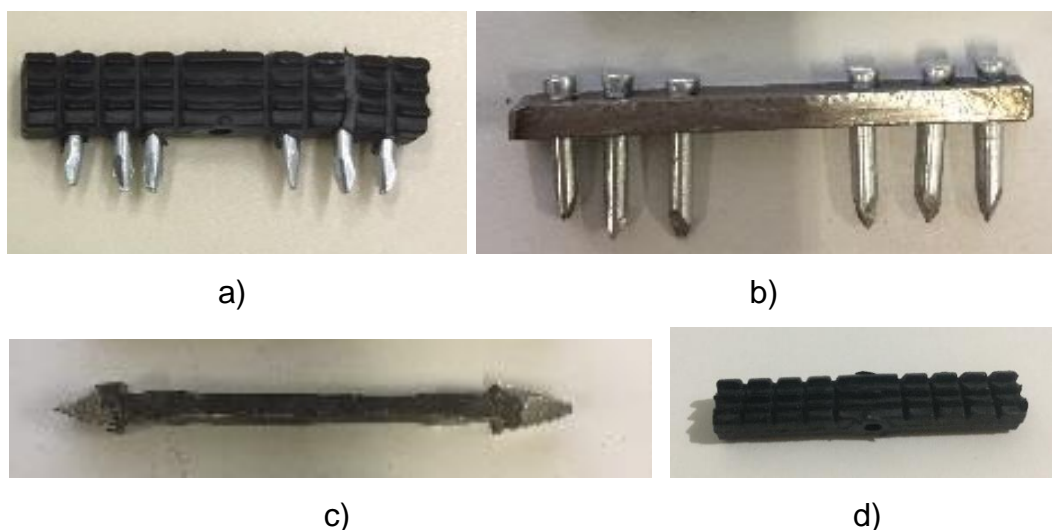


Figura 13 – a) Modelo 1, b) Modelo 2, c) Modelo 3 e d) Modelo 4 (Do autor, 2020).

Os Grampos desenvolvidos na fig. 13, são:

- Modelo 1: Bucha Santa Luzia com pinos metálicos;
- Modelo 2: Grampo metálico;
- Modelo 3: Grampo Flecha;
- Modelo 4: Bucha e Cola Santa Luzia;

Um quinto modelo de instalação ainda foi feito para o acompanhamento, Modelo 5, para rodapés sem grampos, este para uso de comparação com os que propositalmente devem ter uma resistência ao movimento.

Todos os modelos da Fig. 13, foram instalados entre os rodapés no rasgo que eles possuem para aplicação da bucha chumbada, quando usadas, nas paredes. A Fig. 14, apresenta por modelo 3D como foi instalado os grampos entre os rodapés, nesta apresenta o modelo da Fig. 13 c), modelo 3.

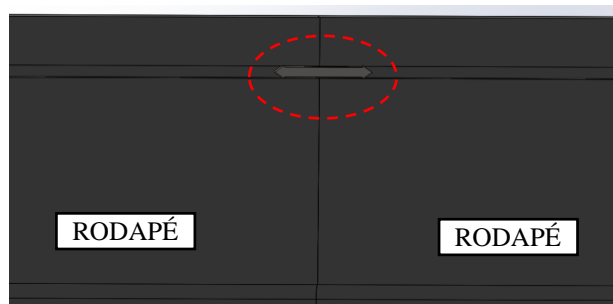


Figura 14 – Representação do Modelo 3 colocado entre rodapés (Do autor, 2020).

3.2.2 Padrão Instalação

A instalação para acompanhamento foi de acordo com o que é representado no *sketch* da Fig. 15.

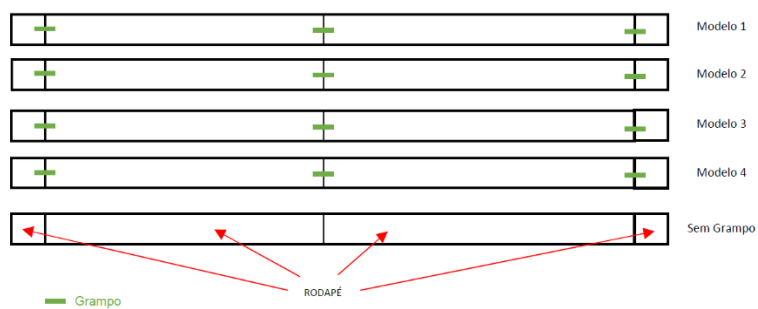


Figura 15 – *Sketch* de instalação (Do autor, 2020).

3.2.3 Instalação

A fixação dos modelos, foi feita em parede com porcelanato de revestimento, esta escolha foi de acordo com os locais dispostos para instalação. Procurou-se não instalar ao ar livre, já que o PS não possui boa resistência a intempéries. Foi instalado

em um dia com 36°C para ter maior diferença de temperatura com o inverno e então possuir maior tensão nos grampos por conta da contração térmica.

A seguir, são apresentadas figuras durante o processo de instalação dos modelos para estudo. A Fig. 16 relata o preparo para instalação dentro do LACOMP da Engenharia Mecânica e a Fig. 17 os modelos instalados.

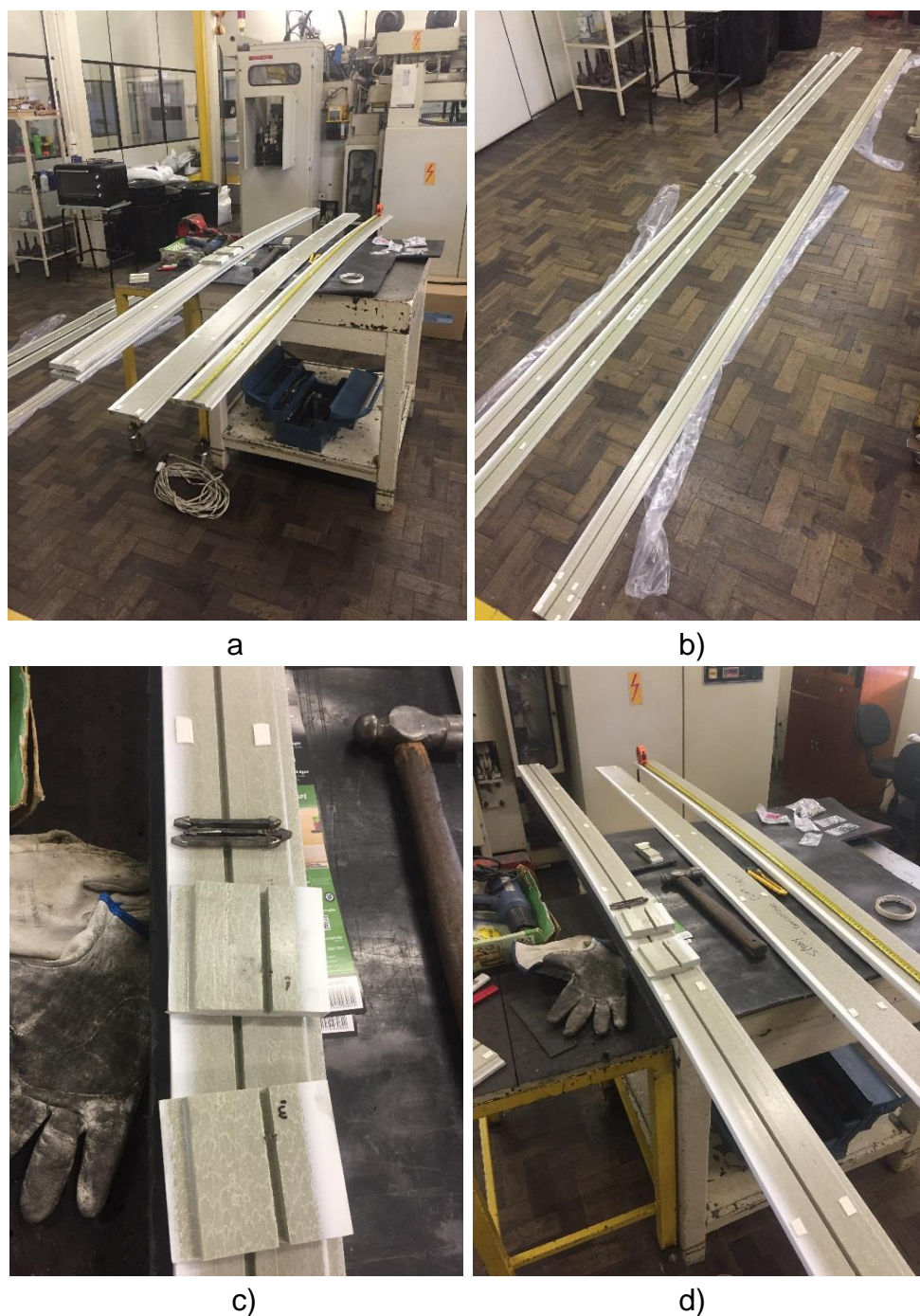


Figura 16 – a), b), c) e d) Preparação dos Modelos (Do autor, 2020).



Figura 17 – Modelos instalados (Do autor, 2020).

A instalação foi feita com dupla face e cola santa luzia, de acordo com vídeo disponível na internet.

3.2.4 Acompanhamento

Após finalizada a instalação, criou-se uma planilha para acompanhamento das dimensões das frestas. Procurou-se analisar e relatar dados para quando for alcançada uma temperatura muito baixa na região, e depois, quando voltar a uma temperatura ambiente, ou mais quente.

4. RESULTADOS

4.1 GRANULOMETRIA

Segue valores de procedimento de granulometria na Tab. 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Granulometria Cinza Leve
(Do autor, 2020)

MESH	MASSA [g]	%
120	135,38	17,71
140	124,03	16,22
200	150,26	19,66
230	188,03	24,60
270	84,75	11,09
325	82,02	10,73

Tabela 3 – Granulometria Cinza Pesada
(Do autor, 2020)

MESH	MASSA [g]	%
120	0,73	0,10
140	8,12	1,12
200	148,42	20,49
230	367,01	50,66
270	106,61	14,72
325	93,50	12,91

Tabela 4 – Granulometria Fibra de Vidro (Do autor, 2020)

MESH	MASSA [g]	%
120	74,61	9,76
140	254,67	33,30
200	260,87	34,11
230	105,61	13,81
270	39,77	5,20
325	29,15	3,81

É apresentado, como resultado, quantidades que podem ser aproveitadas caso utilizado em grande quantidade. Para facilitar interpretação a Tab. 5 apresenta os resultados de porcentagem útil com *mesh* menor que 120. A justificativa da Cinza Pesada ter valor alto é porque passou em peneiramento antes e moagem.

Tabela 5 – Rendimento Cargas (Do autor, 2020)

Material	Rendimento
Cinza Leve	82,29%
Cinza Pesada	99,90%
Fibra de Vidro	90,24%

4.2 INJEÇÃO

Três das formulações que foram injetadas para fazer corpo de prova de ensaio de tração apresentaram comportamento diferente no processo.

O problema relatado foi que, assim que homogeneizadas as formulações passaram em banho de água para refrigerar o material e então picotar, porém os grãos ficaram com água em sua superfície e os sacos foram fechados com essa umidade

presente. O material só teve contato com o ar quando preparados para a injeção, não obtendo tempo suficiente para remoção da umidade.

Os demais materiais são lembrados de não apresentarem essa retenção de água após serem picotados.

Na Fig. 18 estão presentes os corpos de provas refeitos após secagem.

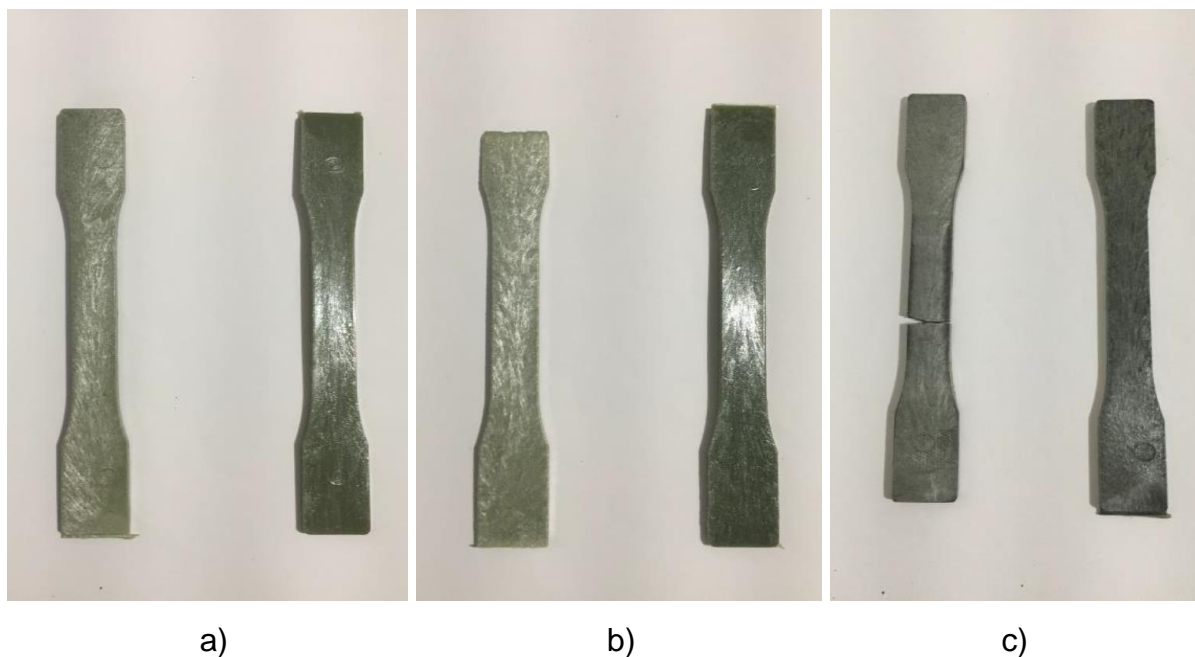


Figura 18 – a) PU1 4%, b) PU2 % e c) C.PE 10%. (Do autor, 2020).

Os corpos de prova da Fig. 18 não apresentaram nenhum problema quando refeitos, resultando diferenças na coloração e na resistência a flexão.

4.3 DENSIDADE

No Anexo 3, encontra-se os valores da densidade de cada formulação.

A massa foi mensurada usando balança de precisão com resolução 0,001 g, já o volume foi calculado pelas dimensões informadas na Fig. 6.

4.4 TRAÇÃO

Na Tab. 6 estão os resultados médios dos ensaios de tração para caracterização mecânica de todas as formulações.

Tabela 6 – Resultado ensaio de tração (Do autor, 2020)

	FORÇA MAX.	TENSÃO MÁX.	TENSÃO ESC.	DEF. ESP.
	[KN]	[MPa]	[MPa]	[%]
PS - Matriz	1,496	31,10	19,11	1,856
C.L - 2%	1,535	33,74	21,06	3,000
C.L - 5%	1,550	34,07	16,89	3,226
C.L - 10%	1,446	31,78	20,79	2,816
C.PE - 2%	1,530	33,63	21,68	2,723
C.PE - 5%	1,523	33,48	22,08	2,736
C.PE - 10%	1,351	29,69	17,47	2,554
F.V - 2%	1,425	31,31	22,67	2,443
F.V - 5%	1,510	33,20	22,41	2,530
F.V - 10%	1,561	34,31	21,85	2,851
PU 1 - 1%	1,523	33,48	26,82	2,509
PU 1 - 2%	1,440	31,65	25,54	2,382
PU 1 - 4%	1,291	28,37	19,64	2,405
PU 2 - 1%	1,386	30,46	19,57	2,424
PU 2 - 2%	1,325	29,12	21,11	2,257
PU 2 - 4%	1,156	25,41	17,01	2,350
C.PE 1% - C.L 1%	1,366	30,02	20,01	2,469
C.PE 2,5% - C.L 2,5%	1,421	31,24	12,70	3,299
C.PE 5% - C.L 5%	1,366	30,02	17,49	2,685

Com esses resultados pode-se concluir que as adições de cargas podem sim variar a resistência do material, mesmo que melhorando em outra propriedade. Com isso, filtrou-se algumas formulações.

Verificou-se aumento significativo nas deformações, quando comparado a matriz de PS, proporcionando menor fragilidade das composições em relação ao corpo de prova da matriz.

4.5 ANÁLISE TÉRMICA

Pela derivada segunda da variação da massa no tempo, pode-se obter a Tg do material por um comportamento sinuoso. Assim como na Fig. 19.

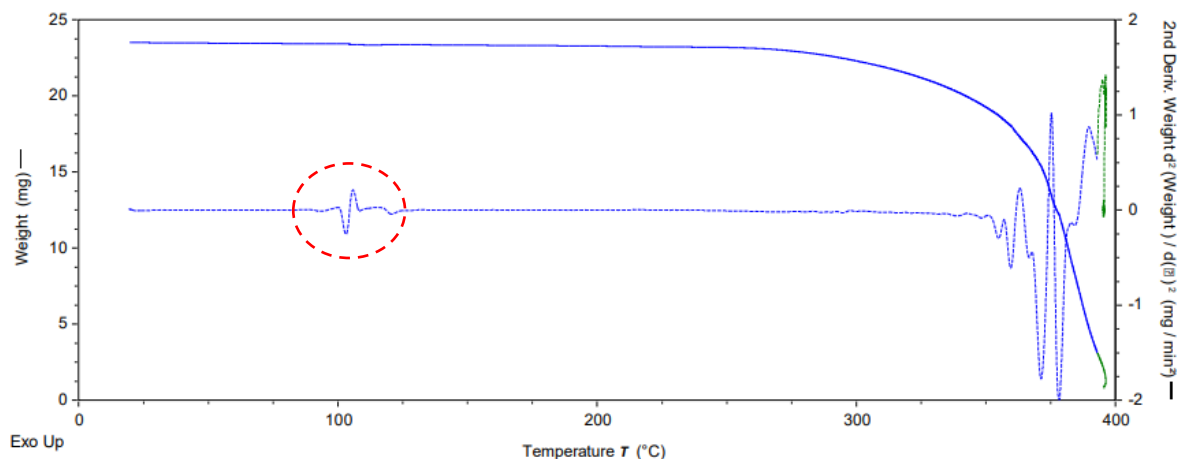


Figura 19 – Análise térmica PU1 4% (Do autor, 2020).

É notado que, em comparação com o PS virgem, as temperaturas de transições de estados se diferenciam. Estas propriedades podem ser resultadas da adição do novo material ou o fato de o PS ser reciclado. Não é fácil prever um comportamento de um material com um histórico desconhecido, mas dessa forma é explicado.

A transição vítrea ficou em torno de 10°C maior comparado ao que algumas literaturas informam sobre o PS virgem. Já a evaporação, teve um aumento um pouco mas considerado, sendo a justificativa a mesma que a já comentada.

Demais análises (F.V 10%, PU2 4%, C.PE 10% e C.L 10%) não realizadas devido Covid 19.

4.6 DILATOMETRIA

O maquinário de ensaio do IPARQUE entrou em manutenção sem previsão de retorno, gerando atraso no ensaio, logo procurou-se outras instituições no Brasil para atender necessidade.

- LENCO – Sem retorno;
- SENAI RS – Não realiza;
- ITA – Sem retorno;
- CCDM/UFSCAR – 490,00 por amostra;
- FIEMG - Não realiza;

- UCS – Orçando;
- IPT – Não realiza;
- UNESP - Não realiza;
- SENAI SP – Orçando;

Os ensaios de Dilatação não foram realizados devido chegada da Pandemia do Covid 19 no mundo.

4.7 GRAMPEAMENTO

Criou-se um documento em Excel para registrar as dimensões coletadas das frestas para os modelos instalados com grampos. A Fig. 20 apresenta o modelo do acompanhamento das dimensões coletadas.

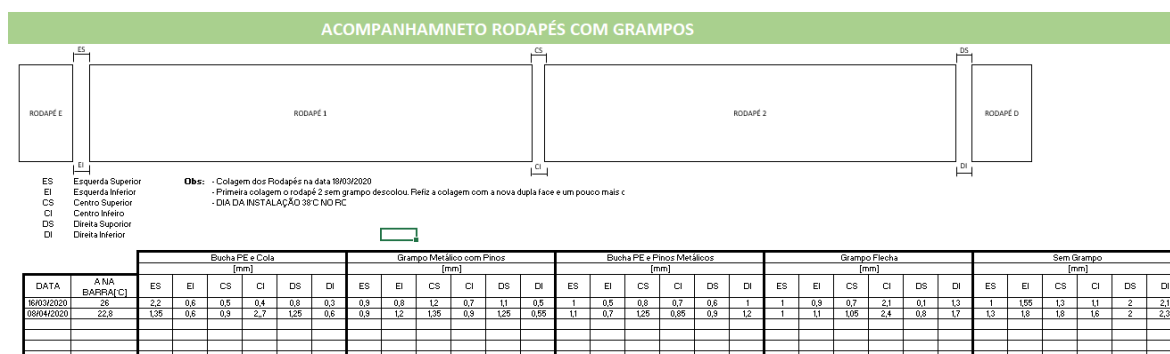


Figura 20 – Arquivo para registrar dados de dimensões das frestas (Do autor, 2020).

No Anexo 4, estão as dimensões registradas. Até a entrega deste relatório não houve nenhum dia com temperaturas muito baixa desde que foi instalado para estudo, porém em um dia qualquer foi averiguado as dimensões e notou-se que as barras se moveram. Entendeu-se que este movimento foi durante secagem da cola, logo a força peso gerou o deslocamento pois não tinha apoio nas barras, como o solo. As movimentações das barras foram percebidas pelas mudanças consideráveis das dimensões das frestas, mesmo que com pouca diferença de temperatura na barra. A avaliação poderia ser feita com a última medição.

A temperatura na barra foi averiguada com pirômetro adequado.

3. CONCLUSÃO

O ramo com utilização de polímeros possibilita a criação de muitas tecnologias em materiais. Se elaborado um desenvolvimento aprofundado é descoberto formulações para aplicações direcionadas.

O uso dos materiais peletizados em processos de injeção e extrusão, devem estarem sempre com quantidades de umidades baixas. O procedimento que apresentar quantidade maior do que o recomendado, desenvolve evaporação durante fluidez e resulta diretamente na estrutura e coloração do produto.

A adição de um material para reforço de propriedades pode influenciar em várias características de forma significativa. Quando for um teor alto, acarreta maiores mudanças nas propriedades, o que pode ser positivamente ou negativamente.

No desenvolvimento de um compósito é necessário aplicar um senso crítico. O desempenho almejado pode ser alcançado, mas outras propriedades sofrem significantes mudanças, logo, cabe ao responsável técnico analisar se é aceitável com as perdas que não eram desejadas.

Materiais muitas vezes visualizados como rejeitos podem se tornarem matérias primas úteis, além de serem muito valorizados como sustentáveis. Os materiais que são rejeitados, se aplicados em procedimentos de limpezas e preparos, podem ter um grande uso por um longo tempo. O reaproveitamento não polui o meio ambiente e nem ocupa um espaço significativo em descartes.

As cinzas provenientes da queima do carvão, possuem boas possibilidades de uso, como adição em polímeros. Seu coeficiente de dilatação é baixo, o que faz para casos como estes serem estudados sua aplicação. Além de desenvolverem belas colorações aos produtos, promovem a sustentabilidade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SATC. Instituição de Ensino. Disponível em: <https://web.satc.edu.br/>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

SANTA LUZIA MOLDURAS. Indústria de molduras inovadoras a partir da reciclagem de resíduos. Disponível em: <https://www.santaluziamolduras.com.br/>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial - Especificação**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11949: poliestireno expandido para isolação térmica - Determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8082: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolação térmica - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, West Conshohocken, PA, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6892: Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente**. Rio de Janeiro. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D 256-10: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**. West Conshohocken, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D 570-98**: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D 635-14**: Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. West Conshohocken, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D 696-98**: Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C With a Vitreous Silica Dilatometer. West Conshohocken, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D 790-10**: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM E 831-14**: Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis. West Conshohocken, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM E 96/E 96M**: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. West Conshohocken, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM D 2126**: Standard Test Method for Response of Rigid Cellular Plastics to Thermal and Humid Aging. West Conshohocken, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING NA MATERIALS. **ASTM C 218**: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. West Conshohocken, 2017.

ANEXO 1

PS + CINZA LEVE

TEOR		MASSA [g]	
PS	CARGA	PS	CARGA
98%	2%	2000	40
95%	5%	2000	100
90%	10%	2000	200

PS + CINZA PESADA

TEOR		MASSA [g]	
PS	CARGA	PS	CARGA
98%	2%	2000	40
95%	5%	2000	100
90%	10%	2000	200

PS + CINZA LEVE + CINZA PESADA

TEOR		MASSA [g]	
PS	CARGA	PS	CARGA
98%	2%	2000	40
95%	5%	2000	100
90%	10%	2000	200

PS + FIBRA DE VIDRO

TEOR		MASSA [g]	
PS	CARGA	PS	CARGA
98%	2%	2000	40
95%	5%	2000	100
90%	10%	2000	200

PS + PU1

TEOR		MASSA [g]	
PS	CARGA	PS	CARGA
99%	1%	2000	40
98%	2%	2000	100
96%	4%	2000	200

PS + PU2

TEOR		MASSA [g]	
PS	CARGA	PS	CARGA
99%	1%	2000	40
98%	2%	2000	100
96%	4%	2000	200

ANEXO 2

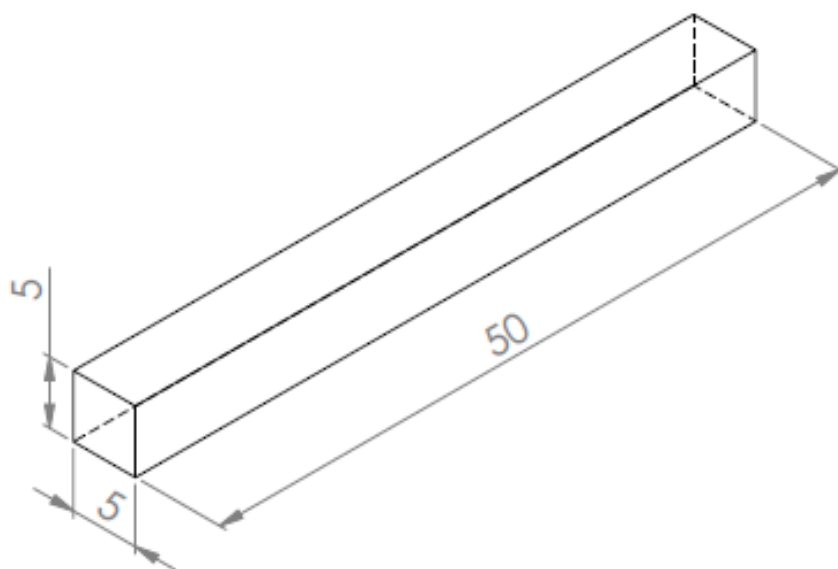


Figura 21 – Sketch Corpo de Prova Dilatação (Do autor, 2020).



Figura 22 – Corpos de provas Dilatação (Do autor, 2020).

ANEXO 3

DENSIDADES

MATERIAIS	VOLUME [mm³]	MASSA [g]	MASSA [g]	MASSA [g]	MÉDIA	DESV. PAD.	RESULTADO [kg/m³]	DIF
PS - Matriz		9,752	9,583	9,737	9,691	0,0935	992,132	-
C.L - 2%		9,192	9,278	9,255	9,242	0,0445	946,163	-45,969
C.L - 5%		9,799	9,893	9,813	9,835	0,0507	1006,909	14,777
C.L - 10%		9,494	9,117	9,455	9,355	0,2073	957,800	-34,331
C.PE - 2%		10	9,799	9,888	9,896	0,1007	1013,120	20,988
C.PE - 5%		9,978	9,585	9,777	9,780	0,1965	1001,278	9,146
C.PE - 10%		10,186	10,142	10,117	10,148	0,0349	1038,988	46,856
F.V - 2%		9,536	9,473	9,556	9,522	0,0433	974,830	-17,302
F.V - 5%		9,919	10,086	9,765	9,923	0,1605	1015,952	23,820
F.V - 10%	9767,52	10,199	10,164	10,192	10,185	0,0185	1042,742	50,610
PU 1 - 1%		9,441	9,545	9,531	9,506	0,0564	973,191	-18,940
PU 1 - 2%		9,787	9,654	9,631	9,691	0,0842	992,132	0,000
PU 1 - 4%		9,728	9,838	9,721	9,762	0,0656	999,469	7,337
PU 2 - 1%		9,468	9,298	9,533	9,433	0,1213	965,752	-26,380
PU 2 - 2%		9,36	9,556	9,211	9,376	0,1730	959,882	-32,250
PU 2 - 4%		-	-	-	-	-	-	-
C.PE 1% - C.L 1%		9,802	9,612	9,856	9,757	0,1282	998,889	6,757
C.PE 2,5% - C.L 2,5%		9,755	9,702	9,745	9,734	0,0282	996,568	4,436
C.PE 5% - C.L 5%		10,45	10,274	10,164	10,296	0,1443	1054,106	61,974

ANEXO 4

DATA	TEMPERATURA NA BARRA[°C]	Bucha PE e Cola						Grampo Metálico com Pinos						Bucha PE e Pinos Metálicos						Grampo Flecha						Sem Grampo											
		mm						mm						mm						mm						mm											
		ES	EI	CS	CI	DS	DI	ES	EI	CS	CI	DS	DI	ES	EI	CS	CI	DS	DI	ES	EI	CS	CI	DS	DI	ES	EI	CS	CI	DS	DI	ES	EI	CS	CI	DS	DI
16/03/2020	26	2,2	0,6	0,5	0,4	0,8	0,3	0,9	0,8	1,2	0,7	1,1	0,5	1	0,5	0,8	0,7	0,6	1	1	0,9	0,7	2,1	0,1	1,3	1	1,55	1,3	1,1	2	2,1						
08/04/2020	22,8	1,35	0,6	0,9	2,7	1,25	0,6	0,9	1,2	1,35	0,9	1,25	0,55	1,1	0,7	1,25	0,85	0,9	1,2	1	1,1	1,05	2,4	0,8	1,7	1,3	1,8	1,8	1,6	2	2,3						

