



À Comissão de Licitação da **FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA DE DESENVOLVIMENTO DE EXTENSÃO E PESQUISA – FUNDEPES**

Referente ao **EDITAL SELEÇÃO PÚBLICA Nº15/2024**, que tem como objetivo a **AQUISIÇÃO DE MOBILIÁRIO PARA ESCRITÓRIO**.

**Interposição de Recurso Administrativo**

**Prezado(a) Presidente da Comissão de Licitação,**

A empresa **RA DE SOUZA E SILVA EPP**, inscrita no CNPJ sob o nº08.412.599/0001-82, com sede à Rua Cincinato Pinto 283, Centro, Maceió, Alagoas, neste ato representada pelo Srº Rodrigo Almeida de Souza e Silva, vem respeitosamente e tempestivamente nos moldes do item 9 mais especificamente **no item 9.1 evidenciado no EDITAL SELEÇÃO PÚBLICA Nº15/2024 e com fundamento no art. 165 da Lei nº 14.133/2021 e no artigo 30 do Decreto 8.241/14**, apresentar **RECURSO ADMINISTRATIVO** em face da decisão que declarou vencedora as empresas:

- **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS, CNPJ nº 02.340.082/0001-49, para os ITENS 02, 08, 13, 16,21, 23 e 24;**
- **FLEX MOBILY SOLUÇÕES PARA ESCRITÓRIO LTDA, CNPJ nº 31.408.827/0001-62, para os ITENS 09, 11, 12, 14, 17, 19 e 20;**
- **DJALMA IVO DE FREITAS LTDA (COLIVETTI MÓVEIS), CNPJ nº 30.282.668/0001-07, para o ITEM 15;**

Tal recurso é motivado após o pedido de vistas ao processo licitatório conforme documento em anexo e **ANÁLISE**, constatando **NÃO CONFORMIDADES** entre os produtos ofertados e documentações com o que foi exigido no **Edital nos ITENS 4.2, 5.5.3 e 7.5, bem como em seu Anexo I no ITEM 3.3 e no Anexo III**.

O não cumprimento ao que é exigido no edital traz grave prejuízo ao órgão e fere princípios da administração pública.

## **1. DOS FATOS**

### **1.1 - NO ITEM 02 CADEIRA GIRATÓRIA:**

A empresa vencedora **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS** ofertou a cadeira **MODELO MY CHAIR DA MARCA FLEXFORM**. Esse modelo e marca não atendem as especificações do edital conforme quadro comparativo abaixo:



### QUADRO COMPARATIVO DE NÃO CONFORMIDADES N.01

		<b>EDITAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA CADEIRA MY CHAIR</b>
1	RODÍZIO	65mm	55mm
2	BRAÇOS	fixado ao assento	Fixado ao encosto
3	SUPORTE REFORÇO EM U DO ENCOSTO	EXIGIDO	NÃO TEM
4	LARGURA DA CADEIRA	705mm	720mm
5	EXTENSÃO VERTICAL DO ENCOSTO	475mm	435mm
6	LARGURA DO ENCOSTO	430mm	445mm
7	PROFUNDIDADE DA SUPERFÍCIE DO ASSENTO	475mm	445mm
8	ESPESSURA DA ESPUMA DO ASSENTO	50mm	NÃO ESPECIFICOU
9	BASE DA CADEIRA	INJETADA EM POLIAMIDA 6.6 COM REFORÇO DE 30% FIBRA VIDRO	TERMOPLÁSTICA
10	ALAVANCA PARA REGULAGEM ALTURA DO ASSENTO E INCLINAÇÃO DO ENCOSTO	1	2
11	CERTIFICADO FSC	EXIGIDO item 5.5.3	NÃO APRESENTADO

Ainda sobre o quadro comparativo de não conformidades no item 9, para embasar de forma cabal as diferenças entre as bases em poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro para a base termoplástica, apresento abaixo novo quadro comparativo.

<b>CARACTERÍSTICA DAS BASES</b>	<b>TERMOPLÁSTICA COMUM</b>	<b>POLIAMIDA 6.6 COM 30% FIBRA DE VIDRO</b>
CUSTO	MAIS BAIXO	MAIS ELEVADO
RESISTÊNCIA MECÂNICA	MODERADA	ALTA
RESISTÊNCIA TÉRMICA	BAIXA	ALTA
DURABILIDADE	MODERADA	ELEVADA
APLICAÇÕES	USO LEVE/MODERADO	USO INTENSO/ALTA DEMANDA

Com base nos dados apresentados acima e embasados em estudos científicos e acadêmicos , apresentados em documentos **anexo e link de estudos científicos tais como:**

<https://www.wanhan-plastic.com/pt/nylon-pa66-gf30-properties-and-applications.html>

<https://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados/produtos/pa66-tecamid-66-gf30-black>

Face ao exposto, se conclui que a base de poliamida 6.6 com reforço de fibra de vidro é muito superior em termos de qualidade, resistência e durabilidade, sendo ideal para aplicações de alta performance, como móveis corporativos de uso contínuo e em ambientes exigentes. Já a base termoplástica comum é mais acessível e adequada para usos mais leves ou domésticos. A não observância dessa exigência no edital por parte da empresa vencedora trás grave ameaça aos interesses do órgão uma vez que vai estar adquirindo produto como qualidade inferior.

As informações apresentadas no quadro comparativo do item 02 estão embasadas na análise da documentação apresentada pela empresa vencedora, bem como, no próprio site do fabricante através do link:

<https://www.flexform.com.br/cadeiras/cadeiras-de-escritorio/cadeira-my-chair-light-grey-yellow#infos>



#### Base

Base / Pata injetada em resina termoplástica de alta resistência e excelente qualidade.



#### Rodizio / Rodinhas

Rodízios / Rodinhas com 55 mm de diâmetro indicado para todos os tipos de piso.

Imagem extraída do site do fabricante

Em resumo, verificamos que a cadeira ofertada não atende as características exigidas no edital, comprometendo a equidade entre as empresas, tendo por consequência uma **VANTAGEM COM MENOR PREÇO EM FAVOR DA EMPRESA VENCEDORA.**



## 1.2 – NOS ITENS 08, 23 E 24 ( Conjunto high-back, conjuntos estofados modulares)

A empresa vencedora **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS**. Esses modelos, marcas e ausência de laudo de ergonomia, não atendem as especificações do edital conforme quadro comparativo abaixo:

QUADRO COMPARATIVO DE NÃO CONFORMIDADES N.02			
		EDITAL	EMPRESA VENCEDORA
1	LAUDO DE ERGONOMIA	EXIGIDO para o item 08	NÃO APRESENTOU
2	CATÁLOGO DE PRODUTOS, FOTOS, ESPECIFICAÇÕES DETALHADAS DO ITEM	EXIGIDO NO ITEM 3.3 DO EDITAL	NÃO APRESENTOU PARA OS ITENS 08, 23 E 24
3	CERTIFICADO DE GARANTIA	EXIGIDO NO ITEM 5.5.3	<ul style="list-style-type: none"><li>• NÃO APRESENTOU PARA OS <b>ITEM 24</b>;</li><li>• JÁ PARA O <b>ITEM 08</b> NÃO HÁ GARANTIA PARA O REVESTI-MENTO. NA ESPECIFICAÇÃO EXIGE MÍNIMO DE 6 MESES. Conforme Imagem apresentada abaixo.</li></ul>
4	MARCA E MODELO	EXIGIDO CONSTAR NA PROPOSTA	NÃO APRESENTADO NO ITEM 24

**Sobre o item 1 do quadro comparativo de não conformidades com o edital N.02**, é de suma importância evidenciar o contexto do projeto, por se tratar de um ambiente de estudo, pesquisa e trabalho, onde os ambientes que contemplam esses assentos serão usados como ambientes de cocriação, interação e reuniões, onde terão uso de forma moderada a alta, **DEVENDO PORTANTO SER CONSIDERADO SUAS CARACTERÍSTICAS ERGONÔMICAS E COMPROVADAS ATRAVÉS DO LAUDO DE ERGONOMIA.**

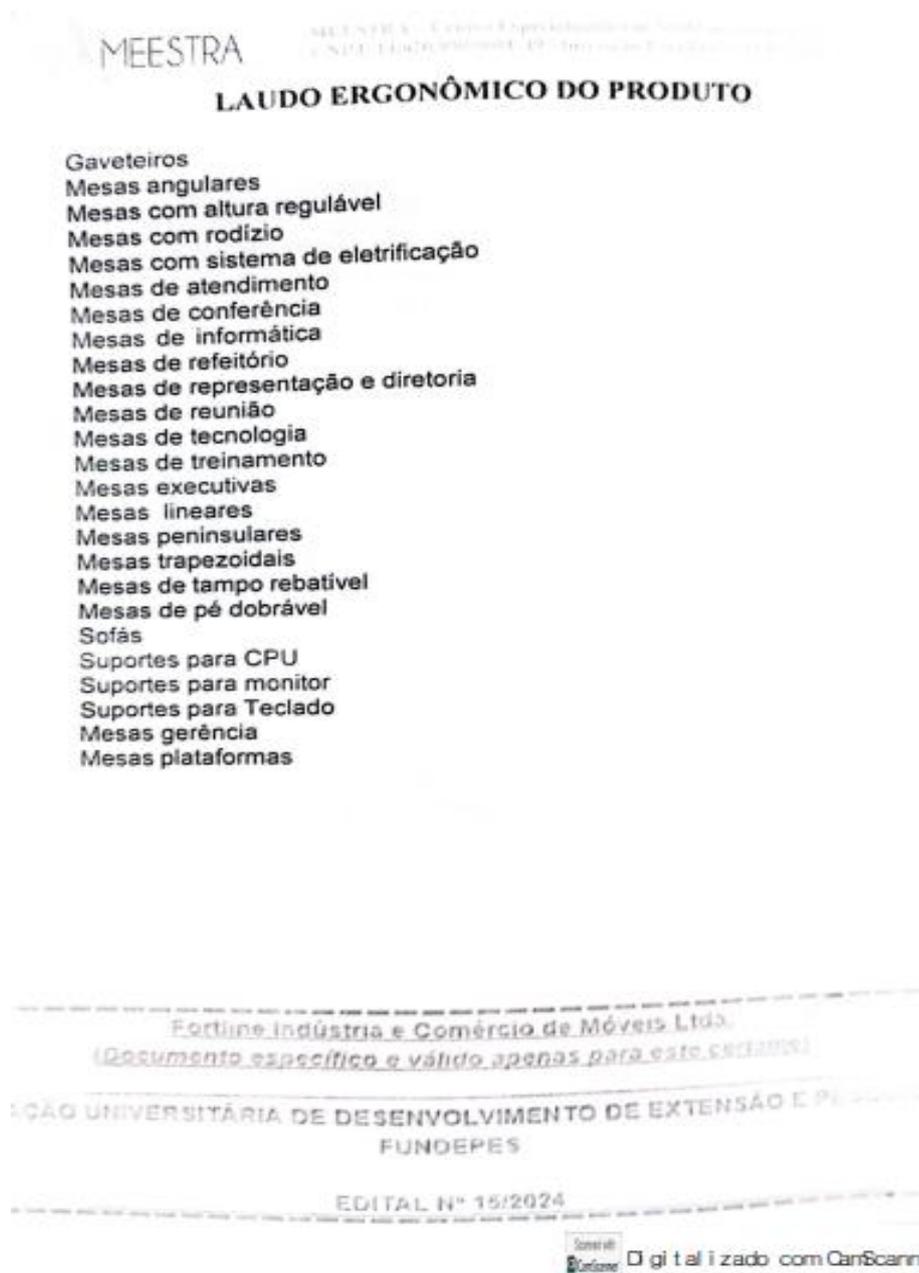
**Em anexo** ao envio desse recurso está sendo enviada uma **Nota Técnica da Ft. Cristiane Nomacher Cantele, Fisioterapeuta, especialista em Fisioterapia do Trabalho e Ergonomista Sênior – ABERGO N°90, Crefito: 48.602**, onde afirma dentre outras que:

*“... A evolução das formas de trabalho exige um olhar mais abrangente sobre os ambientes e equipamentos utilizados pelos trabalhadores, portanto a avaliação ergonômica de estofados não é apenas uma exigência técnica, claramente definida no item exposto anteriormente, mas uma medida preventiva indispensável para garantir saúde, conforto e desempenho dos trabalhadores em qualquer ambiente de trabalho.*

*Portanto, reforço, assim, a importância de incluir análises ergonômicas de estofados nos programas de ergonomia e saúde ocupacional, promovendo ambientes laborais mais seguros e produtivos.”*



A empresa **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS**, entra em contradição ao anexar um **LAUDO DE INEGIBILIDADE DE LAUDO ERGONÔMICO para o item 08**, quando apresenta laudo de ergonomia do fabricante FORTLINE ara os itens 13 e 16, onde contempla e evidencia o item sofá e sua importância ao atendimento as normas da ABNT, conforme imagem da páginas N.04 e 05 do referido laudo exposta abaixo:



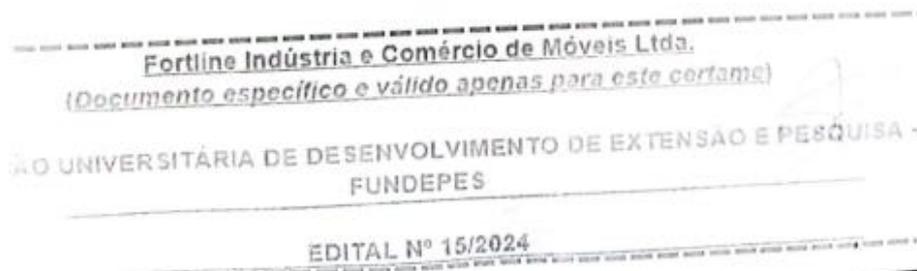


### Características Dimensionais

As medidas de largura, altura e outras características dimensionais dos móveis analisados apresentam – se dentro do intervalo tolerável de variação de variação definitivo pelas Normas Brasileiras Registradas (NBR) 13961, 13962, 13964, 13966, 13967, 15786, 15878, 16031 e 16671 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

### Características do Mobiliário

Sempre que as atividades puderem ser executadas na posição sentado, o posto de trabalho deve ser planejado ou adaptado para esta posição. Para as atividades manuais que possam ser feitas dessa forma, ou mesmo as que tenham de ser feitas em pé, o mobiliário proporciona ao trabalhador boas condições de postura e visualização, atendendo aos requisitos mínimos dimensionais, no que diz respeito à altura de assento, encosto, posicionamento e movimentação adequada dos segmentos corporais. As superfícies de trabalho são compatíveis com as atividades, isenta de arestas cortantes e cantos vivos.



Fica claro portanto que, como a empresa **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS** não possui laudo de ergonomia de produto que atenda as características do item 08, tenta desqualificar a necessidade do mesmo, apresentando LAUDO DE INEGIBILIDADE.

**Sobre o Item 03 do quadro comparativo de não conformidades com o edital N.02**, o fabricante é enfático ao sinalizar que “... Revestimentos – qualquer dano deve ser observado de imediato, na entrega do mobiliário ...”, deixando claro não haver garantia para o revestimento.

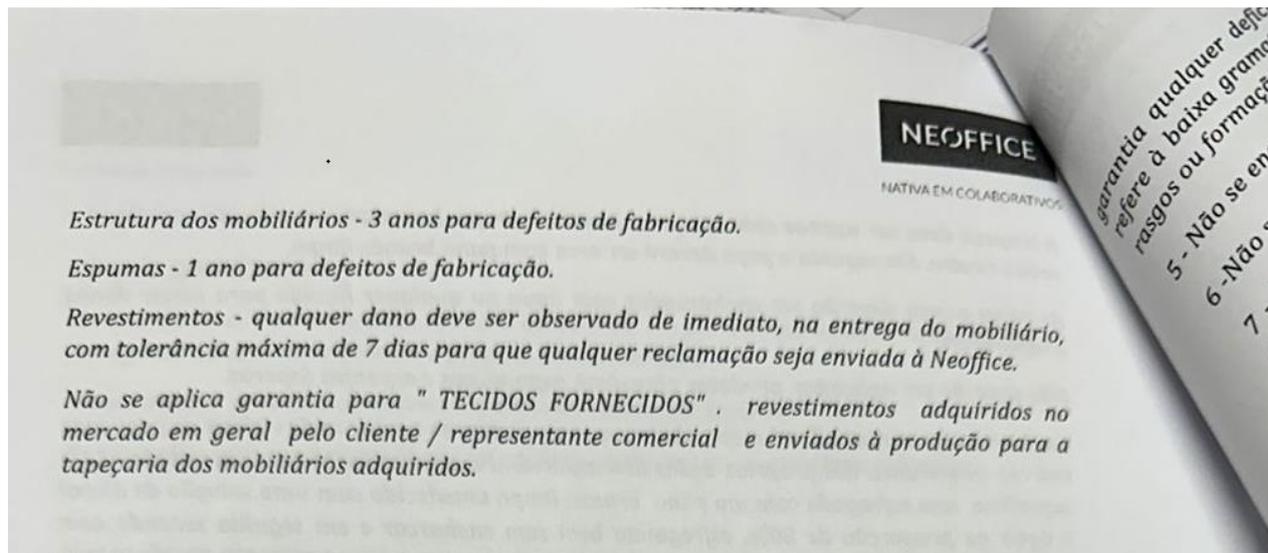


Imagem extraída dos autos do processo

### 1.3 – NOS ITENS 09, 11, 12, 14, 15 E 16 - PLATAFORMA DE TRABALHO

As empresas vencedoras foram:

- **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS no item 16;**
- **FLEX MOBILY SOLUÇÕES PARA ESCRITÓRIO LTDA, CNPJ nº 31.408.827/0001-62, para os ITENS 09, 11, 12 e 14;**
- **DJALMA IVO DE FREITAS LTDA(COLIVETTI MÓVEIS) CNPJ nº30.282.668/0001-07, para o ITEM 15;**

Para os itens citados acima, os modelos, marcas, especificações detalhadas, catálogos e documentações de qualificação técnica, não tem ou não atendem em sua plenitude as especificações do edital conforme quadro comparativo abaixo:



QUADRO COMPARATIVO DE NÃO CONFORMIDADES N.03				
IT	EXIGÊNCIAS DO EDITAL	EMPRESAS VENCEDORAS		
		FORMAS	FLEX MOBILY	COLIVETTI
01	<b>Anexo I no ITEM 3.3.</b> Enviar junto à proposta o <b>catálogo/folder</b> , contendo fotos e especificações detalhadas do item.	Apresentado, porém não entregou especificação detalhada	Apresentou, porém não deixa claro que é referente ao modelo ofertado, bem como, não entregou especificação detalhada	<b>NÃO ATENDE AS ESPECIFICAÇÕES</b>
02	<b>Itens 4.2 e 7.5 do Edital e Anexo III</b> – Apresentar especificações técnicas do objeto (Completa)	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE	NÃO ATENDE
03	Item 5.5.3 do Edital – Comprovar capacidade Técnica com Certificado de Garantia e Qualidade dos Itens.	Não apresentou certificado de garantia	ATENDE	Não apresentou certificado de garantia
04	Laudo de Ergonomia	Não cita o item plataforma em seu laudo	ATENDE	ATENDE
05	ABNT NBR 8094	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU
06	ABNT NBR 8095	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU
07	ABNT NBR 8096	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	ATENDE
08	ABNT NBR 10443	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU
09	ABNT NBR 13966	Apenas para o item 11	Apresentou o certificado para o modelo M-Certificata. Na proposta é ofertado o Modelo M-Corp	NÃO APRESENTOU
10	FSC	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	ATENDE
11	LICENSA AMBIENTAL	NÃO APRESENTOU	ATENDE	ATENDE
12	CERTIFICADO DO IBAMA	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU
13	NEGATIVA DO IBAMA	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU
14	LUDFOR – CERTIFICADO DE ENERGIA RENOVÁVEL	NÃO APRESENTOU	NÃO APRESENTOU	ATENDE

**Sobre o quadro comparativo de não conformidades com o edital N.03.** A empresa FLEX MOBILY SOLUÇÕES PARA ESCRITÓRIO LTDA, VENCEDORA dos ITENS 09, 11, 12 e 14 da **Marca Motiva e Modelo M-CORP**, apresentou documentos de certificação ABNT para produtos de **OUTRO MODELO “M-CERTIFICATA”**, conforme demonstrado na imagem abaixo. Além disso, não atende as especificações técnicas, uma vez que no **descritivo técnico do item diz que deve haver “... Longarina central em tubo de aço 25x25mm ... O mesmo é fixado entre os tampos para realizar a ligação entre eles...”**.



## ANEXO AO CERTIFICADO 2024 – MOV-572/2017-5

Empresa: MOTIVA INDÚSTRIA DE MÓVEIS LTDA

### ESCOPO DE CERTIFICAÇÃO

MARCA	LINHA	MODELO/CÓD	DESCRIÇÃO	DATA E N° RELATÓRIO DE ENSAIOS	NORMAS/PORTARIAS	DATA DE AUDITORIA/CERTIFICAÇÃO
MOTIVA	M-Certificada	Extensão de Plataforma CEP-966 / CEP-968	Extensão de Plataforma Dupla Pé Metal <b>Tampo:</b> MDP 25mm fita de borda 2,5mm com raio 2,5mm em todo seu contorno. <b>Pé Central:</b> Produzidos em chapas e tubos de aço, com tampa removível, rebete ponteira em Poliuretano com rosca 5/16 em aço para acomodar sapata regulável NR 200 50mm. <b>Longarinas:</b> Produzidas em tubos de aço secção retangular 30x50x1,20 fixadas aos pés por rebites M6 e parafusos M6x16 Cabeça panela. Calhas Conectividade: Produzida em chapas de aço 0,75mm. <b>Dimensões:</b> CEP-966 – 1300x735x1400 CEP-968 – 1400x735x1400	00454/24 00455/24 (14/08/2024)  Laboratório Senai Cetemo CRL 0158	ABNT NBR 13966/2008	Auditoria realizada em: 26/02/2024  Certificação emitida em: 20/09/2024

MOTIVA INDÚSTRIA DE MÓVEIS LTDA  
CNPJ: 91.953.109/0001-07  
A não realização de ensaios de manutenção aprovados até 20/09/2026 implicará na suspensão imediata do certificado

Imagem extraída dos autos do processo

**Sobre o quadro comparativo de não conformidades com o edital N.03. A empresa DJALMA IVO DE FREITAS LTDA, VENCEDORA dos ITEM 15.**

O produto ofertado do fabricante Marzo Vitorino, da Linha Work Pro, além de não apresentar toda documentação exigida no edital, conforme demonstrado, não atende as especificações técnicas, uma vez o **descritivo técnico do item diz que deve haver “... Longarina central em tubo de aço 25x25mm ... O mesmo é fixado entre os tampos para realizar a ligação entre eles...”**. Diz ainda que o contorno do tampo é encabeçado com fita de borda PVC com 2,5mm de espessura e com raio de de 2,5mm conforme norma da ABNT. Está destacado em imagem retirada do catálogo do fabricante que é usado **TAMPO CENTRAL EM BP AO INVÉS DO TUBO DE AÇO 25X25mm** e que **utiliza fita de borda 1mm, não atendendo a norma da ABNT.**



Imagem extraída do catálogo da Marzo Vitorino, conforme documento que será anexado ao e-mail.

- **Sobre o quadro comparativo de não conformidades com o edital N.03.** A EMPRESA FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS vencedora no item 16;

O produto ofertado da linha **JUST** do fabricante **Operis**, além de não apresentar toda documentação exigida no edital, conforme demonstrado, não atende as especificações técnicas, uma vez o **descritivo técnico do item diz que deve haver “... Longarina central em tubo de aço 25x25mm ... O mesmo é fixado entre os tampos (2) para realizar a ligação entre eles...”**. Conforme demonstrado na imagem abaixo, retirada do catálogo do fabricante, que sinaliza que na sua plataforma é com tampo único e não tem a longarina central 25x25mm unindo os tampos.



**Imagem extraída do catálogo do fabricante, disponível através do link:**

<https://www.operis.com.br/linha/just/59>

## 2. DO DIREITO

Diante dos fatos expostos, fica evidenciado de forma cabal que os documentos apresentados **NÃO ATENDEM** aos requisitos exigidos no edital, conforme disposto no **item 7.5 do Edital**, que é taxativo quando diz “... **RESPEITANDO O EXPOSTO NO EDITAL, APRESENTAR MENOR PREÇO, OBSERVANDO AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO OBJETO.**”.



Já no item 4.2 que deixa claro que “... **Para a elaboração da proposta a empresa INTERESSADA poderá solicitar à COMISSÃO DE SELEÇÃO PÚBLICA, ATRAVÉS DO ENDEREÇO ELETRÔNICO, AS PLANTAS DO PAVIMENTO TÉRREO E SUPERIOR E PLANILHA DE DESCRIÇÃO DE MÓVEIS, CORRESPONDENTE AO OBJETO DA SELEÇÃO PÚBLICA**” .

O edital no item 5.5.3 também é taxativo quando diz que “... **DEVERÁ SER OBSERVADA AS ESPECIFICAÇÕES CONSTANTES NO EDITAL E AS NORMAS DA PLANILHA DE DESCRIÇÃO DE MÓVEIS...**”.

E por fim, no Anexo 1 no item 3.3, que é enfático quando diz “... **Enviar junto à proposta o catálogo/folder, contendo fotos e especificações detalhadas do item.**”

Com base nos **PRINCÍPIOS DA VINCULAÇÃO AO INSTRUMENTO VINCULATÓRIO, DA LEGALIDADE, IGUALDADE, EFICIÊNCIA E TRANSPARÊNCIA**, e em cumprimento à Lei nº 14.133/2021 e do Edital 15/2024, **SOLICITO O DEFERIMENTO DESTES RECURSOS**.

### 3. DOS PEDIDOS

#### DIANTE DO EXPOSTO, REQUER-SE:

- a) A análise detalhada dos documentos apresentados pelas empresas:
  - **F FORMAS SOLUÇÕES CORPORATIVAS, NOS ITENS 02, 08, 23 e 24;**
  - **FLEX MOBILY SOLUÇÕES PARA ESCRITÓRIO LTDA, CNPJ nº 31.408.827/0001-62, para os ITENS 09, 11, 12, 14, 17, 19 e 20;**
  - **DJALMA IVO DE FREITAS LTDA (COLIVETTI MÓVEIS), CNPJ nº 30.282.668/0001-07, para o ITEM 15;**
- b) **A desclassificação das referidas propostas das empresas citadas acima, para os itens 02, 08, 09, 11, 12, 14, 15, 17, 19, 20, 23 e 24, em razão do não cumprimento das especificações técnicas, se encontrando em desacordo com os requisitos estabelecidos pelo edital;**
- c) **A reclassificação da proposta da empresa RA DE SOUZA E SILVA EPP como vencedora, caso esta seja a próxima colocada habilitada.**

Sem mais para o momento, renovamos nossos protestos de estima e consideração.

Atenciosamente,

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** RODRIGO ALMEIDA DE SOUZA E SILVA  
Data: 08/01/2025 16:06:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodrigo Almeida de Souza e Silva  
Diretor

Maceió – Alagoas, 08 de Janeiro de 2025

### NOTA TÉCNICA 001/2025

Eu, Cristiane Nonemacher Cantele, fisioterapeuta do trabalho, especialista em ergonomia, ergonomista sênior, certificada pela Associação Brasileira de Ergonomia, venho por este esclarecer quesitos dispostos na Norma Regulamentadora 17 (NR 17) referente a itens associados a produtos, conforme segue.

Conforme o item 17.1 da NR 17:

*"Esta norma regulamentadora visa estabelecer as diretrizes e os requisitos que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar conforto, segurança, saúde e desempenho eficientes no trabalho."*

Nos últimos anos, as formas de trabalho sofreram transformações significativas, especialmente com a ascensão do trabalho remoto e híbrido. De acordo com o estudo "State of Remote Work 2023" realizado pela Owl Labs, cerca de 32% dos trabalhadores em todo o mundo já utilizam modelos híbridos, combinando ambientes domésticos e corporativos com uso de estofados. Adicionalmente, pesquisa da Fundação Getúlio Vargas (FGV) aponta que o trabalho remoto no Brasil cresceu mais de 300% entre 2020 e 2023, impactando diretamente as condições e práticas ergonômicas.

O efeito citado acima gerou um movimento da casa para o escritório, ou seja, usar estofados passou a ser usual para tabalhadores de escritório, desta forma o uso de estofados em ambientes de trabalho não está restrito às modalidades de trabalho remoto ou híbrido.

Diversas empresas têm adotado layouts flexíveis em seus escritórios, com áreas de convivência e estações de trabalho informais equipadas com sofás, poltronas e pufes. Essa tendência reflete uma abordagem voltada ao bem-estar e à criatividade, inspirada em modelos de grandes organizações globais.

De acordo com um levantamento da Cushman & Wakefield em 2023, 45% das empresas no Brasil optaram por reconfigurar seus escritórios, incluindo mobiliário confortável e estofado, para promover colaboração e aumentar a satisfação dos funcionários. Essa prática é ainda mais comum em setores criativos e tecnológicos.

ATENÇÃO!

O uso de equipamentos portáteis, como notebooks, tablets e smartphones, associado à diversificação dos ambientes de trabalho, trouxe desafios ergonômicos únicos. Um levantamento da Organização Mundial da Saúde (OMS) revelou que até 60% dos trabalhadores remotos relatam dores relacionadas ao uso inadequado de mobiliário, incluindo estofados.

Estofados, frequentemente utilizados como uma alternativa improvisada de mobiliário para trabalho, podem representar sérios riscos à saúde física e cognitiva dos trabalhadores quando não avaliados ergonomicamente:

**Postura inadequada:** O design de estofados raramente proporciona suporte suficiente para a coluna vertebral, resultando em inclinações excessivas ou torções que aumentam o risco de lesões musculoesqueléticas.

**Falta de estabilidade:** O assento excessivamente macio de estofados pode gerar instabilidade pélvica e dificuldades na manutenção da postura neutra durante longas jornadas de trabalho.

**Desempenho e produtividade:** Estudos da Harvard Business Review mostram que ambientes mal adaptados reduzem a produtividade em até 40%, devido ao aumento do cansaço físico e à perda de concentração.

### ***Sobre a Análise Ergonômica de Produtos (estofados)***

Conforme preconizado pela NR 17, as condições de trabalho devem ser adaptadas às características psicofisiológicas dos trabalhadores. A avaliação ergonômica de estofados é fundamental para:

A análise ergonômica dos estofados é essencial para assegurar que esses itens, amplamente utilizados em ambientes empresariais, atendam aos requisitos mínimos de saúde e segurança ocupacional. Entre os benefícios da avaliação ergonômica, destacam-se:

Orientação técnica para o uso correto dos estofados em diferentes contextos e tarefas;

Adaptação ergonômica dos mobiliários, garantindo conforto e redução de riscos;

Cumprimento das normas regulamentadoras, promovendo segurança e bem-estar no ambiente laboral.

#### **ATENÇÃO!**

Recomendar ajustes ou a utilização de acessórios ergonômicos, como apoios lombares, mesas ajustáveis e apoios para pés;

Promover orientações sobre o uso adequado dos estofados, minimizando os riscos de dores e lesões ocupacionais;

### **Dados Complementares**

Um estudo da International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (2019) destaca que posturas inadequadas associadas ao uso de móveis não ergonômicos contribuem para um aumento de 55% nos casos de dor lombar crônica em trabalhadores remotos.

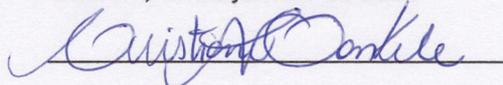
Pesquisa da ErgoPoint (2022) revelou que apenas 30% dos trabalhadores remotos possuem mobiliário ergonomicamente adequado, reforçando a necessidade de análises específicas, como a de estofados.

### **Considerações Finais**

A evolução das formas de trabalho exige um olhar mais abrangente sobre os ambientes e equipamentos utilizados pelos trabalhadores, portanto a avaliação ergonômica de estofados não é apenas uma exigência técnica, claramente definida no item exposto anteriormente, mas uma medida preventiva indispensável para garantir saúde, conforto e desempenho dos trabalhadores em qualquer ambiente de trabalho.

Portanto, reforço, assim, a importância de incluir análises ergonômicas de estofados nos programas de ergonomia e saúde ocupacional, promovendo ambientes laborais mais seguros e produtivos.

Erechim, 07 de janeiro de 2025



Ft. Cristiane Nonemacher Cantele

Fisioterapeuta

Especialista em Fisioterapia do Trabalho

Ergonomista Sênior - ABERGO Nº 90

Crefito: 48.602-F

#### ATENÇÃO!

ESTE DOCUMENTO É PARA USO EXCLUSIVO EM:  
PROCESSO LICITATÓRIO NA: FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA DE DESENVOLVIMENTO DE EXTENSÃO E PESQUISA - FUNDEPES/AL  
SELEÇÃO PÚBLICA Nº: 15/2024 - PROCESSO Nº: 9222/2024  
REVENDE: R.A. DE SOUZA E SILVA LTDA  
CNPJ: 08.412.599/0001-82 - MUNICÍPIO DE MACEIÓ/AL  
É VETADA A UTILIZAÇÃO SEM AUTORIZAÇÃO DA CAVALETTI S/A CADEIRAS PROFISSIONAIS.

 cristiane@cristianecantele.com.br

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

THAYSA RODRIGUES MENDES FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE POLIAMIDA 6 REFORÇADA COM  
MICROESFERA OCA DE VIDRO E FIBRA DE VIDRO PARA COMPONENTES  
AUTOMOTIVOS**

BELO HORIZONTE  
2016

THAYSA RODRIGUES MENDES FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE POLIAMIDA 6 REFORÇADA COM  
MICROESFERA OCA DE VIDRO E FIBRA DE VIDRO PARA COMPONENTES  
AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de graduação em Engenharia de Materiais no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Aline Bruna da Silva

BELO HORIZONTE

2016

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me abençoar a todo instante e por me permitir chegar até aqui.

Aos meus pais e à minha irmã, grandes responsáveis pela minha formação, toda a minha gratidão.

À minha professora orientadora, Aline Bruna da Silva, pelo suporte, apoio e confiança.

Ao meu amigo de trabalho, Filipe Dias, pela oportunidade e enorme ajuda à elaboração deste projeto.

À Fiat, pela oportunidade de aprender e crescer todos os dias.

Aos meus colegas de trabalho, pela paciência, conhecimento e risadas diárias.

Aos profissionais e amigos do CEFET-MG que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho consistiu em um estudo comparativo, das propriedades térmicas, morfológica e mecânica e da densidade, de cinco formulações do compósito de poliamida 6 reforçada com microesfera oca de vidro e fibra de vidro. Dentre as composições estudadas, avaliou-se as propriedades de compósitos de PA6/ fibra de vidro (70/30) m%, e compósitos híbridos PA6/ fibra de vidro/ microesfera oca de vidro, cuja fração mássica das cargas foi mantida em 30%, variando-se apenas a fração de microesferas, de 3-10%*m*. Para o processamento dos materiais, utilizou-se uma extrusora do tipo dupla rosa, composta por sete zonas de aquecimento e um *side feeder*; e para a injeção, utilizou-se uma injetora composta por cinco zonas de aquecimento. Observou-se uma redução gradual na densidade das amostras, com o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro em sua composição. No entanto, as propriedades mecânicas, i.e, resistência à tração, à flexão e ao impacto reduziram com a incorporação das microesferas ocas de vidro. Contudo, mesmo com essa redução, os compósitos estudados ainda apresentam boas propriedades mecânicas, combinados com baixa densidade, principalmente os compósitos com até 5%*m* de microesferas ocas de vidro, tornando-os viáveis para uma série de aplicações na indústria automobilística.

Palavras-chaves (05): Materiais Compósitos, Fibra de Vidro, Microesfera Oca de Vidro, Poliamida 6, Densidade.

## **ABSTRACT**

This work consists of a comparative study of thermal, morphological and mechanical properties, and density analysis of five composites of polyamide 6 (PA 6) reinforced with glass fiber and hollow glass bubble. Among the compositions studied, it was evaluated the properties of the composite PA 6/ glass fiber (70/30) %w and hybrid composites PA 6/ glass fiber/ hollow glass bubble, which the mass fraction of fillers was maintained 30%w, varying only the percentage of hollow glass bubble in the composition between 3-10%w. For materials processing, it was used a double screw extruder, composed of seven heating zones and one side feeder; for injection, it was used an injector composed of five heating zones. It was seen a gradual decrease in the samples density with the increase of hollow glass bubble in the samples. It was observed that the mechanical properties, i.e., tensile strength, flexural strength and impact resistance are reduced with the addition of hollow glass bubbles. Although, even with these reductions, the composites studied have good mechanical properties combined with low density, particularly composites with up to 5%w of hollow glass bubbles, making them viable for a variety of applications in the automotive industry.

**Keywords (05):** Composite Materials, Fiberglass, Hollow Glass Bubble, Polyamide 6, Density.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>9</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Poliamida 6</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Materiais Compósitos de Matriz Polimérica</b>	<b>12</b>
<i>3.2.1. Carga de reforço: Fibra de Vidro</i>	<b>14</b>
<i>3.2.2. Carga para redução de densidade: Microesfera Oca de Vidro</i>	<b>19</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Materiais</b>	<b>32</b>
<b>4.2. Metodologia</b>	<b>32</b>
<i>4.2.1. Escolha das Formulações</i>	<b>32</b>
<i>4.2.2. Condições de Processamento dos Compósitos</i>	<b>35</b>
<i>4.2.3. Caracterização das Amostras</i>	<b>36</b>
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>41</b>
<b>5.1. Escolha das formulações</b>	<b>41</b>
<b>5.2. Condições de Processamento dos Materiais</b>	<b>41</b>
<b>5.3. Caracterização das Cargas</b>	<b>42</b>
<i>5.3.1. Ensaio de Calcinação</i>	<b>42</b>
<i>5.3.2. Morfologia e Diâmetro Médio das Cargas</i>	<b>43</b>
<b>5.4. Caracterização de densidade</b>	<b>46</b>
<b>5.5. Caracterização térmica</b>	<b>47</b>

<i>5.5.1.Termogravimetria (TGA)</i>	<b>47</b>
<i>5.5.2.Calorimetria diferencial de varredura (DSC)</i>	<b>49</b>
<b>5.6.Caracterização da Morfologia</b>	<b>52</b>
<b>5.7.Caracterização mecânica</b>	<b>55</b>
<i>5.7.1.Resistência à tração</i>	<b>56</b>
<i>5.7.2.Resistência à flexão</i>	<b>60</b>
<i>5.7.3.Resistência ao impacto</i>	<b>64</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>66</b>
<b>7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do náilon 66 e náilon 6.....	11
Figura 2 - Obtenção do PA 6.....	12
Figura 3 - Fibras de vidro (MEV). ....	16
Figura 4 - Principais fatores que afetam a resistência mecânica dos compósitos de termoplásticos reforçados com fibras de vidro curtas.....	18
Figura 5 - Microesferas ocas de vidro (MEV). ....	19
Figura 6 - Curvas tensão vs. deformação da fibra, da matriz e do compósito. ....	27
Figura 7 - Módulo de elasticidade, resistência à tração e resistência à flexão (respectivamente) dos compósitos de polipropileno reforçados com fibra de vidro. ....	28
Figura 8 - Imagem do MEV de um compósito híbrido de PP reforçado com fibra de vidro e microesferas ocas de vidro. ....	29
Figura 9 - Contração diferencial no molde de injeção. ....	31
Figura 10 - Imagem de MEV da amostra B, após primeira tentativa de extrusão. ....	42
Figura 11 - Imagem de MEV da fibra de vidro, obtida após ensaio de calcinação (amostra A). ....	44
Figura 12 - Colunas de frequência dos diâmetros das GFs.....	44
Figura 13 - Análise de MEV da microesfera oca de vidro, obtida após ensaio de calcinação (amostra C).....	45
Figura 14 - Colunas de frequência dos diâmetros das HGBs.....	45
Figura 15 - Gráfico comparativo de redução percentual de densidade.....	47
Figura 16 - Curvas de massa (%) <i>versus</i> temperatura, obtidas pelo ensaio de TGA. ....	48
Figura 17 - Curvas de DSC obtidas para as amostras em estudo.....	50
Figura 18 - Fratura criogênica da amostra A. ....	52
Figura 19 - Fratura criogênica da amostra B.....	52
Figura 20 - Fratura criogênica da amostra C.....	53
Figura 21 - Fratura criogênica da amostra D. ....	53
Figura 22 - Fratura criogênica da amostra E.....	54
Figura 23 - Fratura criogênica da amostra D. ....	55
Figura 24 - Fratura criogênica da amostra E.....	55

Figura 25 - Gráfico tensão <i>versus</i> deformação para a amostra A. ....	56
Figura 26 - Gráfico tensão <i>versus</i> deformação para a amostra B.....	57
Figura 27 - Gráfico tensão <i>versus</i> deformação para a amostra C.....	57
Figura 28 - Gráfico tensão <i>versus</i> deformação para a amostra D. ....	58
Figura 29 - Gráfico tensão <i>versus</i> deformação para a amostra E.....	58
Figura 30 - Gráfico resistência à flexão <i>versus</i> deformação para a amostra A.....	60
Figura 31 - Gráfico resistência à flexão <i>versus</i> deformação para a amostra B. ....	61
Figura 32 - Gráfico resistência à flexão <i>versus</i> deformação para a amostra C. ....	61
Figura 33 - Gráfico resistência à flexão <i>versus</i> deformação para a amostra D.....	62
Figura 34 - Gráfico resistência à flexão <i>versus</i> deformação para a amostra E. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela comparativa das vantagens e desvantagens da poliamida.....	10
Tabela 2 - Propriedades de alguns compósitos poliméricos. ....	14
Tabela 3 - Composição de fibras de vidro utilizadas na manufatura de compósitos. ....	15
Tabela 4: Densidade de alguns tipos comuns de cargas e resinas.....	20
Tabela 5 - Densidade dos materiais em estudo. ....	22
Tabela 6 - Porcentagem (em massa) de fibra de vidro e microesfera de vidro, variando-se as formulações. ....	33
Tabela 7 - Porcentagem de fibra de vidro e microesfera oca de vidro correspondente para o compósito em estudo.....	33
Tabela 8 - Densidade final do compósito para cada formulação. ....	34
Tabela 9 - Formulações em estudo.....	34
Tabela 10 - Temperatura das zonas de aquecimento.....	35
Tabela 11 - Demais parâmetros de extrusão. ....	35
Tabela 12 - Temperatura das zonas de aquecimento.....	36
Tabela 13 - Pressão de injeção e de recalque. ....	36
Tabela 14 - Redução de densidade esperada para as amostras utilizadas. ....	41
Tabela 15 - Porcentagem de carga inorgânica obtida para as amostras. ....	43
Tabela 16 - Dados dos valores de diâmetros das GFs.....	44
Tabela 17 - Dados dos valores de diâmetros para as HGBs. ....	45
Tabela 18 - Valores de densidade para cada amostra. ....	46
Tabela 19 - % carga inorgânica para cada amostra de acordo com o ensaio de TGA. ....	49
Tabela 20 - Grau de cristalinidade (%C) para cada amostra.....	50
Tabela 21 - Valores de resistência à tração e deformação na ruptura para cada amostra. ....	56
Tabela 22 - Valores de resistência à flexão e módulo de Young para cada amostra. ....	60
Tabela 23 - Resistência ao impacto obtida pelas amostras. ....	64

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o setor automobilístico tem investido em pesquisas a fim de reduzir o peso dos veículos. Inicialmente, a redução de peso foi concentrada na substituição de componentes metálicos por componentes plásticos. No entanto, sabe-se que os polímeros, de modo geral, apresentam propriedades mecânicas inferiores aos metais, comprometendo a sua aplicação em peças estruturais.

Diante disso, percebeu-se a necessidade de incluir materiais de reforço aos componentes plásticos, tais como as fibras (de vidro, de carbono, de aramida, entre outras) e as cargas inorgânicas (talcos, carbonatos de cálcio, entre outras). De acordo com Wiebeck e Harada (2005), a poliamida 6,6 (PA 6,6) e a poliamida 6 (PA 6) reforçadas com fibras de vidro são consideradas “os principais termoplásticos de engenharia, sendo responsáveis, nos Estados Unidos, por 30% do consumo total dos termoplásticos”.

Entretanto, sabe-se que tais reforços podem resultar em aumento de densidade ao compósito final, justificando as pesquisas em microesferas ocas de vidro. Tais cargas, além de resultarem em aumento na resistência ao calor, à tração e à compressão, maior módulo de elasticidade à flexão e maior fluidez ao termoplástico (aliadas a outros materiais de reforço), também mantêm a densidade do produto final mais baixa em relação ao polímero original (WILSON; ECKSTEIN, 1991).

De acordo com Yalcin et. al. (2013), a combinação de fibra de vidro e microesfera oca de vidro constitui-se em uma excelente solução para aliar estabilidade dimensional e boas propriedades mecânicas. As fibras de vidro são capazes de compensar a redução de resistência à tração e à flexão ocasionadas pelo acréscimo das microesferas de vidro e, até mesmo, elevar os valores de resistência à flexão em relação à matriz polimérica original.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma proposta de estudo das propriedades físico-químicas e mecânicas de compósitos híbridos de PA6/ fibras de vidro/ microesferas ocas de vidro, por meio da análise de propriedades térmicas, mecânicas e da morfologia, avaliando, principalmente, a influência da adição das microesferas nas propriedades dos compósitos visando a aplicação em componentes automotivos, que, atualmente, utilizam o compósito PA6 / fibras de vidro.

## **2. OBJETIVO**

Desenvolver, para fins de estudo, compósitos híbridos de matriz polimérica de PA 6 com fibras de vidro e microesferas ocas de vidro, equilibrando redução de densidade e boas propriedades mecânicas, visando a aplicação em componentes automotivos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Poliamida 6

As poliamidas (PA), ou náilon (do inglês *nylon*), têm se mostrado como alternativa para a substituição de metais em algumas aplicações (aços e alumínio, principalmente), tais como coletores de admissão de gases e tampa de válvulas para motores de veículos. Essa substituição, além de resultar em diminuição significativa de peso, dispensa trabalhos adicionais inerentes ao processamento de materiais metálicos, como a rebarbação (usinagem), resultando em maior produtividade (WIEBECK; HARADA, 2005, p.81).

As resinas de poliamida apresentam uma série de propriedades que as enquadram como plástico de engenharia, tais como: resistência ao tempo, baixo coeficiente de atrito, alta temperatura de fusão, boa resistência ao impacto, alta resistência à fadiga, entre outras (WIEBECK; HARADA, 2005, p.81). A tabela 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens em relação à aplicação das poliamidas.

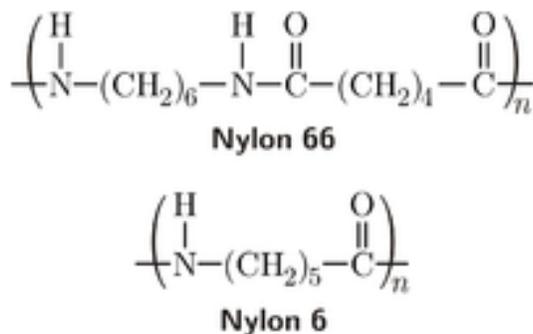
**Tabela 1 - Tabela comparativa das vantagens e desvantagens da poliamida.**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Limite na temperatura de trabalho	Baixa resistência à ácidos inorgânicos
São mais leves	(nitríco, clorídrico, sulfúrico, etc.)
Alta resistência à fadiga	Baixa resistência à álcoois aromáticos
Boa resistência ao impacto	(álcool benzílico, fenóis, cresóis, etc.)
Alta temperatura de fusão	
Baixo coeficiente de atrito	
Resistência a intempéries	
Ótimas propriedades mecânicas	
São recicláveis	

Fonte: WIEBECK; HARADA, 2005, p.81.

Segundo Wiebeck e Harada (2005), dentre as poliamidas, os tipos PA 6,6 e PA 6 abrangem a maior parte da produção das poliamidas e, dentre os outros polímeros, as poliamidas são utilizadas em 12% da produção mundial. Considerando-se o setor automotivo, as poliamidas estão presentes em uma série de componentes, tais como: maçaneta, espelho retrovisor, puxador interno (de porta), coletor de ar, tampa do bocal de combustível, entre outros. As estruturas do PA 6 e do PA 6,6 são apresentadas na figura 1.

**Figura 1 - Estrutura do náilon 66 e náilon 6.**



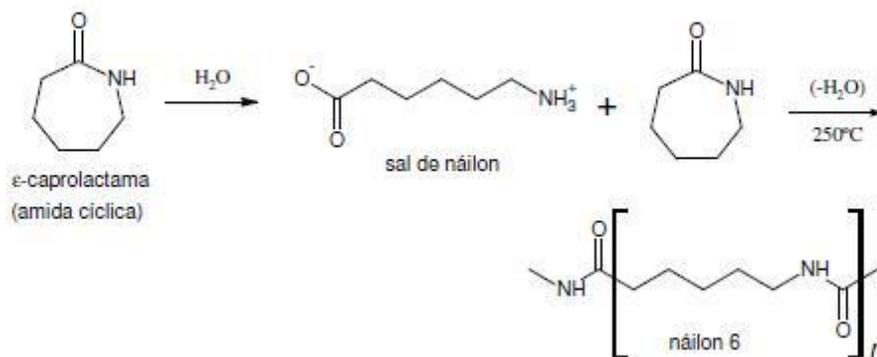
Fonte: HERMES, 1996.

A descoberta da poliamida está vinculada à necessidade, no século XX (década de 30), de encontrar uma alternativa para a seda, um tipo de fibra de origem natural. Após as pesquisas com os poliésteres, a equipe de Carothers (jovem químico orgânico da Universidade de Harvard) dedicou-se às pesquisas com a poliamida e, dentre os mais de cem tipos de poliamidas sintetizadas, optou-se pela PA 6,6 para a substituição da seda, (FANTONI, R. F., 2010, p. 4). Ao final do ano de 1930, químicos alemães investigaram possíveis polímeros têxteis. Como resultado, obteve-se à síntese da PA 6.

As poliamidas são polímeros termoplásticos semicristalinos, que se diferenciam entre si pela quantidade de átomos de carbono nas unidades monoméricas originais. O grupo funcional amida (CONH) é característico para todas as poliamidas. Os polímeros derivados de aminoácidos ou lactamas são designados por um único número, enquanto os polímeros preparados pela reação de diaminas e ácidos dibásicos são designados por dois números, onde o primeiro representa a diamina (FERRO, 2003, p. 15-16).

A síntese da PA 6 é realizada por meio da abertura do anel e polimerização da Caprolactama, um composto orgânico que possui seis átomos de carbono em sua composição. A reação ocorre somente com a presença de água, e em temperaturas superiores à 200°C. A figura 2 apresenta as reações que ocorrem durante a polimerização da Caprolactama para a produção do PA 6.

**Figura 2 - Obtenção do PA 6.**



Fonte: FERRO, 2003, p. 15.

### 3.2. Materiais Compósitos de Matriz Polimérica

Os materiais compósitos constituem-se em uma combinação entre dois ou mais materiais, de modo a obter uma única combinação única de propriedades. Desse modo, as propriedades finais do compósito são melhores do que as propriedades individuais de cada componente (MAZUMDAR, 2002, p. 23).

Em um contexto geral, os materiais compósitos podem ser subdivididos em duas classes: naturais e sintéticos (NETO; PARDINI, 2006, p. 3). Ambos são formados pela matriz e pelo reforço. A matriz confere estabilidade estrutural ao compósito, preenchendo os espaços vazios que ficam entre os reforços, mantendo-os em suas posições relativas. Os reforços, por outro lado, elevam as propriedades do compósito como um todo (mecânicas, elétricas, químicas, entre outras) (Science Archive, 2000).

Os materiais compósitos têm sido utilizados para melhorar o desempenho de aplicações tecnológicas há muitos anos. No entanto, somente a partir da década de 60, essa classe de materiais capturou realmente a atenção da indústria, com a introdução de compósitos baseados

em matriz polimérica, aliando à busca por componentes mais leves e de melhor performance (MAZUMDAR, 2002, p. 22).

Segundo Neto e Pardini (2006, p. 55), “a escolha do tipo de matriz a ser utilizada na manufatura do compósito se prende primeiramente à aplicação a que o mesmo se destina e ao processo de obtenção”. As matrizes de compósitos podem ser subdivididas em poliméricas, metálicas e cerâmicas. O foco deste trabalho são as matrizes poliméricas, portanto, estas serão descritas com mais detalhes.

As matrizes plásticas podem ser subdivididas em duas classes: matrizes termoplásticas e matrizes termorrígidas. As matrizes poliméricas termorrígidas, durante a cura, formam uma estrutura molecular tridimensional com ligações cruzadas, sem flexibilidade e não reprocessáveis (MAZUMDAR, 2002, p. 47). Desse modo, os polímeros termorrígidos, em geral, não podem ser fundidos ou moldados mais de uma vez, ou seja, não podem ser reciclados.

As matrizes termoplásticas têm se tornado ótima alternativa para aplicações estruturais, já que apresentam, em geral, maior tenacidade à fratura, maior ductilidade, maior resistência ao impacto e maior tolerância ao desgaste em relação às resinas termofixas (NETO; PARDINI, 2006, p. 35). Como desvantagens, os termoplásticos apresentam menor resistência a solventes e pior resistência à deformação, especialmente em elevadas temperaturas, se comparados aos termorrígidos.

Segundo Neto e Pardini (2006, p. 35), compósitos com matriz termoplástica de poliamidas ou polipropileno são utilizados, há algum tempo, com reforço particulado ou de fibras de vidro curtas na indústria automobilística. Nesse caso, são utilizados processamentos convencionais, extrusão ou injeção, utilizando uma composição definida de reforço/matriz. Ao contrário dos polímeros termorrígidos, os termoplásticos não apresentam ligações cruzadas na estrutura, desse modo, são flexíveis e podem ser reprocessados. Os termoplásticos podem ser amorfos ou semicristalinos, sendo que nos amorfos as moléculas poliméricas estão arranjadas aleatoriamente e nos semicristalinos, a porção cristalina é arranjada de modo ordenado (MAZUMDAR, 2002, p. 51).

Segundo Neto e Pardini (2006, p. 35), “as propriedades dos termoplásticos são influenciadas pelo grau de cristalinidade, pela morfologia e pela orientação da rede polimérica, as quais são diretamente relacionadas às condições de processamento”. A matriz de PA promove boa lubrificação e acabamento superficial. No entanto, devido a sua tendência em absorver

umidade (que afeta a estabilidade dimensional do material) são incorporados reforços, especialmente fibras de vidro e fibras de carbono, que minimizam a absorção de umidade e elevam a resistência mecânica da matriz (NETO, PARDINI; 2006, p. 35).

### 3.2.1. Carga de reforço: Fibra de Vidro

As principais fibras de reforço utilizadas em materiais compósitos de matriz polimérica são as fibras de vidro, fibras de carbono, fibras de aramida e “whiskers”. Os whiskers são pequenas partes de materiais, com diâmetro entre 1-10 $\mu$  e comprimento entre 10-100 $\mu$ , onde as moléculas estão alinhadas na direção de maior resistência. Desse modo, à medida que se adiciona mais comprimento a um “whisker”, obtém-se as fibras (ZURSTRASEEN, 2008, p. 238).

Segundo Rabello e De Paoli (2013, p. 322), as propriedades dos compósitos poliméricos dependem de um conjunto de vários fatores, são eles: a) propriedades dos componentes individuais e composição; b) grau de interação entre as fases; c) dimensão, razão de aspecto e porosidade da carga; d) grau de mistura entre os componentes; e) forma de processamento; f) orientação das cargas; g) e tipo de tratamento superficial aplicado. A tabela 2 apresenta alguns exemplos típicos da variação das propriedades dos polímeros de acordo com o tipo de carga presente.

**Tabela 2 - Propriedades de alguns compósitos poliméricos.**

Tipo de carga	Resistência à tração (N/m <sup>2</sup> )	Módulo elástico (N/m <sup>2</sup> )	Resistência ao impacto (N/m <sup>2</sup> )	HDT (°C)
Poliacetal	63	2700	9	101
Fibra de vidro (30%)	104	7200	7,6	161
Talco (30%)	61	8600	2,6	-
Poliestireno	55	3800	2	86
CaCO <sub>3</sub> (30%)	15	2000	-	-
Talco (40%)	39	5600	-	-
ABS	43	2600	10	83
Mica (50%)	65	14600	-	103

Fonte: Adaptado de RABELLO; DE PAOLI, 2013, p. 323.

De acordo com Ota (2004, p. 8), “o vidro é um ótimo agente de reforço, porque tem uma alta resistência à tração (acima de 3,6 GN/m<sup>2</sup>) e alto módulo de Young (94 GN/m<sup>2</sup>)”. A transformação do vidro fundido em fibra de vidro envolve as seguintes etapas: primeiramente, os minerais moídos (areia, caulim, calcita, colemanita, etc.) são misturados e, em seguida,

introduzidos num forno em temperaturas da ordem de 1400-1500°C. O vidro, após fundido, passa por canais sob a única força da gravidade até as feiras, que permitem transformá-lo em fibra de vidro (ZURSTRASEEN, 2008, p. 242).

Variando-se os componentes minerais moídos do vidro, pode-se obter diferentes tipos de fibras, com composição química específica. As fibras do tipo E (E-glass, electrical glass), C (C-glass, chemical glass) e S (S-glass, strength glass) são as mais utilizadas (ZURSTRASEEN, 2008, p. 242). A tabela 3 apresenta os principais tipos e sua composição.

**Tabela 3 - Composição de fibras de vidro utilizadas na manufatura de compósitos.**

Constituintes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
Vidro E	55,2	14,8	7,3	3,3	18,7	-
Vidro C	65	4	5	3	14	8,5
Vidro S	65	25	-	10	-	-

Fonte: NETO; PARDINI, 2006, p. 61.

De acordo com Neto e Pardini (2006, p. 63), “as fibras de vidro têm condutividade térmica equivalente a 1,3 W/m.K e calor específico de 850 J/kg.K”. A composição das fibras de vidro varia, consideravelmente, as propriedades obtidas.

As fibras de vidro S-glass apresentam dificuldade de serem estiradas, devido à estreita temperatura para formação do filamento, portanto, apresentam maior custo (NETO; PARDINI, 2006, p. 63). No entanto, apresentam em sua formulação maior proporção de alumínio e sílica, o que representa um incremento de 20% nas propriedades mecânicas quando comparados ao tipo E-glass. Além disso, outro benefício é que as fibras do tipo S apresentam metade do diâmetro em relação às fibras do tipo E, resultando em área superficial duas vezes maior. Desse modo, o tipo S permite que a resina tenha maior aderência à fibra, proporcionando maior resistência ao compósito final.

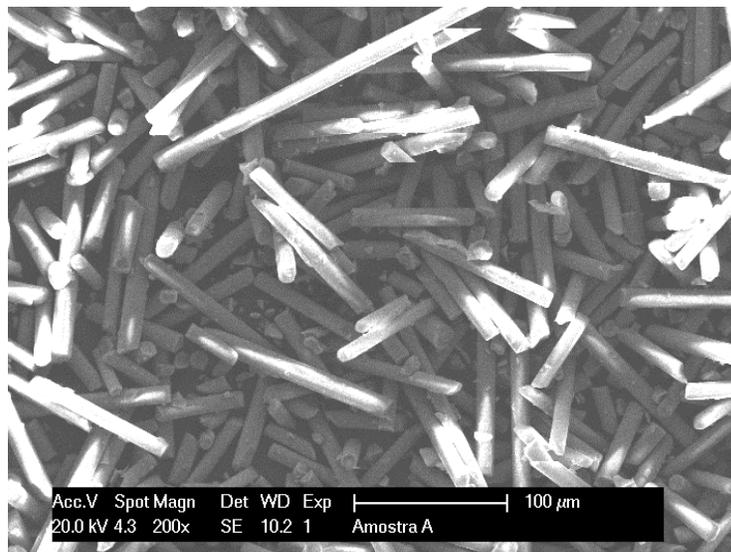
Segundo Neto e Pardini (2006, p. 63), as fibras do tipo E apresentam comportamento satisfatório em ambientes neutros, mas tornam-se susceptíveis à degradação em ambientes ácidos e alcalinos. Nesses tipos de caso, recorre-se à fibra do tipo C, que são utilizadas como barreira química em equipamentos e reservatórios químicos.

O comportamento das fibras de vidro em um compósito também é afetado pelo seu comprimento, e estas podem ser longas ou curtas. De uma maneira geral, aumentando-se o comprimento das fibras, aumenta-se significativamente as propriedades mecânicas do compósito, tais como resistência ao impacto, resistência à temperatura, acabamento superficial e estabilidade dimensional. Considerando-se a poliamida reforçada com fibras de vidro, as fibras curtas possuem comprimento médio de 4,5 mm antes do processamento e as fibras longas possuem comprimento médio de 6 mm. Além disso, de acordo com Rabello e De Paoli (2013, p. 343), a tensão de tração máxima suportada pela fibra depende do comprimento crítico  $L_c$ . Desse modo, tem-se a seguinte situação:

- Se  $L < L_c$ : a transferência de tensões da matriz para a fibra é limitada a valores muito baixos e, desse modo, o material apresenta resistência mecânica inferior.
- Se  $L = L_c$ : o comprimento da fibra é igual ao seu comprimento crítico.
- Se  $L > L_c$ : a transferência de tensões da matriz para a fibra é bastante significativa, elevando a resistência do material.

A figura 3 apresenta uma imagem de fibras de vidro, vistas em um microscópio eletrônico de varredura.

**Figura 3 - Fibras de vidro (MEV).**



Fonte: próprio autor.

Sabe-se que o procedimento de incorporação da fibra de vidro, durante o processo de extrusão, reduz o seu comprimento de 4,0 mm (comprimento padrão de comercialização) para comprimento inferior a 1,0 mm (ZURSTRASEEN, 2008, p. 261). Estudos comparativos em compósitos de polipropileno (PP) reforçados com 20% de fibra de vidro e 30% de fibra de vidro, desenvolvidos por Ota (2004, p. 46), mostraram que, após o processamento em extrusora, há redução em 62% no comprimento das fibras para o primeiro compósito, e 74% para o segundo. Além disso, observou-se a diminuição em 45% do comprimento médio das fibras de vidro após o processo de injeção para a fabricação dos componentes moldados.

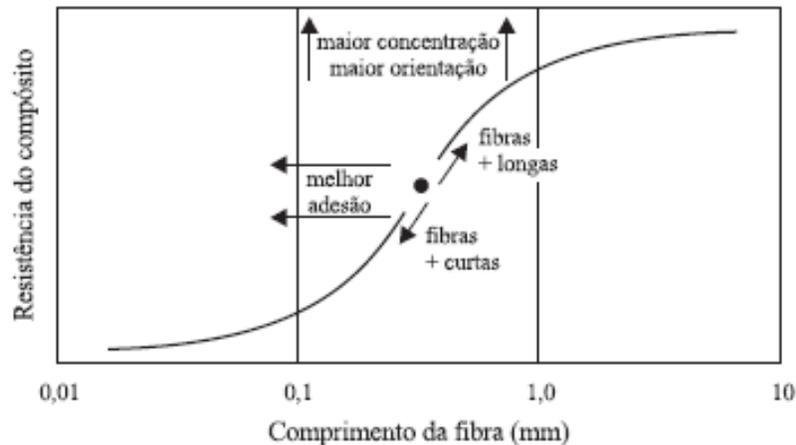
A redução de comprimento observada nas fibras após o processamento, justifica-se por sua fragilidade. Os contatos fibra-fibra e fibra-equipamento durante o processo, que envolve elevadas taxas de cisalhamento, resultam na quebra das fibras em seus pontos mais frágeis (OTA, 2004, p. 46). Nesse contexto, quanto maior a concentração de fibras no compósito, menor o comprimento resultante após o processamento, já que há maior interação fibra-fibra.

Nas últimas décadas, uma série de estudos concentrou-se em desenvolver compósitos com fibras longas (Long Fiber Thermoplastics – LFTP) com polímeros de engenharia, como a PA. Tais compósitos alcançam resistência mecânica superior à 240 MPa e módulo aproximado de 20 GPa (ZURSTRASEEN, 2008, p. 261).

As fibras de vidro curtas do tipo E-glass são, normalmente, utilizadas como reforço em termoplásticos, devido ao seu baixo custo e comportamento satisfatório, resultando em melhor

performance dos materiais em propriedades, tais como resistência ao impacto e rigidez (OTA, 2004, p. 7). Os principais parâmetros que variam em função do comprimento das fibras para compósitos de matriz termoplástica com fibras de vidro são apresentados na figura 4.

**Figura 4 - Principais fatores que afetam a resistência mecânica dos compósitos de termoplásticos reforçados com fibras de vidro curtas.**



Fonte: LOPES; SOUZA, 1999, p. 86.

Na figura 4, a resistência mecânica do compósito varia ao longo da curva em formato de S, assumindo maior ou menor valor em função do comprimento da fibra de vidro. Nota-se que o aumento da concentração e da orientação da fibra de vidro desloca a curva verticalmente para cima, e o aumento da adesão da interface fibra-polímero resulta em deslocamento horizontal da curva S.

As fibras, como as fibras de vidro, e algumas cargas inorgânicas possuem elevada razão de aspecto (20-50) e área superficial, e tendem a alinhar-se preferencialmente na direção do fluxo. Além disso, esses reforços também levam à orientação das moléculas poliméricas durante processamentos com alta taxa de cisalhamento, como é o caso da moldagem por injeção. Desse modo, são muito eficientes para reforçar compósitos, aumentando, por exemplo, o módulo e a resistência desses materiais (YALCIN et al., 2013, p.1). A orientação das fibras depende, também, das exigências de cada projeto. Assim, se o componente estiver sujeito a grandes esforços em uma certa direção, a moldagem será feita de modo a alinhar as fibras nessa direção (WIEBECK; HARADA, 2005, p. 206).

Sabe-se, também, que alguns polímeros termoplásticos, como o PA, são sensíveis ao diâmetro dos filamentos da fibra de vidro, influenciando diretamente na sua resistência ao impacto e à tração. Observa-se que para o PA 6,6, considerando-se compósitos com teores de 15%, 30% e 50% de fibra de vidro, o aumento do diâmetro do filamento resulta em diminuição na resistência à tração (ensaio padrão ISO 3268). Além disso, nota-se também que quanto maior o teor de fibra de vidro no polímero, maiores os valores de resistência à tração (ZURSTRASEEN, 2008, p. 262).

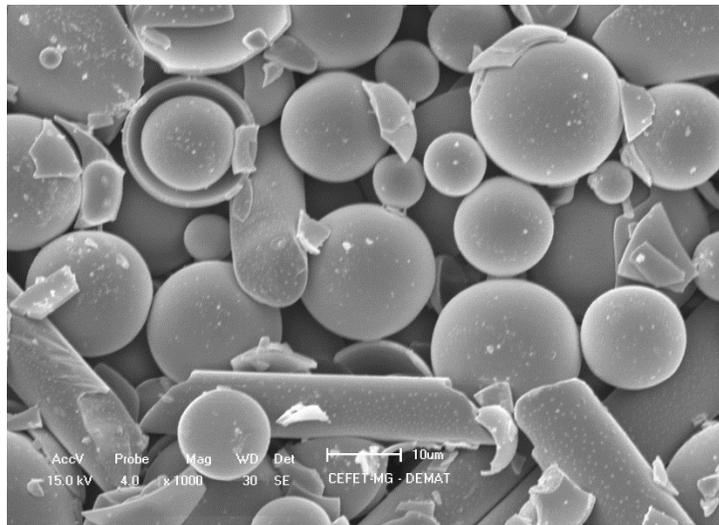
Quanto ao ensaio de resistência ao impacto (Charpy sem entalhe, ISO 179/1d), também se observa a diminuição da tenacidade com o aumento do diâmetro do filamento. Entretanto, nesse caso, o compósito que apresenta maior resistência ao impacto é o que possui 15% de fibra de vidro. Atualmente, é definido para a PA reforçada com fibra de vidro um padrão de diâmetro de 10  $\mu$  para os filamentos (ZURSTRASEEN, 2008, p. 262).

### 3.2.2. Carga para redução de densidade: Microesfera Oca de Vidro

As microesferas ocas de vidro são partículas esféricas de vidro de paredes finas (0,5-2  $\mu$ m), com diâmetro entre 10-200  $\mu$ m. Apresentam a seguinte combinação de propriedades: formato esférico, tamanho controlado, baixa densidade, alta resistência à compressão uniforme, boas propriedades térmicas, isolamento acústico e boas propriedades dielétricas (SCIENCE IN GLASS PRODUCTION, 1994, p. 230).

Quanto à estabilidade térmica, as microesferas ocas de vidro apresentam mudanças de propriedades acima de 600°C, variando de acordo com o tempo e a temperatura de exposição. A absorção de óleo das microesferas varia entre 0,2 – 0,6 g de óleo/cm<sup>3</sup>, e a sua condutividade térmica aumenta com o aumento da temperatura e da densidade da carga. A constante dielétrica dependerá da composição e do volume das microesferas e, com relação à aparência, as microesferas ocas de vidro são brancas a olho nu (SILVA, 2013, p. 48). A figura 5 apresenta uma imagem de microesferas ocas de vidro obtida por microscópio eletrônico de varredura (MEV).

**Figura 5 - Microesferas ocas de vidro (MEV).**



Fonte: próprio autor.

As microesferas ocas de vidro podem ser utilizadas para modificar as propriedades de compostos poliméricos e/ou para melhorar as suas condições de processamento; a diminuição da contração e da viscosidade de compósitos poliméricos garante maior estabilidade dimensional aos componentes moldados e diminui o desgaste dos equipamentos durante a moldagem. Ao misturar resinas poliméricas em elevadas concentrações com microesferas ocas, forma-se um material muito leve, conhecido como espuma sintática (BARBOZA; DE PAOLI, 2002, p. 132). A tabela 4 apresenta a densidade das microesferas ocas de vidro e de outros tipos comuns de cargas.

**Tabela 4: Densidade de alguns tipos comuns de cargas e resinas.**

Carga	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Microesferas Ocas de Vidro	0,1 – 0,4
Esferas de Vidro	2,5
Carbonato de Cálcio	2,7
Talco	2,6
Fibra de vidro	2,5

Fonte: Adaptado de BARBOZA; DE PAOLI, 2002, p. 131.

As principais áreas de aplicação das microesferas ocas de vidro são: cargas em pinturas e vernizes; fabricação de compósitos poliméricos, por exemplo, para o setor automobilístico; compostos de enchimento em tecnologias de defeitos superficiais; fabricação de compósitos

poliméricos com propriedades especiais para as engenharias eletrônica e elétrica; fabricação de materiais abrasivos, entre outras.

A composição química do vidro para a microesfera é determinada de acordo com o seu método de fabricação e as condições subsequentes de processamento. Além disso, deve-se levar em conta as propriedades desejadas para o componente em que será adicionado (SCIENCE IN GLASS PRODUCTION, 1994, p. 230).

Os métodos de fabricação das microesferas ocas de vidro podem ser enquadrados em dois tipos principais (Science in Glass Production, 1994, p. 234):

1. Método sol-gel: fabricação de uma solução aquosa de silicato básico, contendo reagentes adicionais (ácido bórico, ureia, etc.). Em seguida, ocorre a secagem da solução em um secador por pulverização (método spray dryer), a fabricação de pós com composição química definida e a moldagem da microesfera proveniente desse pó. A etapa final consiste em tratar quimicamente, em solução ácida, a microesfera moldada (remover o excesso de componentes básicos), limpeza em água e secagem do material tratado.

Trata-se do primeiro método utilizado (no final da década de 1950). Dessa forma, foram desenvolvidas melhorias para aumentar a eficiência e a produtividade dos equipamentos ao longo dos anos.

2. As microesferas ocas de vidro são fabricadas a partir de pós de vidro previamente sintetizados. Os pós, de composição química e granulometria definidos, são passados através da chama de um gás (queimador de ar), com temperatura entre 1100-1500°C e, então, as partículas sólidas de vidro são convertidas em microesferas ocas.

O método 2 apresenta algumas vantagens em relação ao método 1 (sol-gel), tais como: dispensa tratamentos químicos adicionais à microesfera; propriedades físico-mecânicas superiores da microesfera formada; utilização de equipamento mais compacto e de menor consumo de materiais.

Apesar do custo relativamente elevado das microesferas ocas de vidro em comparação a outras cargas, devido a sua baixa densidade, elas proporcionam novas propriedades à matriz polimérica, assim como redução do consumo de matéria-prima à base de hidrocarbonetos. Alguns componentes da indústria automobilística possuem, em sua composição, a adição de microesfera oca de vidro, tais como: componentes para acabamento interno e externo de veículos,

componentes de vedação, componentes que exigem maior resistência à corrosão, componentes para preenchimento de defeitos superficiais, entre outros.

Nos experimentos de Barboza e De Paoli (2002, p. 136), estudou-se o polipropileno (PP) virgem, o PP com adição de 20% de microesfera oca de vidro (HGB) e o PP com adição de 30% de HGB. Além disso, verificou-se a diferença quanto à redução de densidade para o PP funcionalizado e o PP não-funcionalizado. Notou-se que, sem compatibilizantes, as microesferas não interagiram com o PP, permanecendo “soltas” em seus sítios. Sabe-se que o PP possui natureza apolar, devido às suas cadeias olefínicas. Por outro lado, o compósito funcionalizado apresentou nítido contato do PP com a superfície externa das microesferas, o que resultou em maior diminuição na densidade final do compósito. Nesse trabalho, a funcionalização do PP ocorreu por meio de processamento reativo. Os resultados de densidade dos materiais estudados encontram-se na tabela 5.

**Tabela 5 - Densidade dos materiais em estudo.**

Amostra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Variação (%)
PP virgem	0.92	-
PP processado	0.92	-
PP/ 20% HGB	0.87	- 6,1
PP/ 30% HGB	0.86	- 7,3
PP func./ 20% HGB	0.88	- 4,8

Fonte: BARBOZA; DE PAOLI, 2002, p. 137.

Silva (2013, p. 55), estudou a adição de microesferas ocas de vidro do tipo S38 (3M<sup>TM</sup>) à formulação de cimentos de baixa densidade, de modo a ajustar a densidade de pastas de cimento puro a valores muito baixos. Utilizou-se o cimento *Portland CP II F32*. Testou-se compósitos com 1% e 3% de microesfera oca de vidro. Os principais resultados obtidos foram:

1. Ao adicionar 1,0% de microesfera de vidro ao compósito, obteve-se aumento de 100% no ensaio *Slump*, evidenciando-se o seu caráter redutor de atrito entre os agregados. Desse modo, pode-se estudar a redução do fator água/cimento e de aditivos com a função de fornecer maior fluidez ao concreto. A adição de 3,0% de microesferas ocas

de vidro também apresentou resultados positivos em relação ao ensaio *Slump* – concreto auto adensável (CAA), categoria que apresenta grande fluidez e trabalhabilidade. Concluiu-se que, acima desse percentual, haveria falta de coesão entre as partículas de agregado do concreto, prejudicando o seu desempenho e a sua produtividade.

2. Não houve alteração das características físicas e químicas do concreto. Abre-se caminho, então, para a produção de concretos e argamassas termo acústicas, devido às propriedades termo acústicas das microesferas ocas de vidro.

*a. Adesão e Interface fibra/matriz*

De acordo com Neto e Pardini (2006, p. 147), o termo adesão é “uma manifestação de forças atrativas entre átomos e/ou superfícies”. A natureza da adesão depende dos seguintes fatores: presença de grupos funcionais superficiais na fibra produzidos por algum tipo de tratamento superficial, orientação, arranjo atômico, cristalinidade e propriedades químicas (morfologia) do reforço, conformação molecular e constituição química da matriz; difusividade dos elementos de cada constituinte; arranjo geométrico das fibras (NETO, PARDINI; 2006, p. 147).

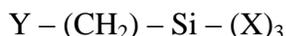
Em materiais compósitos, o sistema reforço/matriz possui energia interfacial específica para cada sistema, e configura-se como a manifestação direta das forças intermoleculares. Os parâmetros mais utilizados para medir alterações superficiais são: ângulo de contato; força de adesão; estimativas da energia livre do sistema (NETO, PARDINI; 2006, p. 148). De acordo com Neto e Pardini (2006, p. 160), as forças de atração entre interfaces podem ser classificadas em dispersivas e polares. “A componente polar resulta de dipolos elétricos associados com pares de átomos específicos ou grupos funcionais na superfície do material. A componente dispersiva resulta de átomos fracamente ligados”.

Além disso, para que o sistema tenha uma boa molhabilidade, a componente polar deve apresentar maior magnitude de energia livre superficial total. Desse modo, tratamentos superficiais devem atuar na componente polar (NETO, PARDINI; 2006, p. 163).

Considerando a abordagem mecânica da interface fibra/matriz, os principais fatores que afetam as propriedades mecânicas e os mecanismos de falhas em compósitos reforçados por fibras são os seguintes: propriedades do reforço e da matriz; fração volumétrica de reforço

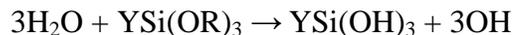
(fibras); orientação e comprimento do reforço; e propriedades da interface reforço/matriz (NETO, PARDINI; 2006, p. 165).

Para as fibras de vidro, a adesão a matrizes poliméricas pode ser promovida por meio de promotores de adesão do tipo organossilano. Sua estrutura possui grupos de afinidade orgânica e inorgânica, formando uma ligação estável entre materiais orgânicos e inorgânicos (NETO, PARDINI; 2006, p. 63). Sua estrutura genérica é representada por:



em que X são grupos com afinidade inorgânica, e Y são grupos com afinidade orgânica.

Segundo Neto e Pardini (2006, p. 63-64), o grupo X pode ser [-O-CH<sub>3</sub>] (metóxi) ou [-OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>] (etóxi), que podem ser convertidos em grupo silanol [-SiOH] por meio de hidrólise e se condensam formando ligações covalentes com grupos óxidos presentes no vidro.



O grupo Y é um grupo orgânico reativo do tipo amina, epóxi, metacrilato e estireno, que reage com o polímero que irá aderir ao substrato (NETO, PARDINI; 2006, p. 64).

Por sua vez, as propriedades da interface reforço/matriz são influenciadas por: resistência ao cisalhamento interfacial ( $\tau_i$ ); tenacidade à fratura interfacial ( $G_i$ ); contração da matriz; coeficiente interfacial de fricção (NETO, PARDINI; 2006, p. 165). Desse modo, de acordo com Neto e Pardini (2006, p. 165), “é desejável que a interface reforço/matriz apresente um alto valor de  $\tau_i$  para que se processe uma efetiva transferência de tensões da matriz para o reforço, quando o compósito é solicitado.” O valor de  $\tau_i$  é determinado por meio de testes mecânicos e esse também irá afetar o valor de  $G_i$ . De modo geral, o teste é realizado posicionando-se um filamento de reforço no corpo-de-prova, e envolvendo-o pela matriz com a qual se deseja medir a resistência interfacial (NETO, PARDINI; 2006, p. 165).

*b. Previsão de Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos*

A incorporação de cargas em polímeros tem como objetivo melhorar o comportamento físico, mecânico e térmico destes materiais. Além disso, o reforço contribui para modificações na aparência superficial, nas características de processamento do compósito e na redução de custos do componente final. Considerando-se a adição de fibras, estas são usadas para melhorar a rigidez, a resistência mecânica e o desempenho em temperaturas elevadas da matriz. As fibras de vidro, mais amplamente utilizadas, apresentam como principais vantagens o baixo coeficiente de expansão térmica, a facilidade de processamento e o baixo custo. No entanto, devido a sua facilidade de quebra durante o processamento, tais fibras podem causar um efeito abrasivo nos equipamentos utilizados (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994, p. 26).

Sabe-se que em compósitos com fibras longas e arrançadas uniaxialmente, a previsão de propriedades mecânicas é facilitada em relação aos compósitos reforçados com fibras curtas, já que estas apresentam distribuição complexa de tamanhos e orientação – resultante do processamento do compósito (RABELLO; DE PAOLLI, 2013, p. 341). Considerando-se o módulo de elasticidade e a resistência à tração, e um sistema constituído por duas fases (fibra e matriz), a carga suportada pelo compósito ( $F_c$ ) respeitará a equação 1.

$$F_c = F_m + F_f \text{ (Equação 1)}$$

em que m corresponde à matriz e f corresponde à fibra.

Como  $F = \sigma \times A$ , tem-se a equação 2:

$$F_c = (\sigma_m \times A_m) + (\sigma_f \times A_f) \text{ (Equação 2)}$$

em que A corresponde à área da matriz ( $A_m$ ) e da fibra ( $A_f$ ), respectivamente,  $\sigma_m$  é a tensão na matriz correspondente à deformação na ruptura do material e  $\sigma_f$  é a resistência média da fibra no compósito.

A equação 3 apresenta a resistência à tração do compósito ( $\sigma_c$ ):

$$\sigma_c = [\sigma_m \times (A_m/A_c)] + [\sigma_f \times (A_f/A_c)] \quad (\text{Equação 3})$$

Considerando-se  $A_m/A_c = V_m/V_c = \text{fração em volume } (\phi)$ , chega-se à expressão da regra das misturas (equação 4):

$$\sigma_c = (\sigma_m \times \phi_m) + (\sigma_f \times \phi_f) \quad (\text{Equação 4})$$

Do mesmo modo, como  $\epsilon_m = \epsilon_f = \epsilon_c$ , a regra das misturas para o módulo de elasticidade é dada pela equação 5:

$$E_c = (E_m \times \phi_m) + (E_f \times \phi_f) \quad (\text{Equação 5})$$

Sabe-se que, normalmente, o módulo de elasticidade da fibra é superior ao módulo de elasticidade da matriz, desse modo, a maior parte da carga será suportada pelo reforço e a fratura do material ocorrerá somente após a ruptura das fibras (RABELLO; DE PAOLLI, 2013, p. 342).

Considerando-se que o processamento dos compósitos termoplásticos de fibra curta conduz à degradação mecânica das fibras, estas apresentam uma grande variação de razões de forma, de modo que o módulo de elasticidade e a resistência à tração devem ser calculados de acordo com equações específicas (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994, p. 27). Para o cálculo do módulo de elasticidade, tem-se a equação 6:

$$E = E_m \times \frac{[1 + (2x + 1) \times (E_f/E_m - 1) \times \phi_f]}{\left\{ \left( \frac{E_f}{E_m} + 2x \right) - [E_f/(E_m - 1) \phi_f] \right\}} \quad (\text{Equação 6})$$

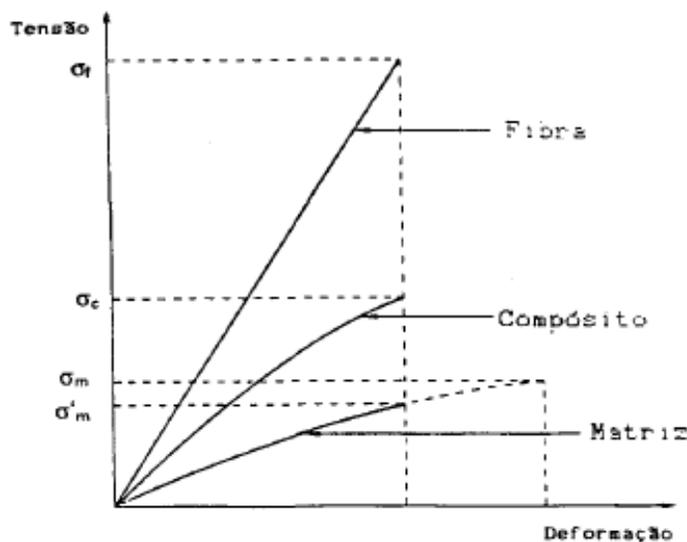
em que  $x = \frac{l}{d}$ , em que  $l$  e  $d$  correspondem ao comprimento e diâmetro da fibra, respectivamente.

Para o cálculo da resistência à tração, a lei das misturas permanece válida, de modo que  $\sigma$  deve ser calculada da seguinte forma (equação 7):

$$\sigma = (\sigma_f \times \phi_f) + [\sigma'_m \times (1 - \phi_f)] \quad (\text{Equação 7})$$

A figura 6 apresenta o comportamento tensão *versus* deformação para a fibra, a matriz e o compósito. É importante considerar que, para cada tipo de fibra, existem diferentes *grades* comerciais, que variam de acordo com o processo de fabricação, a composição química e o teor de contaminantes. Além disso, sabe-se que a incorporação de fibras em um teor acima de 40% fibras tende a diminuir o grau de reforço, devido a sua maior ruptura sob processamento (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994, p. 26).

Figura 6 - Curvas tensão vs. deformação da fibra, da matriz e do compósito.



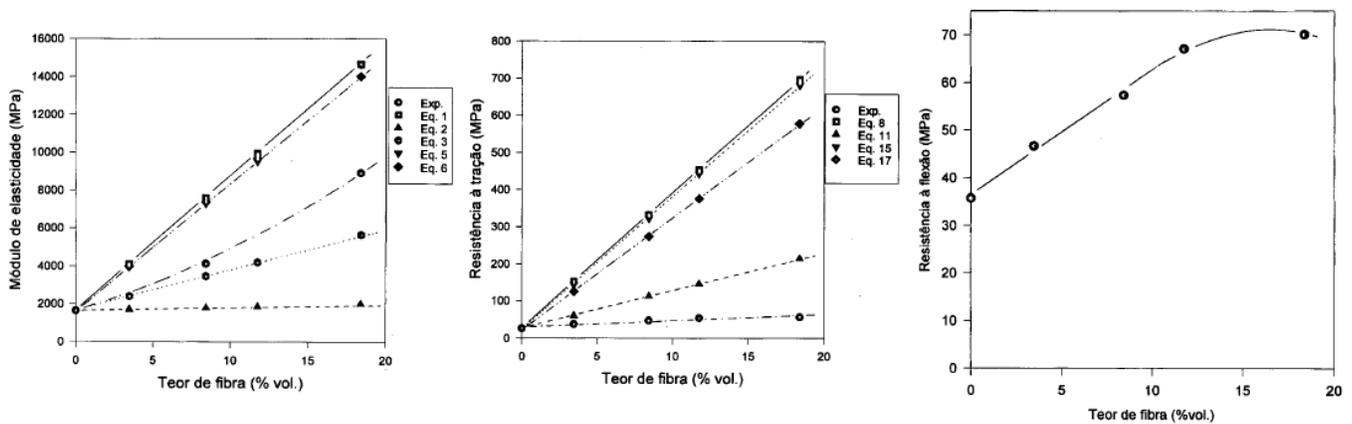
Fonte: FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994, p. 27.

De acordo com Rabello e De Paoli (2013, p. 343), nos compósitos reforçados com fibras descontínuas, as propriedades do produto final são dependentes do comprimento das fibras e da interface fibra-matriz, discutida anteriormente. Nesse caso, normalmente, a fratura do material ocorre não pela ruptura das fibras, mas pela quebra da interface. As tensões recebidas pela matriz são transferidas para as fibras a partir de suas extremidades, que são pontos mais frágeis em relação ao centro e, portanto, suportam menor tensão. A partir deste raciocínio, conclui-se que, quanto menor o tamanho das fibras, maior o número de extremidades, considerando-se uma mesma concentração e diâmetro, o que resulta em propriedades mecânicas inferiores.

Um estudo realizado por Freire, Monteiro e Cyrino (1994, p. 29-31) avaliou as propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. Utilizou-se PP tipo pellet e fibra tipo curta (comprimento inicial igual a 4,5 mm), e as amostras passaram pelo

processo de extrusão e de injeção. Com relação aos resultados, observou-se que o aumento de teor de fibra (% volume) no compósito, resultou no aumento do módulo de elasticidade (inicialmente abaixo de 2000 MPa) e da resistência à tração (inicialmente menor que 100 MPa). A resistência à flexão das amostras também aumentou com o aumento do teor de fibra (% volume) até um valor de 12% e, a partir desse valor, ela se manteve. A figura 7 apresenta os resultados obtidos graficamente.

**Figura 7 - Módulo de elasticidade, resistência à tração e resistência à flexão, respectivamente, dos compósitos de polipropileno reforçados com fibra de vidro.**



Fonte: FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994, p. 30-31.

### *c. Materiais Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados com Fibra de Vidro e Microesfera de Vidro*

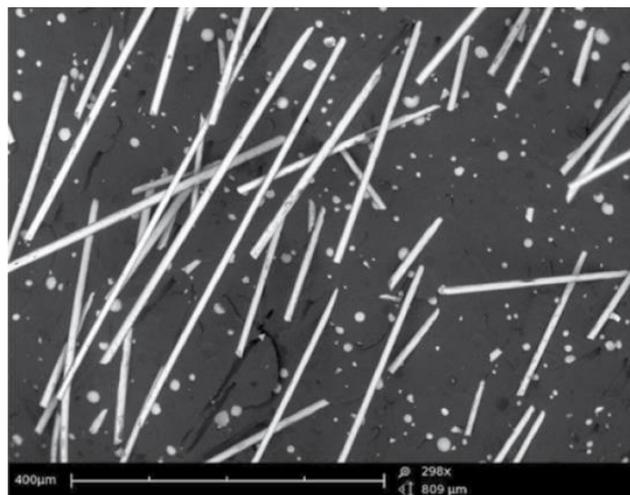
As microesferas ocas de vidro, devido ao formato esférico e à razão de aspecto igual a 1, podem ser incorporadas aos polímeros em elevada carga volumétrica sem resultar no aumento da viscosidade do compósito, que poderia prejudicar processamentos posteriores e operações de moldagem. No entanto, considerando-se características de reforço, cargas com elevada anisotropia volumétrica são mais eficientes em relação às microesferas. Isso ocorre porque as fibras (por exemplo, fibras de vidro) e algumas cargas minerais possuem elevada razão de aspecto (20-50) e área superficial, e tendem a alinhar-se preferencialmente na direção do fluxo. Além disso, também proporcionam a orientação das moléculas poliméricas durante processos que envolvem elevadas taxas de cisalhamento, como a moldagem por injeção.

Por outro lado, a orientação preferencial na direção do fluxo de corpos anisotrópicos configura-se como um desafio para a estabilidade dimensional do compósito, podendo levar ao seu empenamento. Nesse contexto, as microesferas ocas de vidro, quando utilizadas com cargas de reforço na formulação adequada, podem resultar em excelente redução de peso, desempenho, processamento e estabilidade dimensional. A densidade final do compósito dependerá da quantidade de carga de reforço e de microesfera utilizada, além da finalidade de aplicação.

O reforço pode ser feito com fibras de qualquer material, como carbono, aramida e vidro. No entanto, as fibras de vidro são preferidas e sua combinação com microesferas ocas de vidro apresenta-se como excelente solução para reforçar matrizes termoplásticas, mantendo boa estabilidade dimensional. Recomenda-se comprimento mínimo de 0,3 mm para que essas fibras apresentem boas propriedades de reforço.

É importante ressaltar que, no estudo de um compósito híbrido, reforçado com fibra de vidro e microesfera oca de vidro, em relação a um compósito reforçado apenas com fibra de vidro, a porcentagem de fibra de vidro não deve ser substancialmente reduzida, já que elas conferem boas propriedades de reforço aos polímeros, tais como melhor resistência à tração, à flexão e ao impacto. A figura 8 apresenta uma imagem de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de um compósito de polipropileno (PP) reforçado com 19% de fibra de vidro e 10% de microesfera oca de vidro.

**Figura 8 - Imagem do MEV de um compósito híbrido de PP reforçado com fibra de vidro e microesferas ocas de vidro.**



Fonte: YALCIN et. al., 2013, p. 3.

Segundo Wilson e Eckstein (1991), durante o processamento do compósito de PA 6 com microesfera oca de vidro e fibra de vidro, o contato abrasivo entre as microesferas de vidro (sólidas e ocas) e as fibras de vidro, sob elevada taxa de cisalhamento, pode levar à fratura das microesferas. Microesferas ocas de vidro fraturadas são indesejáveis, pois ocasionam o aumento da densidade do compósito final, anulando o principal objetivo de sua utilização. Além disso, podem resultar na diminuição do comprimento das fibras de vidro, tornando-as menos efetivas como carga de reforço.

Sendo assim, descobriu-se que a fratura das microesferas ocas de vidro poderia ser minimizada se estas fossem dispersas em uma resina termoplástica (masterbatch) antes do processamento. O masterbatch cobre as microesferas de vidro, protegendo-as da ação mecânica inerente ao processamento e do contato abrasivo com as fibras de vidro, mantendo a baixa massa específica do compósito final, mesmo em processamentos posteriores que envolvam elevado cisalhamento. Utiliza-se a extrusão para o processamento desse compósito e a extrusora pode ser do tipo mono rosca ou dupla rosca.

Em alguns casos, cargas inorgânicas, tais como talco e carbonato de cálcio, podem ser adicionadas à resina durante a fusão do composto. A quantidade adicionada dependerá do preço e das propriedades mecânicas desejadas para o compósito. Para esse tipo de compósito, geralmente, adiciona-se até 15% dessas cargas (WILSON; ECKSTEIN, 1991).

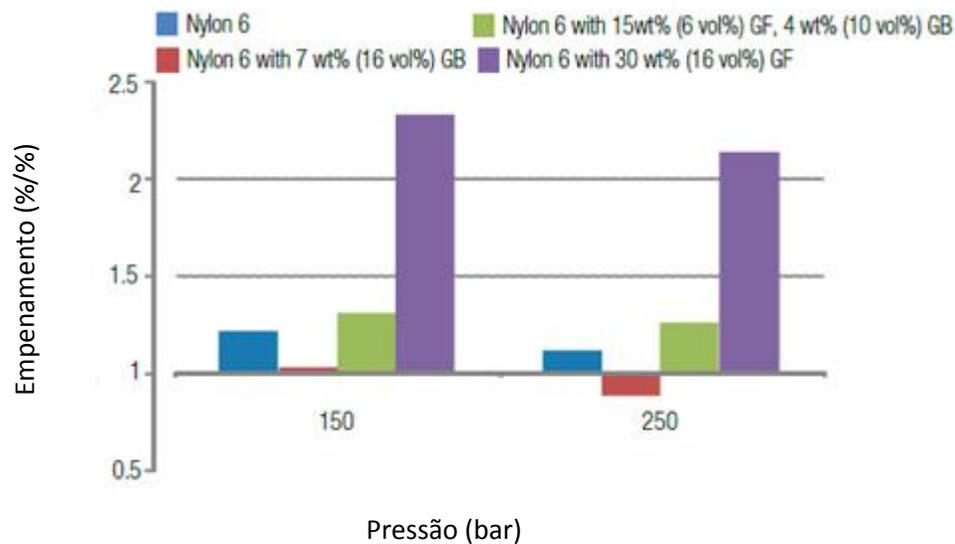
Em estudos realizados por Yalcin et. al. (2013) em resinas de PP homopolímero e PA 6,6 reforçadas com fibra de vidro e com microesferas ocas de vidro do tipo iM16K (3M™), comprovou-se que a adição das microesferas resultou na diminuição da massa específica final do compósito. Para o PP de elevada cristalinidade (HC-PP), a formulação inicial, 78% HC-PP + 22% GF, apresentou densidade igual a 1,046 g/cm<sup>3</sup>. Após a adição da microesfera e de compatibilizantes PP anidrido maleico (MAPP), que aumentam a adesão entre o vidro polar e o substrato apolar de PP, a nova formulação com 68,36% HC-PP + 19% GF + 10% HGB + 2,64% MAPP, apresentou densidade igual a 0,927 g/cm<sup>3</sup>, redução de, aproximadamente, 11,4% em relação ao compósito anterior.

Com relação ao PA 6,6, a formulação inicial (70% PA6,6 + 30% GF) apresentou densidade igual a 1,370 g/cm<sup>3</sup>. Após a adição de 5% de microesfera (65% PA6,6 + 30% GF + 5%

HGB), obteve-se densidade igual a 1,253 g/cm<sup>3</sup>. Em uma nova formulação, após a adição de 10% de microesfera (60% PA6,6 + 30% GF + 10% HGB), obteve-se densidade igual a 1,152 g/cm<sup>3</sup>.

Outro benefício abordado neste estudo é a capacidade das microesferas ocas de vidro de reduzir o tempo de ciclo de moldagem por injeção. Isso ocorre devido ao baixo calor específico do vidro (~750 J/kg.K) em relação à maioria dos termoplásticos (1500-3500 J/kg.K), fazendo com que os componentes resfriem mais rapidamente no molde, fator importante para a redução dos custos de manufatura e o aumento da produtividade dessas peças. Além disso, as microesferas reduzem a taxa de contração e empenamento durante a moldagem por injeção, e proporcionam resfriamento mais homogêneo ao material, prevenindo a contração diferencial. A figura 9 evidencia que o compósito de PA 6 com microesfera oca de vidro (na figura, utiliza-se a sigla GB) apresentou a menor contração diferencial durante a moldagem, seguido do compósito híbrido de PA 6, fibra de vidro e microesfera oca de vidro.

**Figura 9 - Contração diferencial no molde de injeção.**



Fonte: YALCIN et. al., 2013, p. 4.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

Os seguintes materiais foram utilizados para a produção do compósito híbrido PA6/fibra de vidro/microesfera oca de vidro\*:

- PA 6, fornecida pela empresa LANXESS, com densidade de  $1,14 \text{ g/cm}^3$ ;
- Fibra de vidro, fornecida pela empresa LANXESS, com comprimento médio entre 3-4,5 mm, densidade igual a  $2,45 \text{ g/cm}^3$ , compatibilizadas com organossilano;
- Microesferas ocas de vidro do tipo S42XHS (3M<sup>TM</sup>), fornecida pela empresa 3M, com densidade igual a  $0,42 \text{ g/cm}^3$ .

### 4.2. Metodologia

#### 4.2.1. Escolha das Formulações

Para a escolha das formulações do compósito de PA 6 reforçado com fibra de vidro e microesfera oca de vidro, considerou-se o compósito PA 6 reforçado com 30% de fibra de vidro como compósito base para a análise comparativa. Na Fiat Chrysler Automobiles (FCA), o material é utilizado em uma série de componentes, tais como: suporte para caixa de marchas, coletores de admissão e maçanetas internas e externas.

Assim, nesse estudo foi estabelecido que a fração mássica de carga (fibra de vidro e microesfera oca de vidro) adicionada a PA 6 deverá somar 30%*m*. A partir desses dados, considerou-se a densidade original de cada componente do compósito em estudo e a densidade do compósito base, igual a  $1,36 \text{ g/cm}^3$ . O passo-a-passo utilizado é descrito a seguir:

- 1) Por se tratar de um compósito híbrido, considerou-se a porcentagem de cada carga que seria adicionada a PA 6 ( $\phi_{GF}$  e  $\phi_{HGB}$ ) para calcular a densidade da mistura de cargas, por meio da equação 8:

$$\rho_{\text{cargas}} = (\rho_{GF} \times \phi_{GF}) + (\rho_{HGB} \times \phi_{HGB}) \text{ (Equação 8)}$$

Os valores obtidos encontram-se na tabela 6.

**Tabela 6 - Porcentagem (em massa) de fibra de vidro e microesfera de vidro, variando-se as formulações.**

Formulação	% m GF*	% m HGB*	$\rho_{\text{cargas}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$
1	1,00	0	2,40
2	0,90	0,10	2,20
3	0,83	0,17	2,07
4	0,75	0,25	1,91
5	0,66	0,33	1,74

Fonte: próprio autor.

\*A sigla GF refere-se às fibras de vidro e a sigla HGB refere-se às microesferas ocas de vidro.

- 2) Considerou-se a porcentagem correspondente de fibra de vidro e microesfera oca de vidro no compósito em estudo, reforçado com 30% m de cargas (tabela 7).

**Tabela 7 - Porcentagem de fibra de vidro e microesfera oca de vidro correspondente para o compósito em estudo.**

Formulação	% m GF	% m HGB
1	30,0	0
2	27,0	3,0
3	25,0	5,0
4	22,5	7,5
5	20,0	10,0

Fonte: próprio autor.

- 3) Calculou-se a densidade final do compósito por meio da equação 9, aplicada ao cálculo da massa específica de compósitos híbridos.

$$\rho_{\text{compósito}} = \frac{(\rho_{\text{pol}} \times \rho_{\text{carga}})}{[(\rho_{\text{pol}} \times \phi_{\text{carga}}) + (\rho_{\text{carga}} \times \phi_{\text{pol}})]} \text{ (Equação 9)}$$

$\rho_{\text{pol}}$  representa a densidade da PA 6; a  $\phi_{\text{carga}}$  corresponde à porcentagem de cargas no compósito, igual a 30% m, e a  $\phi_{\text{pol}}$  corresponde à porcentagem de PA 6 no compósito, igual a 70% m. Os valores obtidos encontram-se na tabela 8.

**Tabela 8 - Densidade final do compósito para cada formulação.**

Formulação	Densidade do compósito (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,36
2	1,33
3	1,32
4	1,3
5	1,27

Fonte: próprio autor.

4) Por fim, denominou-se as formulações em estudo, conforme apresenta a tabela 9:

**Tabela 9 - Formulações em estudo.**

Amostra	Formulação	Composição
A	1	70% PA6 + 30% GF
B	2	70% PA 6 + 27% GF + 3% HGB
C	3	70% PA 6 + 25% GF + 5% HGB
D	4	70% PA 6 + 22,5% GF + 7,5% HGB
E	5	70% PA 6 + 20% GF + 10% HGB

Fonte: próprio autor.

Definidas as formulações a serem estudadas, a extrusão e a injeção dos corpos de prova foram realizadas nos laboratórios das empresas 3M<sup>TM</sup> e LANXESS, respectivamente, ambas no estado de São Paulo. Os seguintes materiais foram obtidos:

- 20 corpos de prova de tração ISO 527 para cada formulação;
- 28 corpos de prova de flexão ISO 178 para cada formulação;
- Cerca de 113,40 g de pellets para cada formulação.

#### 4.2.2. Condições de Processamento dos Compósitos

As condições de processamento foram definidas a partir de um estudo prévio, onde decidiu-se, inicialmente, pela extrusão em uma etapa em uma extrusora do tipo dupla-rosca (marca Thermo Scientific), composta por sete zonas de aquecimento e alimentação lateral e, a partir dos resultados obtidos, optou-se por uma nova tentativa de processamento, dessa vez em duas etapas. No processamento em uma etapa observou-se acentuada quebra das microesferas ocas de vidro e baixa homogeneização entre as microesferas e as fibras de vidro. O processamento em duas etapas é descrito, em mais detalhes, a seguir:

- Primeira etapa: PA 6 e fibras de vidro (dosadas no alimentador lateral). Utilizou-se perfil de rosca cisalhante antes e após a zona de mistura.
- Segunda etapa: pellets da primeira etapa e microesfera oca de vidro do tipo S42XHS (dosada no alimentador lateral). Utilizou-se o perfil de rosca cisalhante somente antes da zona da mistura para minimizar a quebra das microesferas ocas de vidro.

A tabela 10 apresenta as temperaturas utilizadas nas zonas de aquecimento da extrusora.

**Tabela 10 - Temperatura das zonas de aquecimento.**

Temperatura (°C)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
	240	245	250	260	250	245	240

Fonte: próprio autor.

A zona 4 corresponde à zona de mistura. Os demais parâmetros utilizados encontram-se na tabela 11.

**Tabela 11 - Demais parâmetros de extrusão.**

Velocidade de rotação da rosca	Torque	Tempo de processamento
200 RPM/min	70 N.m	1,5 kg/h

Fonte: elaborada pela autora.

Após a extrusão, secou-se as amostras para diminuir a umidade do compósito e, a seguir, elas foram injetadas em uma injetora composta por 5 zonas de aquecimento. As tabelas 12 e 13 apresentam os parâmetros utilizados durante a moldagem por injeção do compósito híbrido.

**Tabela 12 - Temperatura das zonas de aquecimento.**

Temperatura (°C)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
		260	270	282	280

Fonte: próprio autor.

**Tabela 13 - Pressão de injeção e de recalque.**

Zona	Pressão de injeção (bar)	Pressão de recalque (bar)
Zona 3	700	25
Zona 4	700	600
Zona 5	700	600

Fonte: próprio autor.

Foi utilizada uma contrapressão de 57 bar e velocidade de avanço de 25 mm/min. Quanto às condições de resfriamento para o processo de injeção, as amostras foram submetidas à temperatura de 80°C por um tempo de 30 segundos.

#### 4.2.3. Caracterização das Amostras

Para a caracterização das amostras, os corpos de prova foram, previamente, colocados em uma estufa, por 24 horas, à temperatura de 95°C. Esse procedimento visa diminuir a umidade dos materiais, que pode prejudicar os resultados encontrados (a PA 6 é um polímero altamente higroscópico).

*a. Caracterização das Cargas*

Para a caracterização das cargas, fibra de vidro e microesfera oca de vidro, do compósito híbrido em estudo, realizou-se um procedimento dividido em 3 etapas: ensaio de calcinação; ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV); medição do diâmetro médio das cargas.

i. Ensaio de calcinação:

Realizou-se o ensaio de calcinação, baseado na norma ISO 3451-1 (método A). Para o processo de calcinação, realizou-se, inicialmente, uma pré-calcinação, da seguinte maneira: aqueceu-se, em uma capela, um cadinho com amostra por vez, em uma chama de gás metano (gás natural), até que essa se extinguisse, restando apenas resíduo branco (que representa a carga inorgânica) e um pouco de resíduo preto (as cinzas que representam a carga orgânica remanescente). A seguir, colocou-se todas as amostras dentro de uma mufla, por cerca de 30 minutos, à 750°C. Após essa etapa, restou-se apenas carga inorgânica nos cadinhos. Para esse ensaio utilizou-se três corpos de prova para cada amostra e, ao final, calculou-se a média aritmética dos valores obtidos e os respectivos desvios padrões.

O ensaio de calcinação mostrou-se importante tanto para o cálculo do diâmetro médio das cargas, quanto para o cálculo da porcentagem de carga inorgânica em cada amostra, tornando-se um método complementar ao ensaio de termogravimetria.

Para o cálculo da porcentagem de carga inorgânica, aplicou-se a equação 10:

$$\% \text{ resíduo} = \frac{(Massa_{\text{calcinação}} - Massa_{\text{cadinho}})}{(Massa_{\text{amostra}})} \times 100 \text{ (Equação 10)}$$

ii. Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV):

Para a caracterização microestrutural das cargas, realizou-se o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um equipamento da marca SHIMADZU modelo SSX-550 superscan. Para tanto, metalizou-se a carga inorgânica com ouro, pela técnica de deposição por sputtering.

iii. Medição do diâmetro das cargas:

Para a obtenção do diâmetro médio das cargas, utilizou-se o *software* Image-Pro Plus (versão 6.0). Para tanto, mediu-se o diâmetro de 100 fibras de vidro e 100 microesferas ocas de vidro, a partir das imagens de MEV obtidas na etapa anterior, e calculou-se a média aritmética para cada carga. Os dados obtidos foram tratados no *software* Origin Pro 8.6.

b. *Caracterização de Densidade:*

Para o cálculo da densidade real dos compósitos híbridos de PA 6, fibra de vidro e microesfera oca de vidro em estudo, realizou-se o ensaio de densidade pelo método de imersão (método A), de acordo com a norma ISO 1183-1, para três corpos de prova de cada amostra em estudo, à temperatura ambiente (em torno de 23°C). Ao final, calculou-se a média aritmética dos valores obtidos e os respectivos desvios padrões. Para tanto, utilizou-se uma balança analítica da marca Sartorius (ano 2006), devidamente calibrada.

Inicialmente, pesou-se um béquer vazio e tarou-se a balança. Em uma segunda etapa, pesou-se todas as amostras utilizadas. A seguir, encheu-se o béquer com, aproximadamente, 500 ml de água, colocou-se uma amostra por vez (pendurada por um fio de cobre) e mediu-se, para cada uma, o peso imerso. Considerou-se a densidade da água, aproximadamente, 1,0 g/cm<sup>3</sup>.

Para o cálculo da densidade das amostras, utilizou-se a equação 11:

$$\rho_{\text{amostra}} = \left[ \frac{(m_{S,A} * \rho_L)}{(m_{S,A} - m_{m_{S,L}})} \right] \text{(Equação 11)}$$

onde  $m_{S,A}$  corresponde à massa aparente da amostra no ar (em gramas);  $\rho_L$  corresponde à densidade do líquido de imersão;  $m_{m_{S,L}}$  corresponde à massa aparente da amostra imersa no líquido.

c. *Caracterização Térmica:*

Para a caracterização térmica das amostras, realizou-se o ensaio de termogravimetria (TGA) e o ensaio de calorimetria diferencial de varredura (DSC).

Para o ensaio de TGA, utilizou-se, aproximadamente, 10 mg de amostra; as amostras foram aquecidas de 50°C até 750°C em atmosfera inerte (nitrogênio), sob a taxa de 20°C/min; em seguida, trocou-se a atmosfera inerte para a atmosfera oxidante (ar sintético) e aqueceu-se até a temperatura de 950°C, sob a taxa de 20°C/min. Para o ensaio de DSC, pesou-se, aproximadamente, 6 mg de amostra para cada formulação; as amostras foram aquecidas da temperatura ambiente até 300°C, sob a taxa de 20°C/min em atmosfera inerte (nitrogênio).

Para o cálculo do grau de cristalinidade da matriz polimérica de PA 6, por meio do ensaio de DSC, utilizou-se a equação 12:

$$\%C = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0 \times (1-W)} \times 100\% \text{ (Equação 12)}$$

em que  $\Delta H_f$  representa o calor de fusão da amostra;  $\Delta H_f^0$  representa o calor de fusão para um polímero 100% cristalino; e W representa o teor de carga inorgânica do material.

Considerou-se  $\Delta H_f^0 = 188 \text{ J/g}$  (BEZERRA et al, p. 384, 2014) para todas as amostras; para W utilizou-se os valores encontrados no ensaio de TGA (seção anterior); e os valores de  $\Delta H_f$  foram encontrados por meio das curvas de DSC.

#### *d. Caracterização da Morfologia:*

Para a caracterização microestrutural das amostras, realizou-se o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Nessa etapa, fez-se a fratura criogênica dos compósitos (com a utilização de nitrogênio líquido) e, a seguir, metalizou-se as amostras com ouro pela técnica de deposição por sputtering. Para o ensaio, utilizou-se um microscópio da marca SHIMADZU modelo SSX-550 superscan.

#### *e. Caracterização Mecânica:*

Para a caracterização mecânica dos compósitos em estudo, realizou-se os seguintes ensaios: ensaio de resistência à tração, de acordo com a norma ISO 527; ensaio de tenacidade (ensaio de resistência ao impacto Izod), segundo a norma ISO 180; e ensaio de resistência à flexão, de acordo com a norma ISO 178. Para todos os testes, utilizou-se cinco corpos de prova

para cada amostra e calculou-se a média aritmética dos valores obtidos e os respectivos desvios padrões.

Para o ensaio de resistência à tração, utilizou-se uma máquina de ensaios universais da marca Instron (ano 2006), modelo 4467, e considerou-se os seguintes parâmetros: teste à temperatura ambiente (em torno de 23°C); velocidade de 50 mm/s; extensômetro de 50 mm Instron; e célula de carga de 30 kN. Para o ensaio de resistência à flexão, utilizou-se o mesmo equipamento, temperatura em torno de 23°C e célula de carga de 30 kN.

Para o ensaio de resistência ao impacto, utilizou-se um equipamento da marca Ceast, de código de modelo 6545/000 e considerou-se os seguintes parâmetros: teste à temperatura ambiente (em torno de 23°C); pêndulo de 2,75 J; pré-carga de 0,011 J.

Para o cálculo da resistência ao impacto, utilizou-se a equação 13, apresentada abaixo:

$$Ri_{amostra} = \left[ \frac{(J \times P_j)}{(S \times 1000)} \right] \text{ (Equação 13)}$$

em que  $J$  representa o trabalho em Joule;  $P_j$  representa a pré-carga (J);  $S$  representa a área do entalhe ( $\text{mm}^2$ ), calculada da seguinte maneira (equação 14):

$$S_{entalhe} = [(L - L_E) \times (e)] \text{ (Equação 14)}$$

em que  $(L - L_E)$  corresponde à largura após o entalhe (em milímetros); e  $e$  corresponde à espessura da amostra.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Escolha das formulações

De acordo com a metodologia descrita em 4.2.1., as seguintes reduções de densidade eram esperadas para as amostras em estudo (tabela 14).

**Tabela 14 - Redução de densidade esperada para as amostras utilizadas.**

Amostra	%m GF	%m HGB	$\rho_{\text{compósito}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$	% Redução
A (70/30)*	30	0	1,36	0
B (70/27/3)	27,0	3,0	1,33	2,0
C (70/25/5)	25,0	5,0	1,32	3,0
D (70/22,7/7,5)	22,5	7,5	1,30	5,0
E (70/20/10)	20,0	10,0	1,27	7,0

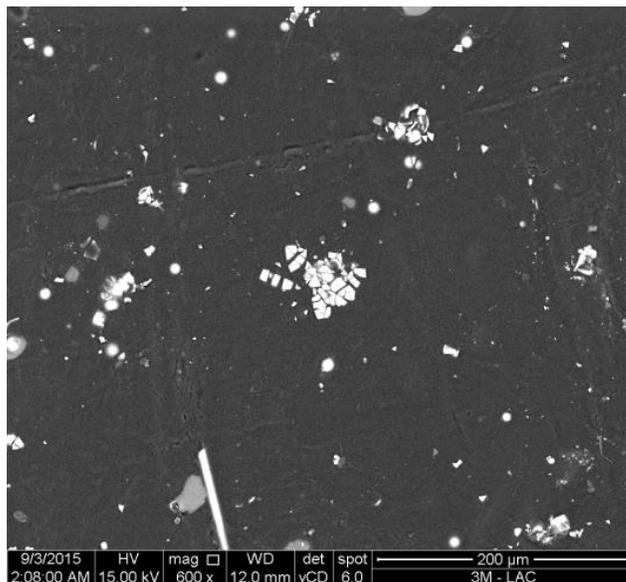
Fonte: próprio autor.

\*os valores entre parêntesis indicam a composição de cada amostra e representam a quantidade de PA 6, fibra de vidro e microesfera oca de vidro, respectivamente.

### 5.2. Condições de Processamento dos Compósitos

Como descrito na seção 4.2.2., o processamento dos compósitos foi realizado, primeiramente, utilizando apenas uma etapa de extrusão. A análise de MEV da figura 10 mostra a morfologia obtida para o compósito híbrido PA6/ fibra de vidro/ microesfera (30/27/3) %m para essa condição.

**Figura 10 - Imagem de MEV da amostra B, após primeira tentativa de extrusão.**



Fonte: próprio autor.

Na figura 10, é possível visualizar aglomerados de microesferas quebradas após o processamento de extrusão. Acredita-se que esse problema esteja relacionado ao cisalhamento acentuado entre as microesferas e as fibras durante a primeira tentativa de mistura, resultando em uma quebra elevada das microesferas. A partir desse resultado decidiu-se processar os materiais em duas etapas, de acordo com a metodologia descrita em 4.2.2. Os resultados das morfologias e das demais propriedades dos compósitos processados em duas etapas são apresentados nas seções seguintes.

### **5.3. Caracterização das Cargas**

#### *5.3.1. Ensaio de Calcinação*

Conforme descrito na metodologia, seção 4.2.3.a., realizou-se o ensaio de calcinação por duas razões: cálculo da porcentagem de carga inorgânica das amostras em estudo (método complementar ao ensaio de TGA) e cálculo do diâmetro médio das cargas.

Aplicando-se a equação 10, calculou-se a porcentagem de carga inorgânica das amostras. A tabela 15 apresenta os resultados obtidos nesse ensaio. Foi observado que a porcentagem de carga inorgânica para todas as amostras foi inferior ao valor teórico de 30% m. Uma justificativa plausível para os dados encontrados está relacionada ao processamento do material. Conforme

mencionado anteriormente, a extrusora do laboratório que processou o material não possui desagador a vácuo e, durante a calibração do equipamento, parte das microesferas ocas de vidro possivelmente saíram pelo desagador atmosférico, principalmente devido a sua baixa densidade.

**Tabela 15 - Porcentagem de carga inorgânica obtida para as amostras.**

Amostra	% Carga Inorgânica
A (70/30)	24,8 ± 0,1
B (70/27/3)	28,3 ± 0,1
C (70/25/5)	25,9 ± 0,1
D (70/22,7/7,5)	27,1 ± 0,2
E (70/20/10)	25,9 ± 0,1

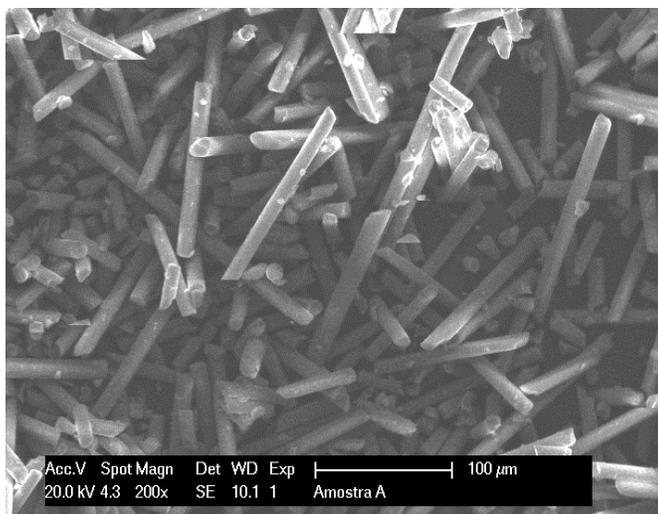
Fonte: próprio autor.

### 5.3.2. Morfologia e Diâmetro Médio das Cargas

#### a. Fibra de vidro

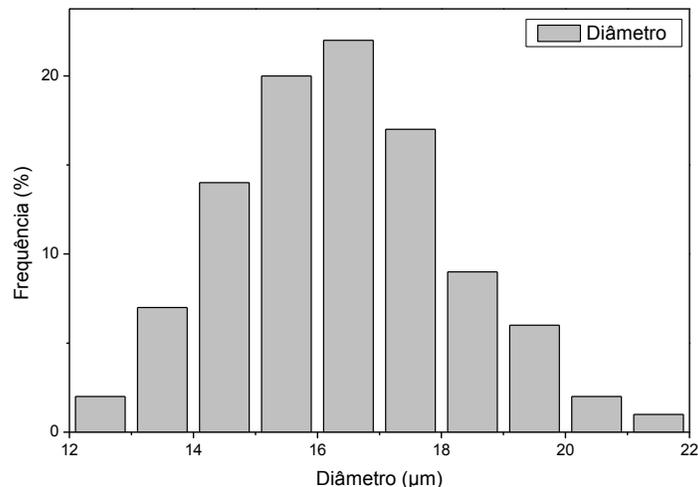
A figura 11 apresenta uma imagem de MEV das fibras de vidro (amostra A), obtida após o ensaio de calcinação, e a figura 12 apresenta a distribuição de diâmetro das fibras encontradas.

**Figura 11 - Imagem de MEV da fibra de vidro, obtida após ensaio de calcinação (amostra A).**



Fonte: próprio autor.

**Figura 12 - Colunas de frequência dos diâmetros das GFs.**



Fonte: próprio autor.

Na figura 11, foi possível observar que as fibras de vidro apresentam superfície lisa e uniforme. Na figura 12, notou-se que a maior parte dos valores de diâmetro das fibras está entre 15-17 µm. Além disso, por meio desse gráfico e da tabela 16, percebeu-se que não houve uma dispersão muito acentuada nos valores encontrados. A tabela 16 apresenta alguns dados a respeito das medições realizadas.

**Tabela 16 - Dados dos valores de diâmetros das GFs.**

	Média Aritmética	Valor Mínimo	Valor Máximo
Diâmetro (µm)	16,3 ± 1,8	12,8	21,0

Fonte: próprio autor.

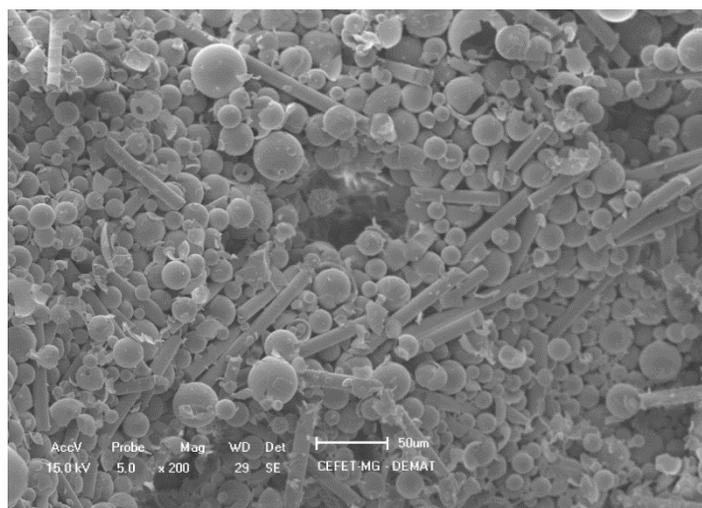
Realizou-se também um estudo do comprimento médio final das fibras de vidro após o processamento, baseando-se na medição do comprimento de cinco fibras, calculado por meio da figura 11. A partir dessas medições, encontrou-se o valor médio de 0,43 mm para as fibras de vidro após o processamento. Devido à quebra de muitas fibras, não foi possível medir uma quantidade maior de comprimentos. Conforme discutido na seção 3.2.1, a literatura afirma que o procedimento de incorporação da fibra de vidro, durante o processo de extrusão, reduz o seu

comprimento de 4,0 mm (comprimento padrão de comercialização) para comprimento inferior a 1,0 mm (ZURSTRASEEN, 2008, p. 261). Observando-se os dados obtidos, comprovou-se que, de fato, as fibras de vidro apresentam comprimento inferior a 1,0 mm.

### b. Microesfera Oca de Vidro

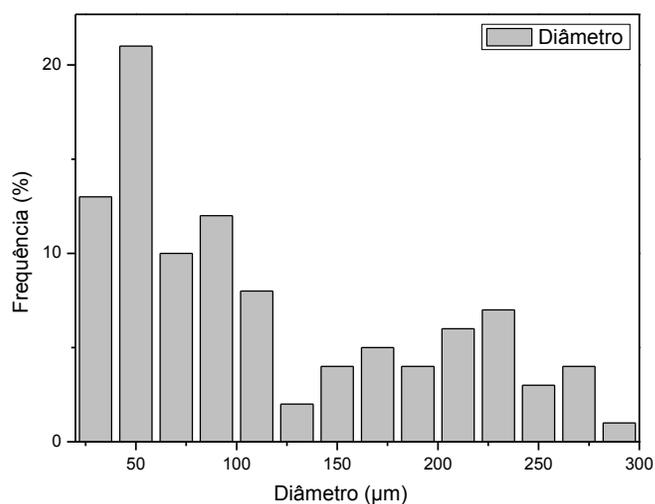
A figura 13 apresenta uma imagem de MEV das fibras de vidro e microesferas de vidro, amostra C, obtidas após o ensaio de calcinação. A figura 14 apresenta colunas referentes à frequência dos valores de diâmetro encontrados para as microesferas.

**Figura 13 - Análise de MEV da microesfera oca de vidro, obtida após ensaio de calcinação (amostra C).**



Fonte: próprio autor.

**Figura 14 - Colunas de frequência dos diâmetros das HGBs.**



Fonte: próprio autor.

Observou-se que os valores de diâmetros encontrados apresentaram bastante dispersão, o que também pode ser evidenciado pela tabela 17. Analisando-a é possível notar que os valores apresentaram desvio padrão bastante elevado e uma grande diferença entre o valor mínimo e o valor máximo medido. Além disso, as microesferas apresentam superfície lisa e uniforme.

**Tabela 17 - Dados dos valores de diâmetros para as HGBs.**

	Média Aritmética	Valor Mínimo	Valor Máximo
Diâmetro (μm)	115,1 ± 75,8	25,0	286,0

Fonte: próprio autor.

#### 5.4. Caracterização de densidade

O ensaio de densidade, realizado de acordo com a norma ISO 1183-1, mostra uma acentuada redução na densidade dos compósitos com o aumento da fração de microesferas ocas de vidro no material. A tabela 18 apresenta os resultados encontrados.

**Tabela 18 - Valores de densidade para cada amostra.**

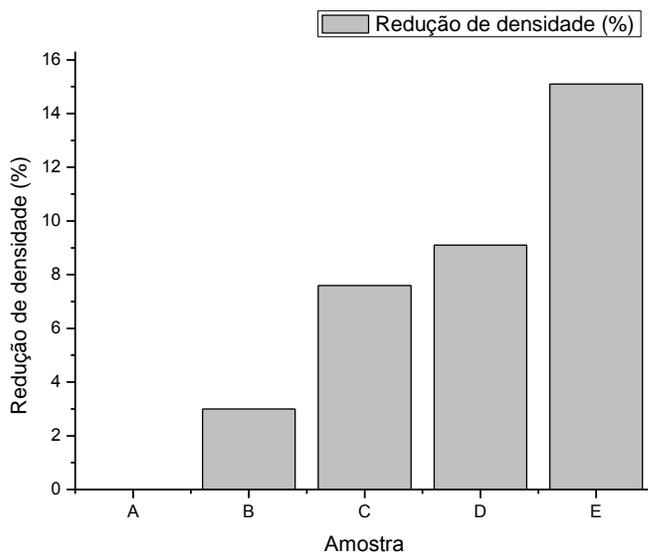
Amostra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Redução (%)	Redução teórica (%)
A (70/30)	1,32 ± 0,004	-	-
B (70/27/3)	1,28 ± 0,003	3,0	2,0
C (70/25/5)	1,22 ± 0,009	7,6	3,0
D (70/22,7/7,5)	1,20 ± 0,001	9,1	5,0
E (70/20/10)	1,12 ± 0,024	15,1	7,0

Fonte: próprio autor.

Analisando a tabela 18, é possível notar que a redução de densidade dos compósitos foi superior ao valor teórico. Isto é, as densidades encontradas foram inferiores aos valores previstos pelo cálculo teórico (seção 4.2.1.). Como o valor de carga inorgânica obtido por meio da análise de calcinação foi inferior a 30%*m*, valor utilizado como base para o cálculo de redução teórica, pode-se atribuir essa diferença entre os resultados a menor fração de carga nos compósitos, uma vez que parte das microesferas e das fibras de vidro podem ter sido perdidas durante o processamento, diminuindo a fração total de carga nas amostras e, portanto, levando a uma redução adicional de densidade aos compósitos.

É importante enfatizar que a redução de peso, com a substituição de fibra de vidro por microesfera oca de vidro foi alcançada com sucesso. A amostra C, por exemplo, que possui apenas 5%*m* de microesferas ocas de vidro, apresentou 7,6% de redução de densidade, em relação à amostra A. A figura 15 apresenta uma análise da redução percentual de densidade dos compósitos, mostrando a diferença entre as composições estudadas.

**Figura 15 - Gráfico comparativo de redução percentual de densidade.**



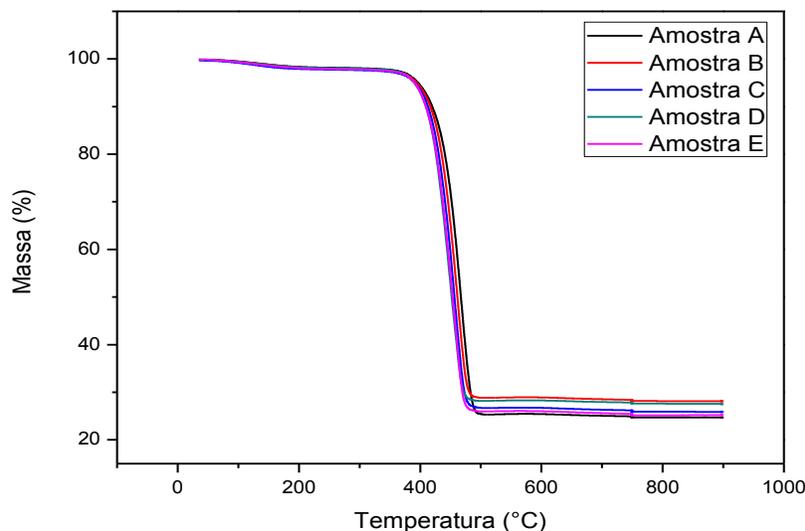
Fonte: próprio autor.

## **5.5. Caracterização térmica**

### **5.5.1. Termogravimetria (TGA)**

A figura 16 apresenta um gráfico de massa (%) em função da temperatura, resultante do ensaio de TGA, realizado para todas as amostras.

Figura 16 - Curvas de massa (%) versus temperatura, obtidas pelo ensaio de TGA.



Fonte: próprio autor.

Analisando-se o gráfico da figura 16, notou-se que o comportamento quanto à perda de massa com o aumento da temperatura para as amostras apresentou grande similaridade. Desse modo, supõe-se que a estabilidade térmica do material não é alterada com o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro nas formulações. De acordo com a literatura, a temperatura de degradação térmica da PA 6 está em torno de 363,5°C (Zong et al, p. 2299, 2006). Na figura 16, obteve-se o valor aproximado de 362,8°C para as amostras, muito próximo ao descrito por Zong et al (2006).

Além disso, tornou-se possível extrair a quantidade de carga inorgânica em cada amostra, por meio da análise das curvas termogravimétrica. A partir do instante em que o gráfico atinge o patamar estável de perda de massa *versus* temperatura, aproximadamente à temperatura de 470°C, a porcentagem de massa indicada refere-se à carga inorgânica presente no compósito. É possível perceber que a temperatura de degradação das cargas inorgânicas é extremamente elevada, já que, até a temperatura máxima do ensaio (900°C), não se observou nenhuma curva referente à degradação dessas cargas.

A tabela 19 indica os valores encontrados. Percebeu-se que todas as amostras apresentaram porcentagem de carga inorgânica inferior ao valor teórico de 30%*m*. O ensaio de calcinação confirmou esses dados obtidos pelas curvas de TGA.

**Tabela 19 - % carga inorgânica para cada amostra de acordo com o ensaio de TGA.**

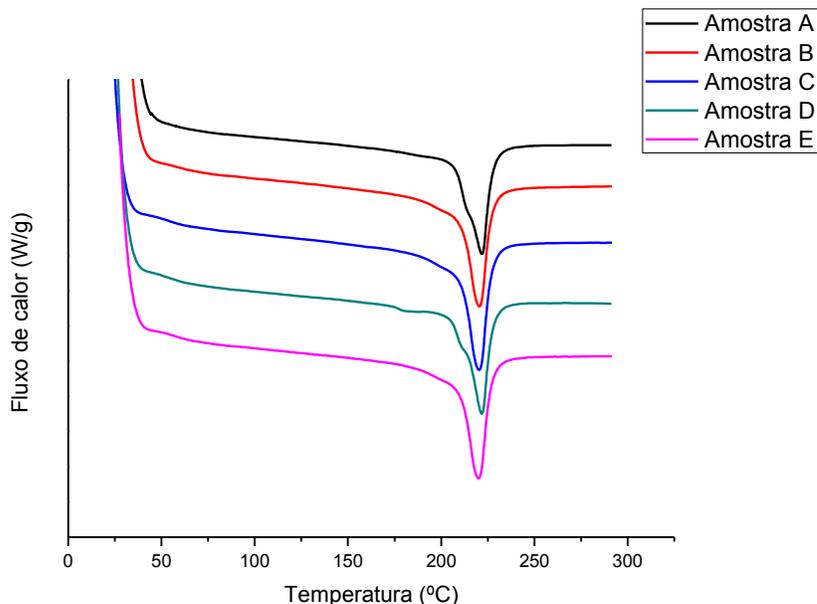
Amostra	% <i>m</i> Carga inorgânica
A (70/30)	25,0
B (70/27/3)	28,0
C (70/25/5)	26,0
D (70/22,7/7,5)	28,0
E (70/20/10)	25,0

Fonte: próprio autor.

### 5.5.2. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A figura 17 apresenta as curvas de aquecimento obtidas pelo ensaio de DSC. Por meio dessas curvas, é possível extrair algumas propriedades térmicas importantes das amostras em estudo, são elas: temperatura de fusão ( $T_m$ ), entalpia de fusão ( $\Delta H_f$ ) e grau de cristalinidade (%C) correspondente.

Figura 17 - Curvas de DSC obtidas para as amostras em estudo.



Fonte: próprio autor.

Realizou-se o cálculo do grau de cristalinidade da matriz de PA 6 para todas as amostras, de acordo com a equação 12. A tabela 20 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 20 - Grau de cristalinidade (%C) para cada amostra.

Amostra	$T_m$ (°C)	$\Delta H_f$ (J/g)	W%m	%C
A (70/30)	221,8	52,5	0,25	37,2
B (70/27/3)	220,5	63,1	0,28	46,6
C (70/25/5)	220,3	61,5	0,26	44,2
D (70/22,7/7,5)	221,8	54,7	0,28	40,4
E (70/20/10)	220,0	59,0	0,25	41,8

Fonte: próprio autor.

Observando-se a tabela 20, notou-se que a  $T_m$  dos materiais não apresentou grandes variações entre os compósitos estudados e nem em relação à  $T_m$  característica da PA 6 (isto é,

todas as amostras apresentaram  $T_m$  em torno de  $220^{\circ}\text{C}$ ), mostrando que a adição de microesfera não interfere de maneira relevante nessa propriedade do material.

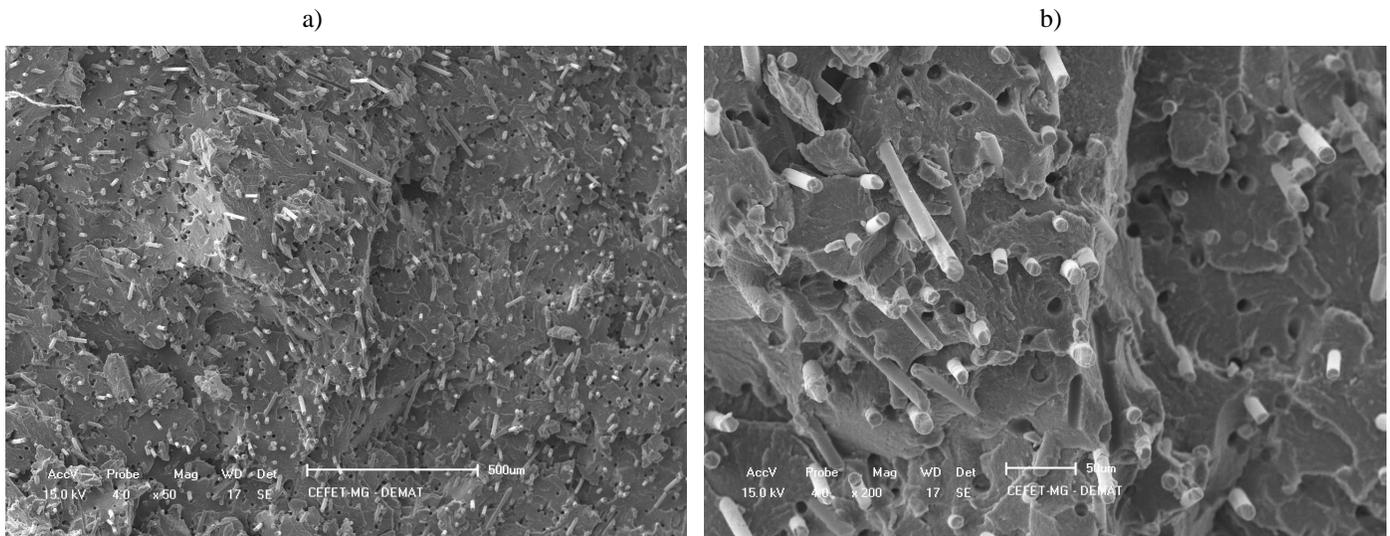
Sabe-se que o grau de cristalinidade de um polímero está intimamente relacionado à taxa e temperatura de resfriamento durante o processamento do material. Durante a cristalização, com o resfriamento passando por  $T_m$ , as cadeias, que se encontram altamente aleatórias e emaranhadas no líquido viscoso, devem adquirir uma configuração ordenada. Para tanto, deve ser dado um tempo suficiente para que as cadeias se movam e se alinhem. Assim, é possível perceber que qualquer mínima diferença durante o processamento das amostras pode resultar em alguma variação em suas propriedades térmicas.

É importante ressaltar que houve uma maior distribuição do tamanho dos cristais com a adição das microesferas ocas de vidro, indicando que as microesferas podem ter interferido na cristalização da PA 6. Além disso, quanto ao grau de cristalinidade, observou-se que a adição das microesferas ocas de vidro pode ter resultado no aumento da cristalinidade das amostras, uma vez que todas as amostras apresentaram maior grau de cristalinidade que a amostra A. Também foi possível notar, na Figura 17, que as curvas de DSC para as amostras A e D apresentaram um "ombro" próximo à temperatura de  $214,3^{\circ}\text{C}$ . Esse resultado pode ser atribuído à presença de uma população de cristais menos perfeitos, isto é, com lamelas menos espessas e que, portanto, requerem uma quantidade menor de energia para fundir. Como o comportamento foi observado apenas para essas amostras, entende-se que este deve ser resultado em variações das condições de processo, provavelmente na taxa de resfriamento.

## 5.6. Caracterização da Morfologia

Para o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), após fratura criogênica dos compósitos, os seguintes resultados foram obtidos:

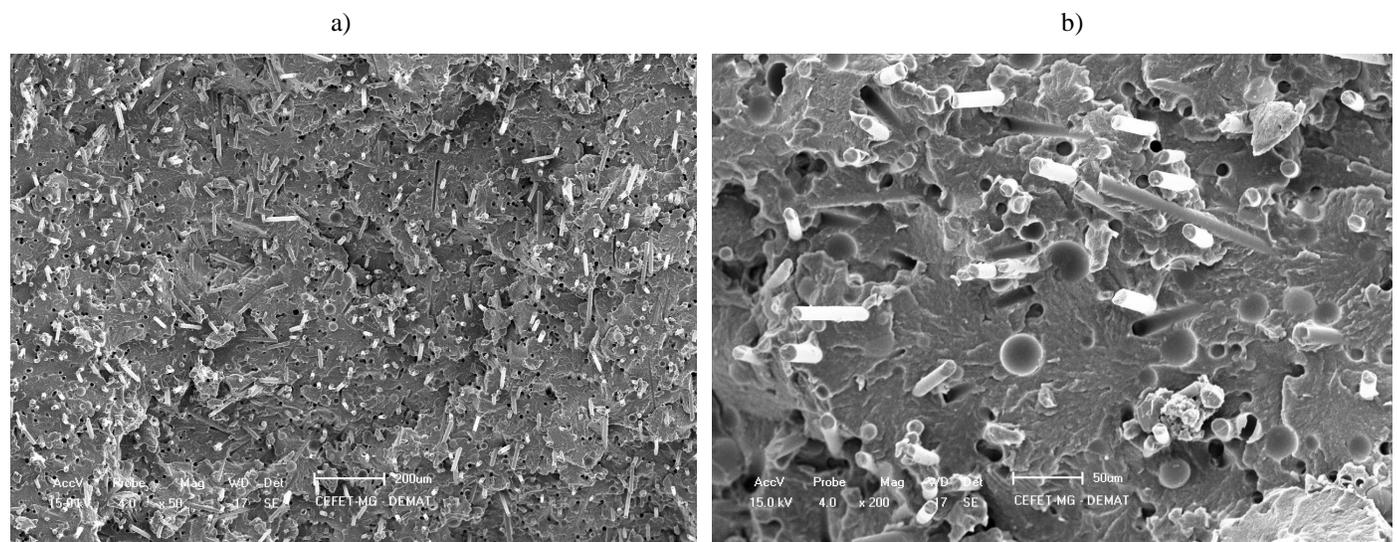
**Figura 18 - Fratura criogênica da amostra A.**



Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

**Figura 19 - Fratura criogênica da amostra B.**

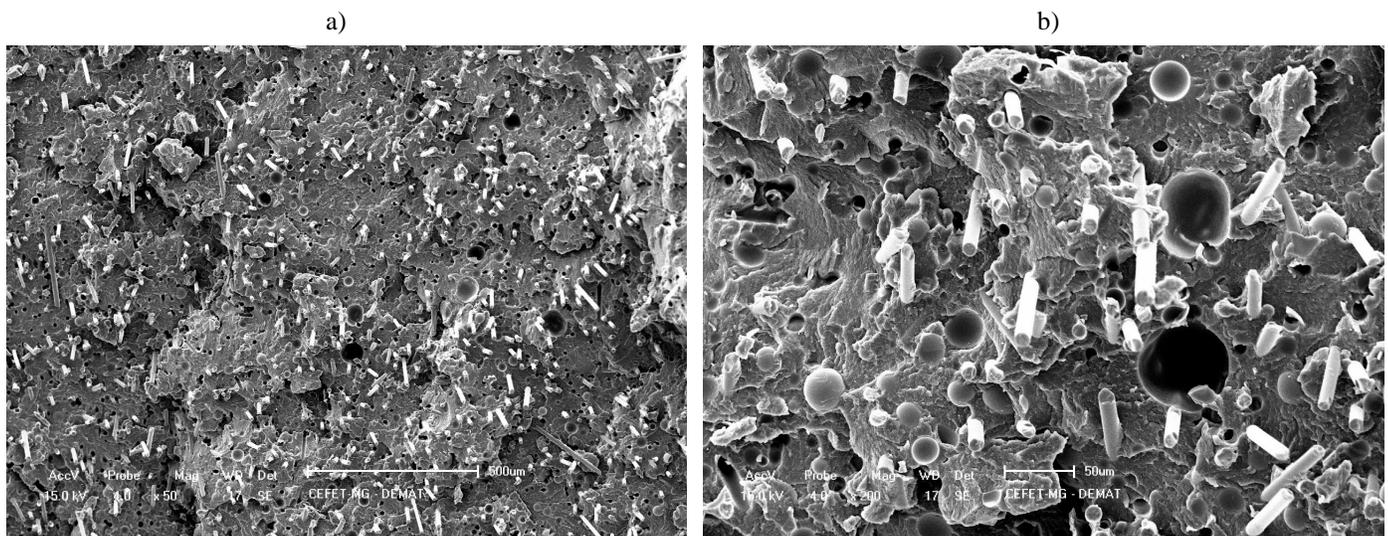


Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

Analisando-se a amostras A, observa-se que a fibra de vidro apresenta boa distribuição na matriz de PA6, praticamente não se observa a presença de aglomerados. No entanto, foi possível visualizar alguns pequenos buracos na imagem, principalmente na figura 18b), resultantes da extração das fibras durante a fratura criogênica. Para a amostra B, observa-se comportamento semelhante, já que também apresenta boa distribuição das cargas na matriz. Comparando as amostras A e B, é possível notar que as fibras de vidro estão mais aderidas na matriz de PA 6 que as microesferas ocas de vidro. A análise da morfologia para as amostras C a E são apresentadas nas figuras 20 a 22.

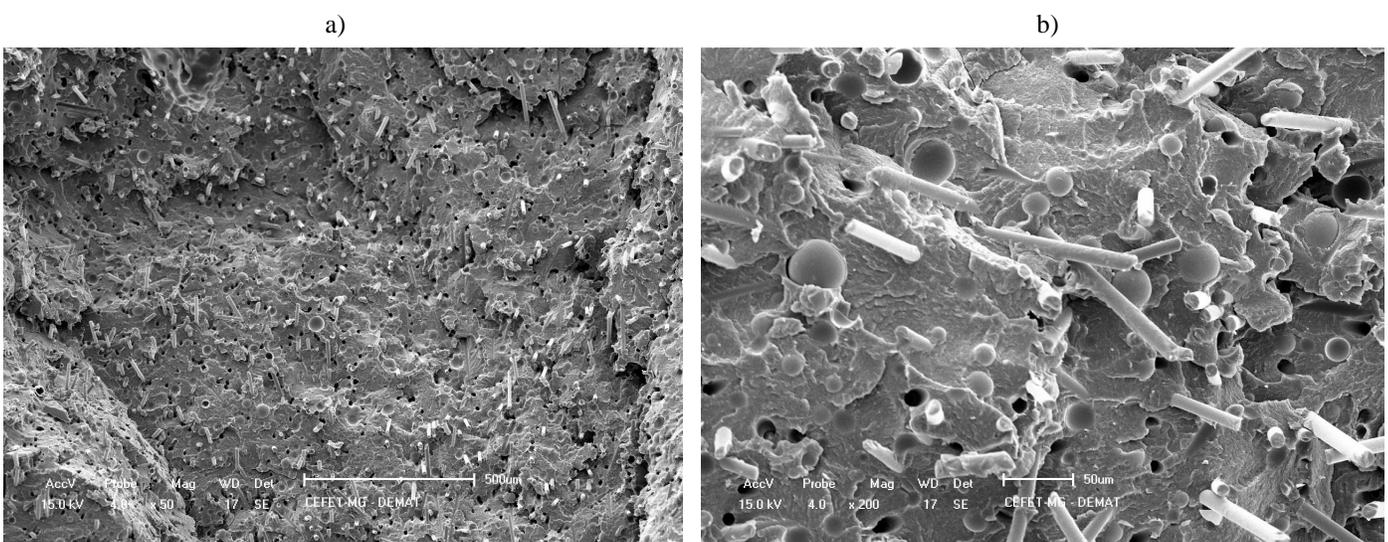
**Figura 20 - Fratura criogênica da amostra C.**



Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

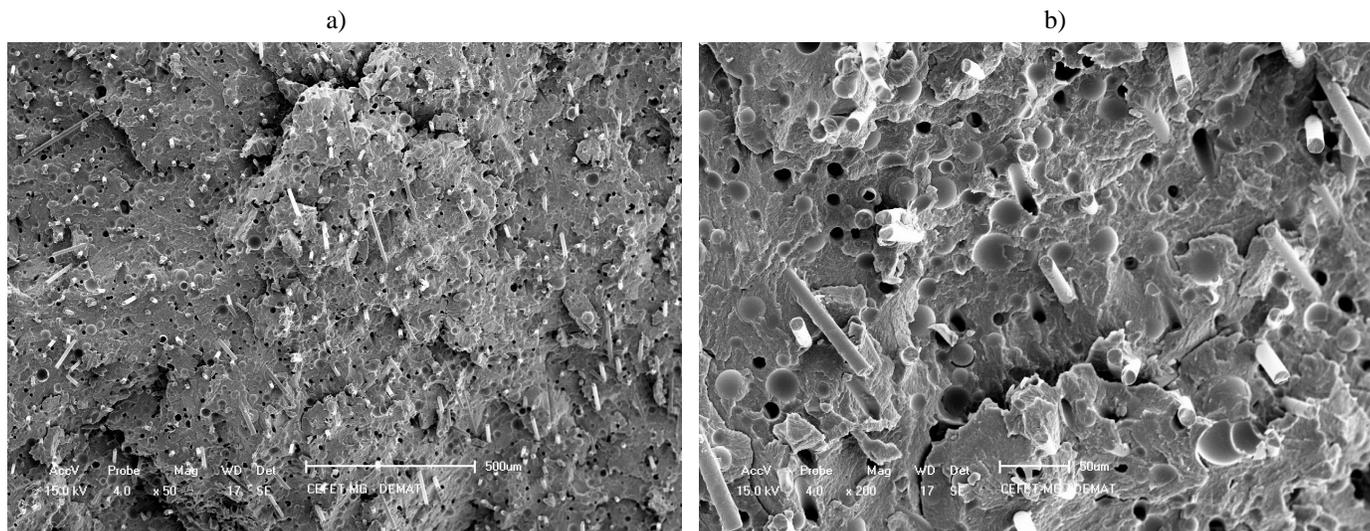
**Figura 21 - Fratura criogênica da amostra D.**



Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

**Figura 22 - Fratura criogênica da amostra E.**

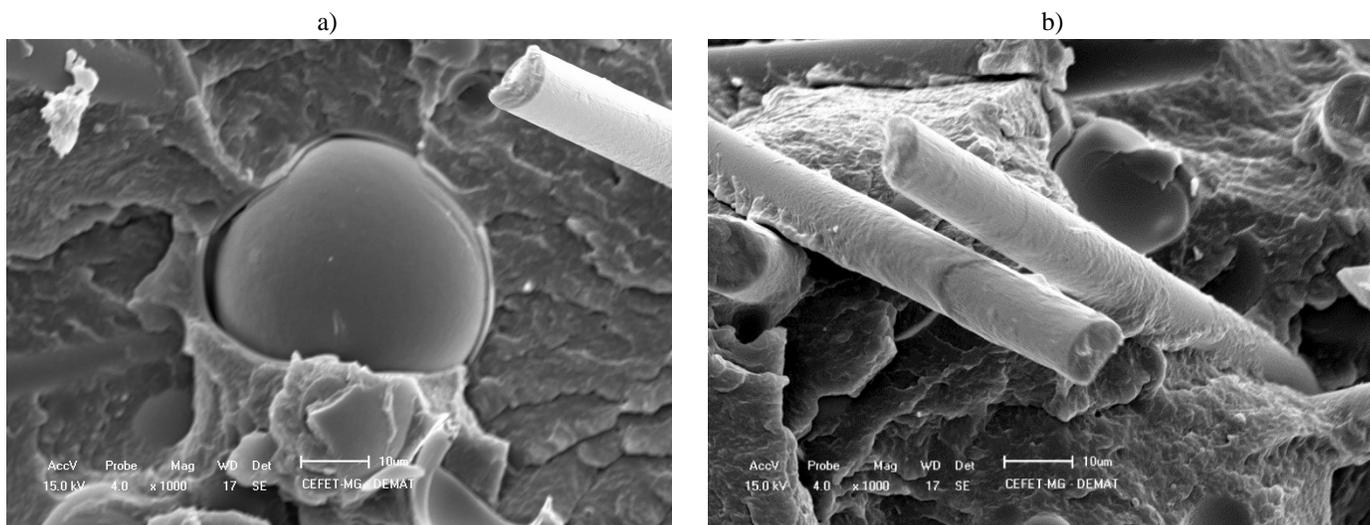


Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

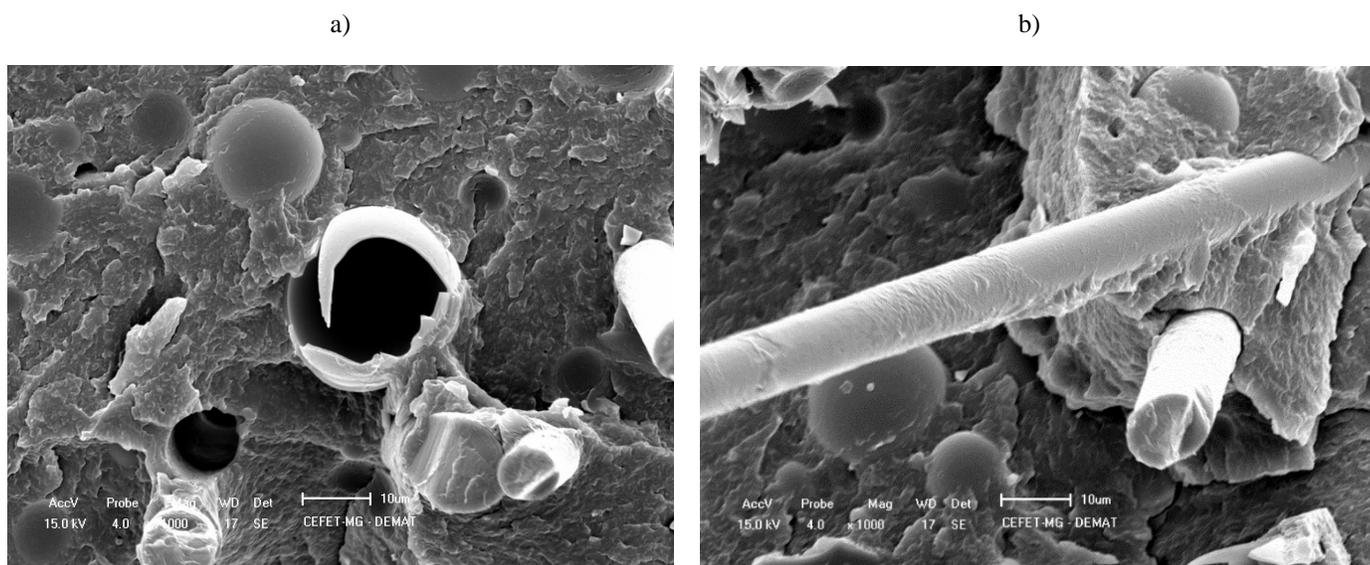
Observa-se que as amostras C, D e E, apesar da grande quantidade de microesfera oca de vidro, não apresentam aglomerados, mantendo a boa distribuição e dispersão das cargas na matriz. Essas amostras também possuem buracos, devido à fratura criogênica. Nota-se que as microesferas se mostram “soltas” na matriz, evidenciando um problema de adesão entre essa carga e o polímero. As figuras 23 e 24 esclarecem esse comportamento. É possível observar que a matriz de PA 6 “molha” as fibras de vidro e, por isso, as fibras apresentam superfície rugosa, diferentemente da superfície lisa apresentada após o ensaio de calcinação; as microesferas permanecem com a superfície lisa, assim como após o ensaio de calcinação. Além disso, como é possível notar na figura 24a), as microesferas apresentam-se mais quebradiças.

Tal comportamento justifica-se pela presença de compatibilizante do tipo organossilano na superfície das fibras de vidro, promovendo maior interação química entre o polímero e a fibra. As microesferas, no entanto, não foram compatibilizadas, porque o processo de compatibilização de microesferas ocas de vidro ainda não é realizado no Brasil, portanto, a realização desta etapa encareceria bastante a matéria-prima.

**Figura 23 - Fratura criogênica da amostra D.**

Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

**Figura 24 - Fratura criogênica da amostra E.**

Fonte: próprio autor.

Fonte: próprio autor.

## 5.7. Caracterização mecânica

### 5.7.1. Resistência à tração

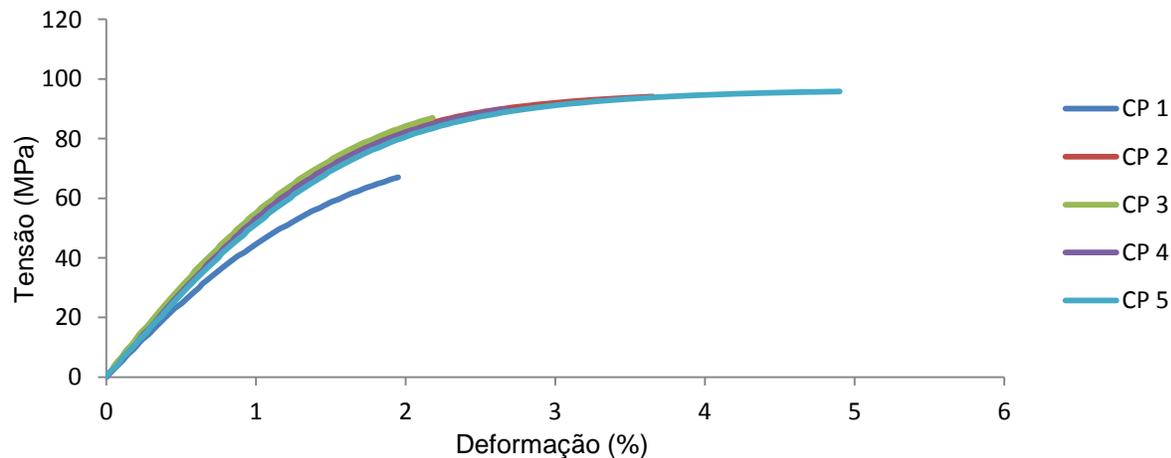
Os gráficos tensão *versus* deformação, obtidos no ensaio de tração, são mostrados nas figuras 25 a 29, e os valores do módulo de Young, resistência à tração e deformação na ruptura são apresentados na tabela 21.

**Tabela 21 - Valores de resistência à tração e deformação na ruptura para cada amostra.**

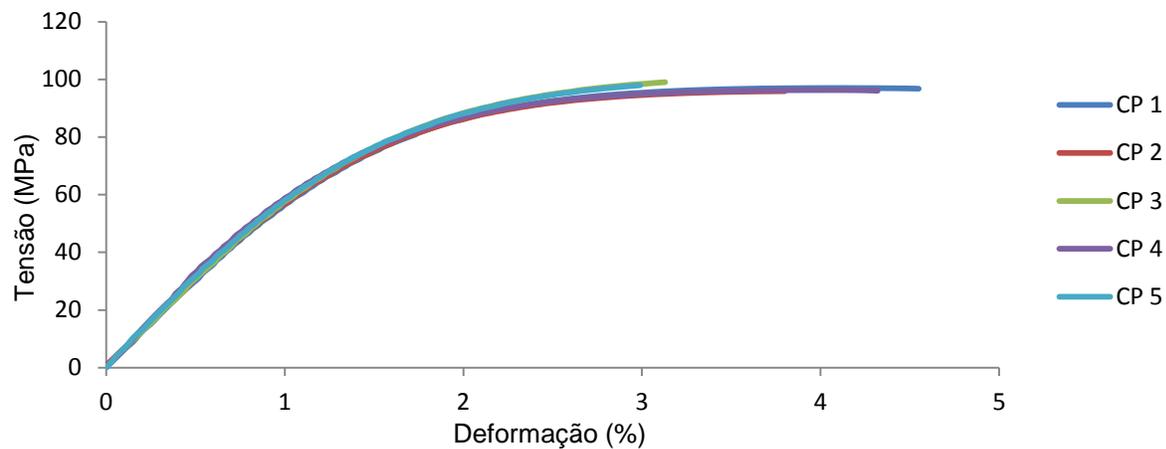
Amostra	Módulo de Young (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)
A (70/30)	5565,0 ± 399,2	86,8 ± 11,6	3,1 ± 1,2
B (70/27/3)	6139,2 ± 178,9	97,3 ± 1,3	3,7 ± 0,6
C (70/25/5)	5663,8 ± 275,2	89,8 ± 2,2	2,4 ± 0,1
D (70/22,7/7,5)	5483,4 ± 313,1	84,7 ± 1,3	2,6 ± 0,6
E (70/20/10)	5380,7 ± 298,4	79,3 ± 2,7	2,0 ± 0,1

Fonte: próprio autor.

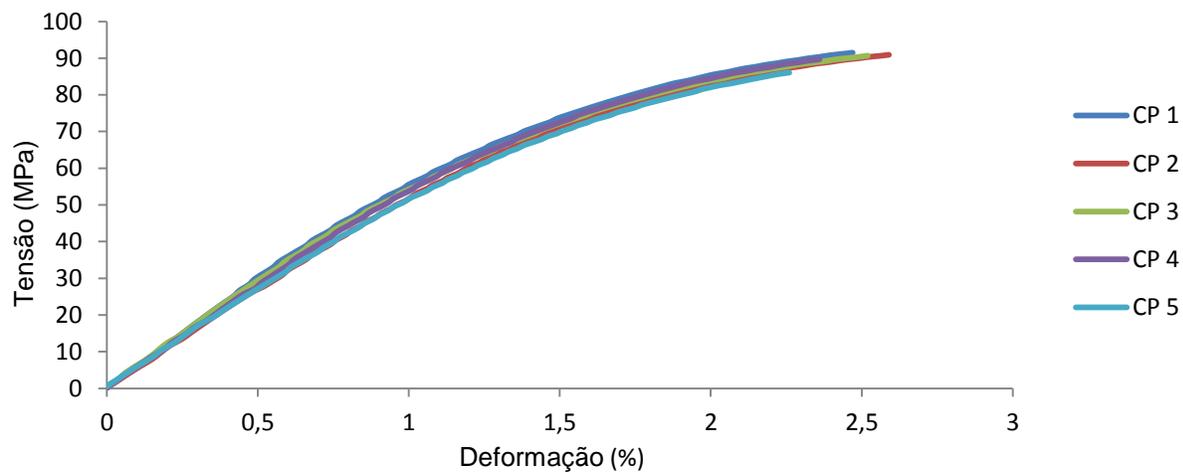
**Figura 25 - Gráfico tensão *versus* deformação para a amostra A.**



Fonte: próprio autor.

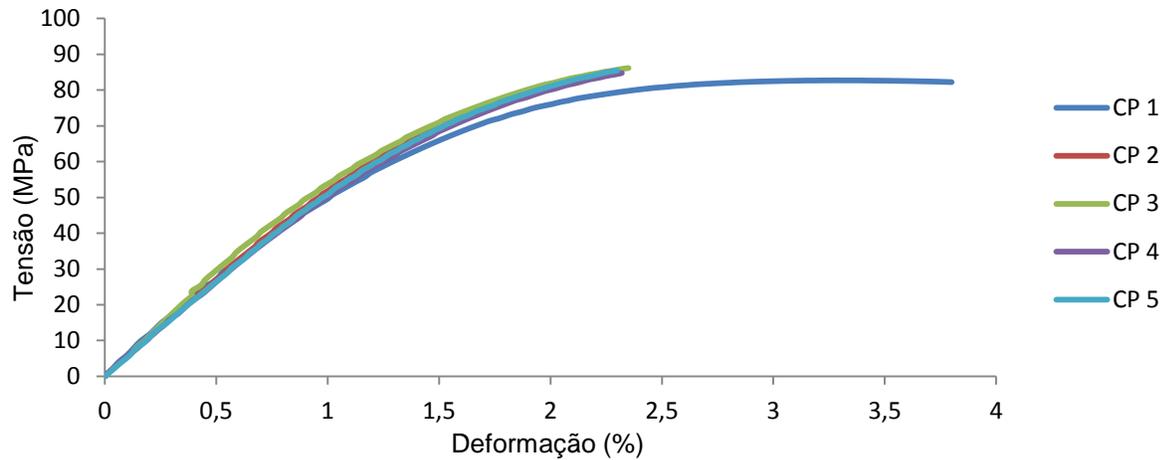
**Figura 26 - Gráfico tensão *versus* deformação para a amostra B.**

Fonte: próprio autor.

**Figura 27 - Gráfico tensão *versus* deformação para a amostra C.**

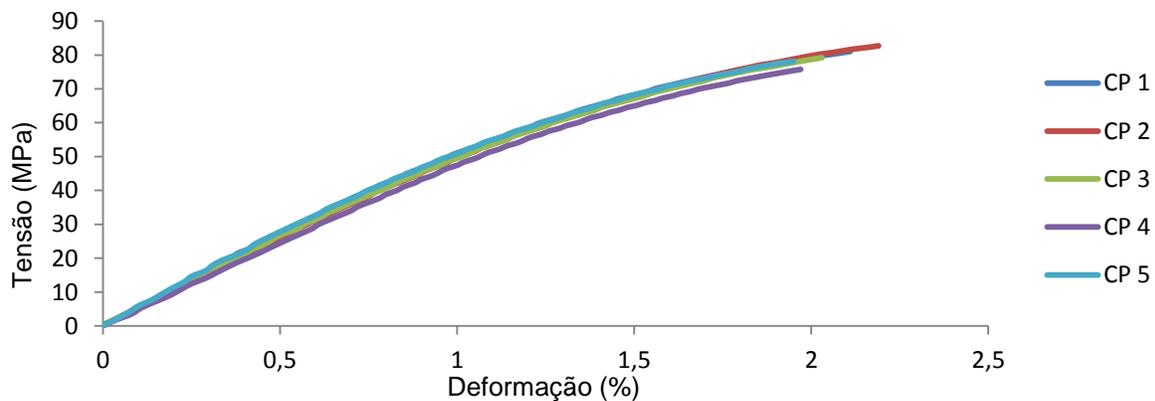
Fonte: próprio autor.

**Figura 28 - Gráfico tensão *versus* deformação para a amostra D.**



Fonte: próprio autor.

**Figura 29 - Gráfico tensão *versus* deformação para a amostra E.**



Fonte: próprio autor.

Previamente era esperada uma redução nas propriedades mecânicas sob tração, com o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro, na composição das amostras, devido à diminuição da porcentagem de fibra de vidro, que apresenta maior módulo e maior razão de aspecto que as microesferas. Tomando-se como referência o comprimento inicial das fibras (antes do processamento), igual a 4,5 mm, e o diâmetro médio (calculado em 5.3.2.), igual a 0,016 mm,

a razão de aspecto (L/D) das fibras é de 276; enquanto as microesferas ocas de vidro apresentam razão de aspecto igual a 1.

Observando-se os resultados da tabela 21, nota-se que esse comportamento de redução de propriedades sob tração se confirmou para a maior parte das amostras. No entanto, a amostra B apresentou melhoria de propriedades, em relação ao compósito base (amostra A). Esse resultado pode ser atribuído a uma melhor dispersão e/ou distribuição das cargas na matriz, resultado do processamento, garantindo à amostra B melhores propriedades mecânicas sob tração. A amostra E apresentou a maior redução de propriedades em relação às demais; trata-se da amostra que apresenta a menor quantidade de fibra de vidro em sua formulação. No entanto, considerando-se o desvio padrão, em nenhuma das amostras houve uma redução muito elevada de propriedades com a adição de microesferas ocas de vidro; observou-se redução máxima de 3,3% para a amostra E.

Uma consideração interessante é que a amostra B também apresentou o maior grau de cristalinidade dentre todas as amostras, calculado na seção 5.5.2. Sabe-se que a resistência mecânica dos polímeros semicristalinos, em geral, aumenta significativamente com o aumento do grau de cristalinidade. Nas regiões cristalinas, onde as cadeias moleculares estão densamente compactadas e em um estado organizado. Desse modo, o módulo de Young dos polímeros semicristalinos aumenta significativamente com o aumento do grau de cristalinidade. Sendo assim, um maior grau de cristalinidade justifica o comportamento observado para a amostra B.

Yalcin e colaboradores (2013), analisaram o comportamento mecânico de resinas de PP homopolímero reforçadas com fibra de vidro e com microesferas ocas de vidro do tipo iM16K (3M<sup>TM</sup>), em uma amostra com 68,36% m PP + 19% m GF + 10% m HGB e 2,64% m MAPP, um tipo de compatibilizante à base de anidrido maleico. Comparando-se os resultados obtidos nesse trabalho com os dos autores citados, nota-se que a amostra E apresentou um valor de módulo de Young 3,3% inferior em relação à amostra A; enquanto a redução encontrada para o trabalho de Yalcin et al. (2013), em relação à amostra com 78% m PP + 22% m GF, foi de 2,2%. Contudo, é importante ressaltar que as microesferas do presente estudo não foram previamente compatibilizadas e, ainda assim, não apresentaram redução de módulo muito inferior em relação ao verificado na amostra de PP.

### 5.7.2. Resistência à flexão

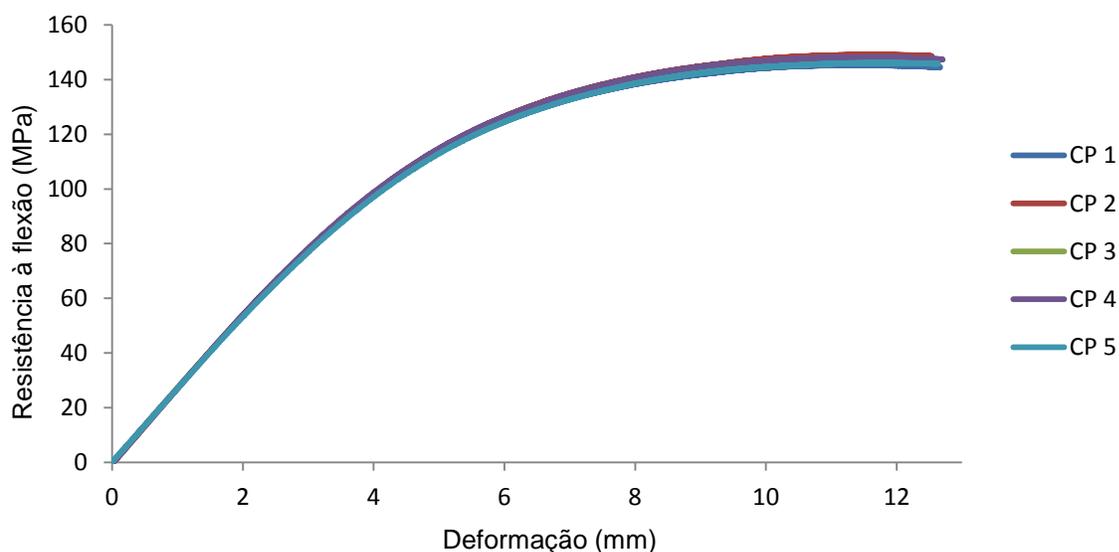
Os gráficos de resistência à flexão *versus* deformação, obtidos no ensaio de flexão, são mostrados nas figuras 30 a 34, e os valores de resistência à flexão e módulo de Young são apresentados na tabela 22.

**Tabela 22 - Valores de resistência à flexão e módulo de Young para cada amostra.**

Amostra	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de Young (MPa)
A (70/30)	147,2 ± 1,5	4925,8 ± 76,9
B (70/27/3)	148,8 ± 4,0	5008,9 ± 167,6
C (70/25/5)	137,3 ± 2,5	4442,1 ± 122,5
D (70/22,7/7,5)	131,8 ± 0,9	4581,6 ± 40,3
E (70/20/10)	119,6 ± 0,9	4226,4 ± 26,5

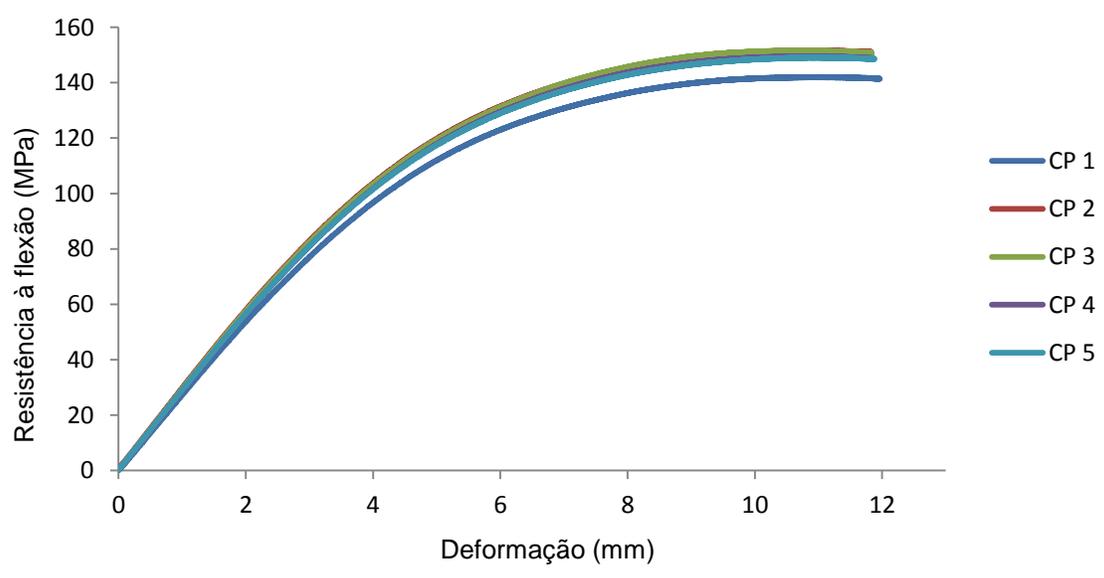
Fonte: próprio autor.

**Figura 30 - Gráfico resistência à flexão *versus* deformação para a amostra A.**



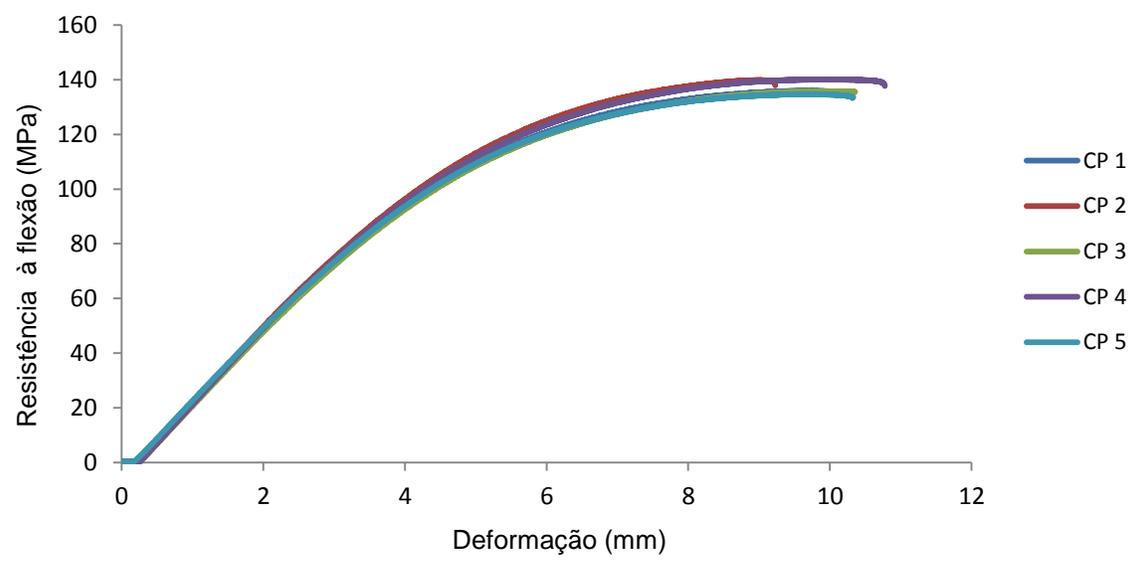
Fonte: próprio autor.

**Figura 31 - Gráfico resistência à flexão versus deformação para a amostra B.**



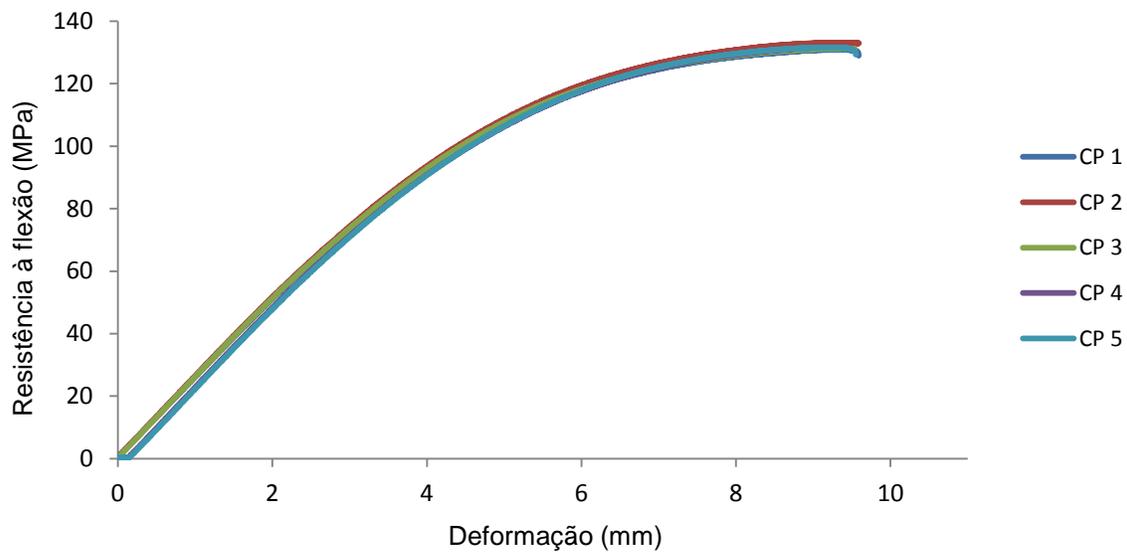
Fonte: próprio autor.

**Figura 32 - Gráfico resistência à flexão versus deformação para a amostra C.**



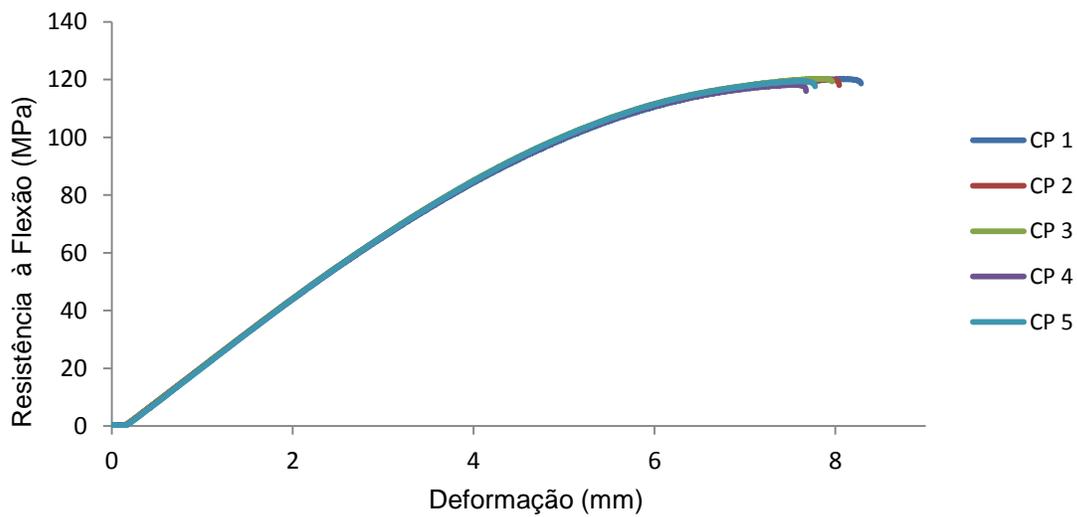
Fonte: próprio autor.

**Figura 33 - Gráfico resistência à flexão versus deformação para a amostra D.**



Fonte: próprio autor.

**Figura 34 - Gráfico resistência à flexão versus deformação para a amostra E.**



Fonte: próprio autor.

Observando-se a tabela 22, notou-se que as propriedades sob flexão diminuíram com o aumento da quantidade de microesferas ocas de vidro e o decréscimo de fibras de vidro, com exceção da amostra B. Percebeu-se que as amostras A e B, considerando-se o desvio padrão, apresentaram um comportamento bem similar. A amostra C apresentou 6,7% de redução na resistência à flexão em relação à amostra A; e as amostras D e E apresentaram a maior redução de resistência à flexão com o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro. A amostra E, que teve a maior redução, apresentou 18,8%, em relação ao compósito base desse estudo (amostra A). Por outro lado, com relação ao módulo de Young, observou-se que a amostra D apresentou maior valor de módulo de elasticidade que a amostra C, mas a amostra E também apresentou o menor módulo dentre as amostras, com uma redução de 14,2% em relação à amostra A.

Em Yalcin et. al. (2013), avaliou-se o comportamento mecânico de resinas de PA 6,6 reforçadas com fibra de vidro e com microesferas ocas de vidro do tipo iM16K (3M<sup>TM</sup>). As seguintes formulações foram estudadas:

- Fórmula 1: 70% PA 6,6 + 30% GF;
- Fórmula 2: 65% PA 6,6 + 30% GF + 5% HGB;
- Fórmula 3: 60% PA 6,6 + 30% GF + 10% HGB.

Após o ensaio de flexão, nesse trabalho, observou-se aumento na resistência à flexão com o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro. No entanto, comparando-se os resultados apresentados na tabela 22 e os valores encontrados por Yalcin et al. (2013), percebeu-se que a resistência à flexão de Yalcin et al. (2013) para a fórmula 3 é cerca de 68 vezes maior que o valor encontrado para a amostra E. Contudo, é importante ressaltar que, no estudo de Yalcin et. al. (2013), à medida que houve o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro na composição, a quantidade de fibra de vidro se manteve constante, reduzindo-se apenas a quantidade da matriz de PA 6,6, o que possivelmente influenciou para que a resistência à flexão não diminuísse com o aumento da porcentagem de microesfera oca de vidro nas formulações.

### 5.7.3. Resistência ao impacto

A tabela 23 apresenta os resultados para as amostras no ensaio de resistência ao impacto.

**Tabela 23 - Resistência ao impacto obtida pelas amostras.**

Amostra	Resistência ao impacto (J)
A (70/30)	4,3 ± 0,2
B (70/27/3)	3,8 ± 0,1
C (70/25/5)	3,3 ± 0,2
D (70/22,7/7,5)	3,0 ± 0,1
E (70/20/10)	2,5 ± 0,1

Fonte: próprio autor.

Notou-se que a resistência ao impacto foi a propriedade mecânica mais afetada com a adição das microesferas, observando-se redução de até 41,8% (amostra E) em relação ao valor alcançado para a amostra A. Supõe-se que o aumento do grau de cristalinidade dos compósitos com a introdução das microesferas (calculado na seção 5.5.2.), influenciou na redução da resistência ao impacto, já que, com uma menor quantidade de fração amorfa, menor será a capacidade do compósito de absorver impacto.

Em Yalcin et. al. (2013), o autor também avalia a tenacidade de resinas de PA 6,6 reforçadas com fibra de vidro e com microesferas ocas de vidro do tipo iM16K (3M™), nas mesmas composições descritas na seção 5.7.2. Observou-se, no estudo de Yalcin et al. (2013), que a resistência ao impacto também diminuiu com o aumento da quantidade de microesfera oca de vidro nas fórmulas. Ainda assim, a fórmula 3, que possui 30% m de fibra de vidro e 10% m de microesfera oca de vidro, apresentou resistência ao impacto cerca de 32 vezes maior que o valor alcançado para a amostra E deste trabalho. Além disso, a redução da fórmula 1 (70% m PA 6,6 + 30% m fibra de vidro) para a fórmula 3 foi de 12,8%, inferior à redução de 41,8% observada nesse estudo.

De modo geral, verificou-se que as amostras apresentaram propriedades mecânicas inferiores a amostra A, referência para esse trabalho, no que se refere à flexão e à resistência ao

impacto. Supõe-se que a quebra acentuada das microesferas, observada nas imagens de MEV das amostras B, C, D e E, pode ter influenciado as propriedades mecânicas encontradas para os compósitos.

## 6. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi investigar a influência da adição de microesferas ocas de vidro em um compósito com matriz de PA 6 reforçada com fibra de vidro (compósito base), principalmente no que se refere à diminuição de densidade, avaliando a sua viabilidade para a aplicação em componentes automotivos. Foi possível observar redução de densidade para todas as amostras com a adição de microesferas ocas de vidro ao compósito base. Para a amostra C, com apenas 5%*m* de microesferas, observou-se redução de 7,6% de densidade; para a amostra E, que possui 10%*m* de microesferas, a redução alcançou 15% em relação à amostra A, mais que o dobro da redução teórica (7%).

Com relação às propriedades mecânicas, foi possível observar diminuição no módulo e na resistência à tração e à flexão nas amostras com microesferas ocas de vidro, em relação à amostra A, com exceção da amostra B, que apresentou propriedades muito similares ao compósito base. No entanto, a resistência ao impacto das amostras sofreu queda acentuada com a adição das microesferas, reduzindo em até 41,8% na amostra E, em relação à amostra A.

Para as propriedades térmicas, concluiu-se que a adição das microesferas ocas de vidro não influenciou, de maneira relevante, a temperatura de fusão ( $T_m$ ) dos compósitos. Contudo, notou-se que o grau de cristalinidade aumentou com a adição das microesferas, sugerindo que a adição dessas cargas pode ter interferido na cristalização da PA 6. A amostra B apresentou o maior grau de cristalinidade, justificando o comportamento mecânico similar à amostra A. Além disso, o aumento do grau de cristalinidade também influenciou a tenacidade dos compósitos, já que, com a diminuição da fração amorfa, a absorção de energia das amostras será menor.

Observando-se as imagens de MEV dos compósitos, foi possível verificar uma quebra acentuada das microesferas ocas de vidro, que se encontram “soltas” na matriz. Também notou-se que as microesferas apresentaram superfície lisa, evidenciando a baixa adesão dessas cargas com o polímero. Entretanto, é possível perceber que a matriz de PA 6 “molha” as fibras de vidro e, por isso, elas apresentam superfície rugosa, diferentemente da superfície lisa apresentada após o ensaio de calcinação. Isso ocorreu, porque somente as fibras de vidro foram compatibilizadas, de modo que as microesferas apresentaram baixa adesão com o polímero.

Conclui-se que mesmo com a redução de propriedades mecânicas, os compósitos estudados ainda apresentam um bom conjunto de propriedades, aliando estabilidade térmica, comportamento mecânico aceitável e baixa densidade, principalmente os compósitos com até 5%*m* de microesferas ocas de vidro (amostras B e C). Desse modo, em termos de propriedades, esses compósitos podem ser utilizados com sucesso na substituição a alguns componentes dos automóveis, que atualmente são feitos pelo compósito base, com a vantagem de proporcionar uma redução de peso considerável para esses componentes. Na atual fase do projeto, as principais aplicações vislumbradas incluem o apoio-braço e as maçanetas internas e externas.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Como maneira de tentar melhorar a adesão carga-polímero e, conseqüentemente, reduzir a quebra das microesferas ocas de vidro e aumentar as propriedades mecânicas dos compósitos, sugere-se à tentativa de compatibilização das microesferas antes do processamento.
- Com o início da comercialização dos compósitos em estudo, é importante avaliar a utilização de um desagador a vácuo durante a extrusão, para diminuir a perda das cargas fibras de vidro e, principalmente, microesferas ocas de vidro (mais leves) durante o processo. Além do mais, tratando-se de poliamida, um polímero altamente higroscópico, também deve-se avaliar a importância de um desumidificador durante a extrusão, diminuindo os problemas relacionados à presença de umidade excessiva nos materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOZA, A. C. R. N; DE PAOLI, M. A. **Polipropileno Carregado com Microesferas Ocas de Vidro (Glass Bubbles™): Obtenção de Espuma Sintática.** Polímeros: Ciência e tecnologia. UNICAMP; 3M do Brasil Ltda., Campinas, vol. 12, nº. 2, p. 130-137, 2002.

BEZERRA et al. **Obtenção e Caracterização de Membranas Obtidas a partir de Blendas Poliméricas de Poliamida 6.** Polímeros. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, vol. 24, nº. 3, p. 381-187, 2014.

**Compósitos de matriz cerâmica.** Jun. 2012. Disponível em: <<http://matrizceramica.blogspot.com.br/2012/06/compositos-com-matriz-ceramica.html>>. Acesso em: 22 de abr. 2015.

DAMASCENO, J. S.; SOUSA, J. M. C.; FARIAS, M. A. **Materiais compósitos com matriz cerâmica.** Universidade Federal do Pará, Tucuruí, mar. 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABouwAK/materiais-compositos-com-matriz-ceramica>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

**Engineered Plastics.** Feiplar Composites & Feipur, São Paulo, p.18. Disponível em: <<http://www.feiplar.com.br/materiais/pdf/engenharia.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2015.

FANTONI, R. F. **Como a Poliamida Substituiu a Seda: uma História da Descoberta da Poliamida 66.** AIM Magazine. Itália, vol. 22, n. 1, p. 1-6, jan. 2012.

FÉLIX, A. H. O. **Compósitos de Polipropileno com Fibra de Vidro Utilizando Viniltriétoxisilano Como Agente de Adesão.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERRO, W. P. **Estudo do Efeito da Radiação Ionizante Sobre as Propriedades da Poliamida 6.6 Com e Sem Reforço de Fibra de Vidro.** 2003. Dissertação (Mestrado em

Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.

FREIRE, E.; MONTEIRO, E. E. C.; CYRINO, J. C. R. **Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno com Fibra de Vidro**. Polímeros: Ciência e tecnologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 25-32, set. 1994.

FURTADO, S. C. R. **Cálculo estrutural numérico e experimental da carenagem de um veículo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

HERMES, M. **Enough for One Lifetime, Wallace Carothers the Inventor of Nylon**. Chemical Heritage Foundation. [S.l.: s.n.], 1996.

HOLLAND, B. J.; HAY, J. N. **Thermal degradation of nylon polymers**. Polymer International 49. University of Birmingham, Birmingham, p. 943-948, jan. 2000.

LOPES, P. E.; SOUSA, J.A. **Influência das Condições de Processamento nas Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno com Fibras de Vidro**. Polímeros: Ciência e tecnologia. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p. 85-96, mar. 1999.

LUZ, A.P.; RIBEIRO, S.; PANDOLFELLI, V.C. **Review Article: Use of the wettability in the investigation of the corrosion behavior of the refractory materials**. Cerâmica 54. [S.l.: s.n.], p. 174-183, 2008.

**Materiais compósitos**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <<http://disciplinas.ist.utl.pt/qgeral/mecanica/MatComp.pdf>> . Acesso em: 22 abr. 2015.

MAZUMDAR, S. K. **Introduction**. In: **Composites Manufacturing**. Washington, D.C.: CRC Press, 2002, p. 20-40.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Considerações gerais e estado-da-arte**. In: **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2006, p. 1-12.

OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

**PA com Fibra de Vidro.** Materiais e Aditivos II. [S.l.: s.n.] [s.d.] Disponível em: <[http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA\\_0AI/polimeros-pa-com-fibra-vidro](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA_0AI/polimeros-pa-com-fibra-vidro)>.

Acesso em: 20 maio 2015.

**Putting it together – Science and Technology of Composite Materials.** Australian Academy of Science, nov. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencearchive.org.au/nova/059/059key.html>>. Acesso em: 22 de abr. 2015.

RABELLO, M.; DE PAOLI, M. A. **Compósitos e nanocompósitos.** In: **Aditivação de Termoplásticos.** São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2013, p. 317-356.

**Science in Glass Production – Hollow Glass Microspheres: Use, Properties and Technology (Review).** Glass and Ceramics. Rússia, vol. 51, p. 230-235, jul. 1994.

**Selecionando fibras de vidro.** Acobar: Guia do Construtor. Disponível em: <[http://www.acobar.org.br/images/guia\\_do\\_contrutor/guiaconstrutor%20fibra%20de%20vidro.pdf](http://www.acobar.org.br/images/guia_do_contrutor/guiaconstrutor%20fibra%20de%20vidro.pdf)>. Acesso em: 5 maio 2015.

SILVA, L. **Utilização de microesferas ocas de vidro na aditivação de concreto.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

**Thermoplastic vs. thermosetting plastics.** Recycled Plastic. Disponível em: <<http://www.recycledplastic.com/index.html%3Fp=10288.html>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

TIMMONS, A. B. **Polímeros: conceitos gerais.** Departamento de Química, Universidade de Aveiro, abr. 2006. Disponível em: <<http://www2.dq.ua.pt/qne/doc/polimeros.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

VERMEIJ, H.; DE WITH G.; VEENEMAN, D. **Hollow glass microsphere composites: preparation and properties.** Journal of Materials Science. Holanda, vol. 20, p. 1069-1078, 1985.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Poliamida 6 e Poliamida 6.6.** In: **Plásticos de Engenharia. Tecnologia e aplicações.** São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005, p. 81-94.

WILSON, G.; ECKSTEIN, K. **Moldable Low Density Thermoplastic Composite with Hollow Glass Spheres And The Method For Compounding.** The BF Goodrich Company. Ohio, 21 May 1991.

Yalcin et al. **3M<sup>TM</sup> Glass Bubbles iM16K for Reinforced Thermoplastics.** 3M Company. St. Paul, USA, 2013.

IRINA MARINHO FACTORI

PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES DE  
COMPÓSITOS DE POLIAMIDA 6.6  
REFORÇADA COM PARTÍCULAS DE  
VIDRO RECICLADO

Dissertação apresentada a Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia.

Área de concentração: Engenharia de  
Materiais

São Paulo

2009

IRINA MARINHO FACTORI

PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES DE  
COMPÓSITOS DE POLIAMIDA 6.6  
REFORÇADA COM PARTÍCULAS DE  
VIDRO RECICLADO

Dissertação apresentada a Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia.

Área de concentração: Engenharia de  
Materiais

Orientador:

**Prof. Dr. Samuel Marcio Toffoli**

São Paulo

2009

### Ficha Catalográfica

Factori, Irina Marinho

Processamento e propriedades de compósitos de poliamida 6.6 reforçada com vidro reciclado. São Paulo, 2009.

66 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1. Materiais compósitos poliméricos. 2. Vidro reciclado I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. II. Título.

**“Verdade é a faculdade soberana da alma, a força espiritual por excelência, e pode mesmo dizer-se que é a essência da sua personalidade”.**

**Léon Denis**

## **Agradecimentos**

Ao meu esposo Edson, que sempre me incentivou e me apoiou e ao meu filho Arthur que é a minha motivação para caminhar sempre em frente.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Samuel Marcio Toffoli por toda a ajuda e pela oportunidade de poder fazer parte do seu grupo de pesquisas e assim poder desenvolver este trabalho.

À Saint Gobain Vidros do Brasil, especialmente a Mauro Arkeman que forneceu as amostras do vidro.

À Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda. (Unidade de São Bernardo do Campo), especialmente a Gisela Perez Gesteira, pela utilização dos recursos disponíveis nos seus laboratórios.

Ao Núcleo de Tecnologia em Cerâmica da escola SENAI especialmente a Mauricio Batista de Lima.

Aos professores Hélio Wiebeck e Nicole R. Dermaquette pelas valiosas críticas e sugestões durante a qualificação.

Aos meus queridos amigos e colaboradores Adevaldo Rodrigues, Cleverson Vanzin, Daniela Gomes, Enos Coutinho, João Paulo Morgueto e Talita Mosaner pelo apoio e dedicação.

Aos meus pais Roberto e Irene e a minha irmã Carina, por estarem sempre ao meu lado.

À minha amiga Jupira que sempre acreditou no meu sucesso.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente.

## Resumo

A poliamida 6.6 é um dos mais importantes membros da família das poliamidas, principalmente pelas excelentes propriedades de engenharia, como desempenho mecânico e térmico. A sua área de aplicação é ampliada pela adição de cargas inorgânicas. Dentre estas cargas podemos destacar as fibras de vidro, talco, wollastonita e micro esferas de vidro, cargas estas industrialmente conhecidas. Por outro lado, partículas de vidro reciclado provenientes de descarte nunca foram estudadas como reforço de poliamida 6.6, em especial as partículas menores, que são rejeitadas na reciclagem pela indústria do vidro por apresentarem dificuldade de transporte para os fornos, podendo depositar-se nos refratários (fenômeno de arraste), aumentando sua taxa de corrosão, assim reduzindo a vida útil dos fornos. Além disso, essas partículas têm formato irregular. Desse modo, compósitos de poliamida 6.6 reforçados com porcentagens variadas de vidro reciclado e cargas usualmente empregadas pela indústria foram processados em laboratório, com o auxílio de uma extrusora dupla-rosca e as amostras avaliadas foram obtidas por injeção. As seguintes propriedades dos compósitos foram avaliadas: resistência à tração, alongamento na ruptura, módulo na tração, resistência ao impacto Charpy sem entalhe, estabilidade dimensional e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados indicam que é possível utilizar-se partículas de vidro reciclado numa matriz de PA-6.6 uma vez que as propriedades do compósito final são compatíveis com aquelas proporcionadas pelas cargas comerciais usualmente empregadas.

## **Abstract**

Polyamide 6.6 is one of the most important members of the polyamide family, mainly for its excellent engineering properties such as good mechanical and thermal performances. Its application area is enlarged by the addition of inorganic fillers. Among these fillers, glass fibers, talc, wollastonite and glass microspheres could be highlighted, which are industrially known fillers. On the other hand, glass particles from glass cullet have never been studied as a polyamide reinforcement, specially the smaller particles, which are rejected by the glass industry because of the carry-over phenomenon, increasing the cost of the smoke washing, as well as the possibility of increasing refractory corrosion, therefore reducing the useful life of the furnaces. Furthermore, these particles present irregular shapes. In this research, polyamide 6.6 composites, reinforced with different percentages of recycled powder glass and other common fillers used by the industry, were processed in laboratory scale with the help of a double-screw extruder. Specimens for testing were obtained by injection, and the following composite properties were evaluated: tensile strength, elongation at rupture, elastic modulus, notchless Charpy impact strength, and dimensional stability. The specimens were also observed in a scanning electron microscope. The results indicated that it is possible to use particles of recycled glass in a PA-6.6 matrix, once the final composite properties are compatible to the ones of composites containing usual commercial fillers.

# SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DAS TABELAS.....	v
LISTA DAS FIGURAS.....	
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1. Polímeros.....	4
2.1.1. Poliamida.....	6
2.1.2. Poliamida 6.6.....	9
2.2. Cargas e reforços.....	12
2.2.1. Talco.....	13
2.2.2. Fibra de vidro.....	14
2.2.3. Micro esfera de vidro.....	16
2.2.4. Wollastonita.....	18
2.2.5. Vidro.....	20
2.2.5.1. Histórico e definição.....	20
2.2.5.2. Composição e propriedades.....	21
2.2.5.3. Fabricação.....	23
2.2.5.4. Reciclagem do vidro.....	24
2.2.6. Materiais compósitos.....	24
2.2.6.1. Compósitos poliméricos.....	25
2.2.6.2. Preparação de compósitos termoplásticos.....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1. Descrição dos materiais.....	28
3.1.1 Poliamida 6.6 – Technyl A200 Natural.....	28
3.1.2. Cargas e reforços comerciais.....	28
3.1.2.1 Talco – TALMAG P20.....	28
3.1.2.2. Fibra de vidro – DS 1109.....	29
3.1.2.3. Micro esfera de vidro – 3000 CP0302.....	29
3.1.2.4. Wollastonita – 10 WOLLASTOCOAT.....	30

3.1.2.5. Caco de vidro.....	31
3.2. Descrição dos métodos.....	31
3.2.1 Obtenção e moagem do caco de vidro.....	31
3.2.2. Preparação dos compósitos (Extrusão).....	32
3.2.3. Injeção dos corpos de prova.....	34
3.3. Técnicas de Caracterização.....	35
3.3.1. Análise de distribuição do tamanho de partículas.....	35
3.3.2. Avaliação da interação da poliamida 6.6 e carga mineral por microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	35
3.3.3. Propriedades mecânicas.....	36
3.3.3.1. Ensaios de resistência à tração, módulo de elasticidade na tração e alongamento.....	36
3.3.3.2. Ensaios de resistência ao impacto.....	38
3.3.4. Determinação do teor de carga.....	38
3.3.5. Determinação da estabilidade dimensional.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1. Análise do caco moído.....	40
4.2. Determinação do teor de carga.....	41
4.3. Avaliação de propriedades mecânicas.....	42
4.3.1. Alongamento na ruptura.....	42
4.3.2. Resistência à tração na ruptura .....	44
4.3.3. Módulo de elasticidade na tração.....	45
4.3.4. Resistência ao impacto Charpy (sem entalhe) .....	47
4.3.5 Estabilidade dimensional.....	49
4.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	52
5. CONCLUSÕES.....	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## LISTA DAS TABELAS

Tabela 2.1: Classificação das cargas ou reforços .....	12
Tabela 2.2: Composições típicas de diversos vidros comerciais .....	23
Tabela 3.1: Características do polímero empregado .....	28
Tabela 3.2: Valores típicos de composição do Talco TALMAG P20 .....	29
Tabela 3.3: Valores típicos de granulometria do Talco TALMAG P20 .....	29
Tabela 3.4: Propriedades típicas da fibra de vidro DS 1109 .....	29
Tabela 3.5: Propriedades típicas da micro esfera de vidro 3000 CP0302 .....	30
Tabela 3.6: Valores típicos de diâmetro das partículas da micro esfera de vidro 3000 CP0302 .....	30
Tabela 3.7: Composição química típica da wollastonita 10 Wollastocoat .....	30
Tabela 3.8: Propriedades típicas da wollastonita 10 Wollastocoat .....	31
Tabela 3.9: Composição química do vidro .....	31
Tabela 3.10: Composição dos compósitos poliméricos obtidos na primeira fase do estudo .....	34
Tabela 3.11: Composição dos compósitos poliméricos obtidos na segunda fase do estudo .....	34
Tabela 4.1: Distribuição do tamanho de partícula do caco de vidro moído em moinho de facas .....	40
Tabela 4.2: Tamanhos médios das partículas do vidro em pó, obtidos com o equipamento Coulter LS 100Q, após moinho de bolas .....	41
Tabela 4.3: Teor de carga das formulações utilizadas neste estudo .....	41
Tabela 4.4: Determinação do alongamento na ruptura (%) para o polímero puro e os compósitos .....	43
Tabela 4.5: Determinação da resistência à tração (MPa) para o polímero puro e os compósitos .....	44
Tabela 4.6: Determinação do módulo de elasticidade na tração (MPa) para o polímero puro e os compósitos .....	46
Tabela 4.7: Determinação da resistência ao impacto Charpy (KJ/m <sup>2</sup> ) sem entalhe para o polímero puro e os compósitos .....	47
Tabela 4.8: Estabilidade dimensional média paralela ao fluxo (%) .....	49
Tabela 4.9: Estabilidade dimensional média perpendicular ao fluxo (%) .....	50

## LISTA DAS FIGURAS

Figura 2.1: Curva típica de distribuição de massa molar de uma amostra polimérica .....	6
Figura 2.2: Representação da poliamida 6 ( <i>nylon-6</i> ) e da poliamida 6.6 ( <i>nylon-6.6</i> ) .....	7
Figura 2.3: Modelo de um polímero semicristalino .....	8
Figura 2.4: Obtenção da poliamida 6 a partir do ácido $\epsilon$ aminocapróico .....	9
Figura 2.5: Obtenção da poliamida 6 a partir da caprolactama .....	9
Figura 2.6: Obtenção da poliamida 6.6 .....	10
Figura 2.7: Representação da reação de formação da poliamida 6.6 .....	11
Figura 2.8: Estrutura da forma $\alpha$ da poliamida 6.6 .....	11
Figura 2.9: Micrografia por MEV de uma amostra de talco com ampliação de 5.000 vezes .....	14
Figura 2.10: Reação de um agente de acoplagem na interface fibra de vidro – polímero .....	15
Figura 2.11: Micrografia por MEV de uma superfície fraturada de poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro .....	16
Figura 2.12: Micrografia por MEV da fratura de um compósito de polisulfona e micro esfera de vidro .....	17
Figura 2.13: Micrografia por MEV da fratura de um compósito de poliamida 6.6 e micro esfera de vidro .....	17
Figura 2.14: Estrutura cristalina da wollastonita .....	19
Figura 2.15: Micrografia por MEV da wollastonita com ampliação de 1000 vezes .....	19
Figura 2.16: Tetraedro de $\text{SiO}_4$ .....	21
Figura 2.17: Representação bidimensional .....	21
Figura 2.18: Estrutura do vidro-sílica .....	22
Figura 2.19: Ilustração de parte de um conjunto rosca co-rotacional .....	27
Figura 3.1: Agitador eletromagnético (tipo Granutest) .....	32
Figura 3.2: Conjunto de peneiras Tyler .....	32
Figura 3.3: Corpo de prova de resistência à tração conforme norma ASTM D638 .....	37
Figura 3.4: Exemplo das placas utilizadas para as medidas de contração .....	39

Figura 4.1: Representação do alongamento médio na ruptura (%).....	43
Figura 4.2: Representação da resistência à tração média na ruptura (MPa).....	45
Figura 4.3: Representação do módulo de elasticidade médio na tração (MPa) .	46
Figura 4.4: Representação da resistência ao impacto Charpy sem entalhe (KJ/m <sup>2</sup> ) .....	48
Figura 4.5: Representação da estabilidade dimensional média paralela ao fluxo (%) .....	49
Figura 4.6: Representação da estabilidade dimensional média perpendicular ao fluxo (%) .....	50
Figura 4.7: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de talco .....	52
Figura 4.8: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de fibra de vidro .....	53
Figura 4.9: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de micro esfera de vidro .....	54
Figura 4.10: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de wollastonita .....	55
Figura 4.11: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de vidro moído .....	56

# 1. INTRODUÇÃO

Os polímeros que ocorrem naturalmente - aqueles derivados de plantas e animais - têm sido usados durante muitos séculos; estes materiais incluem madeira, borracha, algodão, lã, couro e seda. Outros polímeros naturais tais como proteínas, enzimas, amidos e celulose são importantes em processos biológicos e fisiológicos em plantas e animais. No início do século XIX, ferramentas científicas tornaram possível a determinação de estruturas moleculares deste grupo de materiais e o desenvolvimento de numerosos polímeros que são sintetizados a partir de pequenas moléculas orgânicas. Desde o fim da Segunda Guerra Mundial, o campo de materiais tem sido virtualmente revolucionado pelo advento de polímeros sintéticos. Os sintéticos podem ser produzidos economicamente e suas propriedades podem ser administradas a um grau tal que muitos são superiores às suas contrapartidas naturais. Em algumas aplicações partes de metal e de madeira foram substituídas por plásticos, que têm propriedades satisfatórias e podem ser produzidos a um custo mais baixo [1].

Sistemas poliméricos são amplamente utilizados devido a algumas características particulares: facilidade de produção, baixo peso e freqüentemente natureza dúctil. Entretanto, os polímeros apresentam baixa resistência à tração e módulo de elasticidade quando comparados aos materiais cerâmicos e metálicos. Um modo de aumentar essas propriedades é a utilização de materiais de reforço, tais como fibras, esferas ou partículas originando os materiais compósitos poliméricos [2].

Materiais compósitos são materiais projetados de modo a conjugar características desejáveis de dois ou mais materiais. A grande expansão no desenvolvimento e no uso dos materiais compósitos se iniciou na década de 1970 [3].

Compósitos poliméricos (também denominados plásticos reforçados) são materiais formados por uma matriz polimérica e um reforço (fase descontínua, freqüentemente uma fibra). Entre as vantagens dos compósitos poliméricos estão: baixo peso, resistência à corrosão e a temperaturas

elevadas e ótimas propriedades mecânicas, quando comparados aos materiais convencionais de engenharia [4].

O vidro é um ótimo agente de reforço porque tem uma alta resistência à tração e um alto módulo de elasticidade. As fibras de vidro têm uma boa estabilidade dimensional, não sofrem fluência e essas características são repassadas para o compósito reforçado com essas fibras, enquanto a matriz polimérica é responsável pela flexibilidade [3,5].

As composições individuais dos vidros variam muito, pois pequenas alterações são feitas para proporcionar propriedades específicas, tais como cor e transparência, por exemplo. Apesar de apresentar o aspecto de um sólido amorfo (sem estrutura cristalina), o vidro apresenta características de um líquido em sua ordenação atômica, mesmo em temperatura ambiente e é uma substância de alta viscosidade [6]. O vidro comum se obtém por fusão em torno de 1.550 °C da sílica, ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), entre outras matérias-primas [7]. Sua manipulação só é possível enquanto fluído, pois se torna quente e maleável.

É importante ressaltar que o montante de vidro descartado (garrafas, vasilhames diversos, vidros planos da construção civil, etc.) representava em 2006, em nível mundial aproximadamente 7,5% em peso do total de lixo doméstico gerado [8]. No Brasil, jogam-se no lixo cerca de 40 bilhões de garrafas e objetos de vidro por ano. O lixo de vidro deve ser separado e direcionado às usinas de reciclagem [9].

As poliamidas ou nylons são plásticos semicristalinos e pertencem a uma classe de polímeros atraente para aplicações em engenharia devido à combinação de propriedades como: estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto sem entalhe, excelente resistência química e fácil processamento [19].

Por outro lado, as poliamidas são altamente higroscópicas e sensíveis ao entalhe, isto é, são dúcteis quando não entalhados, mas fraturam de maneira frágil quando entalhados, devido a sua baixa resistência à propagação da trinca [41].

Além disso, a adição de reforços inorgânicos confere ao compósito obtido aumento da propriedade de resistência ao impacto, módulo de

elasticidade e boa estabilidade dimensional devido à redução da absorção de água.

A proposta deste estudo é investigar a utilização de pó de vidro como reforço da poliamida 6.6 de forma a obter um compósito que possa ser processado industrialmente e apresente propriedades mecânicas satisfatórias para a indústria de transformação.

## **Objetivos**

- Fabricar compósitos de poliamida 6.6 e vidro reciclado (caco) sem tratamento químico utilizando técnicas de processamento convencionais;
- Estudar o processamento e propriedades do compósito obtido;
- Comparar as propriedades de compósitos obtidos com vidro reciclado e com as cargas convencionais, após o processo de mistura e injeção;

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentada uma breve abordagem sobre os conceitos necessários para a elaboração e preparação do compósito de poliamida 6.6 com vidro moído reciclado. A seqüência adotada foi: polímeros, poliamidas, poliamida 6.6, compósitos, compósitos poliméricos, cargas e vidro.

### 2.1 Polímeros

De acordo com alguns autores, macromolécula é um termo geral que enquadra todas as moléculas de tamanho elevado e polímero é o termo específico utilizado para aquelas moléculas grandes que são formadas por repetições de estruturas pequenas (*poli* = muitos e *meros* = repetição) [10].

Outros autores, entretanto, afirmam que os polímeros orgânicos são geralmente constituídos de macromoléculas, ou seja, a união de átomos de massa elevada, ligados entre si por ligações covalentes e as macromoléculas, por sua vez, se associam por ligações secundárias muito mais fracas. A estrutura molecular é a principal determinante das propriedades tecnológicas dos polímeros [11].

Os polímeros são quase que totalmente originários da indústria petroquímica e apesar da crise do petróleo em 1973, observou-se neste período o desenvolvimento deste material, com uma utilização cada vez maior nas áreas de aeronáutica, automobilística, eletrônica e eletrotécnica.

Este desenvolvimento industrial impulsionou a produção dos polímeros técnicos, ou polímeros de engenharia, ou ainda, plásticos de engenharia como: policarbonatos, poliamidas, poliésteres, poliétersulfonas, poliimididas, etc. e também dos polímeros de uso corrente como: polietileno, polipropileno, PVC, ABS, etc. [11].

Os polímeros foram originalmente classificados por Carothers (1929) em polímeros de adição e polímeros de condensação com base na diferença de composição entre o polímero e os monômeros de onde

foi sintetizado. De acordo com ele, polímeros de condensação eram aqueles polímeros formados por monômeros polifuncionais através de várias reações de condensação com a eliminação de moléculas pequenas tal como a água. Um exemplo deste tipo de reação é a obtenção das poliamidas formada a partir de diaminas e diácidos com a eliminação de uma molécula de água [14, 73]. Já os polímeros de adição são aqueles formados a partir de monômeros sem a perda de moléculas pequenas. Diferentemente dos polímeros de condensação a unidade de repetição de um polímero de adição tem a mesma composição do monômero. A maior parte dos polímeros de adição é formada pela polimerização de monômeros que contém uma dupla ligação carbono-carbono (monômeros vinílicos) [73].

Por outro lado, Flory (1953) reforça a importância significativa da diferença no mecanismo pelo qual as moléculas do polímero são formadas. Apesar de continuar usando os termos adição e condensação em suas discussões sobre mecanismos de polimerização, a terminologia mais recente utiliza a classificação de polimerização em cadeia e em etapas [73].

Durante o processo de polimerização são formadas cadeias longas, mas de tamanhos diferentes, esse tamanho pode variar apresentando uma distribuição de peso molecular típica para cada processo, uma vez que nem todos os polímeros crescem do mesmo modo. Esse fenômeno é conhecido como polidispersão. As propriedades únicas dos polímeros são resultado, em primeiro lugar, do alto peso molecular que possuem. Flexibilidade molecular, ligações de hidrogênio, cristalinidade, ligações cruzadas etc. têm participação complementar nessas propriedades. O termo mais usado é o de peso molecular [3, 10, 11, 16], mas trata-se na verdade de massas molares, e, portanto será esta a nomenclatura que será adotada neste trabalho.

Existem várias formas de determinar a massa molar média de um polímero [16].

Uma curva típica (Figura 2.1) é formada pela seguinte distribuição de massas molares [16]:

- Massa Molar Numérica Média ( $M_n$ ): que é sensível à concentração das espécies de baixa massa molar;
- Massa Molecular Ponderal Média ( $M_w$ ): que é sensível às moléculas de maior massa molar;
- Massa Molecular Viscosimétrica Média ( $M_v$ ): é uma medida de viscosidade de soluções poliméricas diluídas que permite o cálculo de uma massa molar média. Esta medida produz um valor de massa molar que está mais próximo de  $M_w$  do que do  $M_n$  para um polímero polidisperso.

A distribuição de massa molar, ou polidispersão é determinada a partir da razão  $M_w/M_n$ . Para amostras monodispersas esta razão é igual a uma unidade.

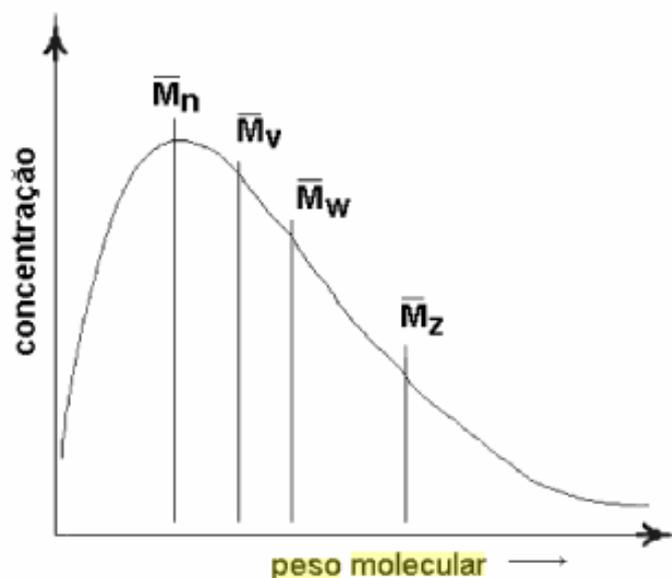


Figura 2.1: Curva típica de distribuição de massa molar de uma amostra polimérica [10].

### 2.1.1 Poliamida

De acordo com vários autores [17, 18,19], as poliamidas constituem uma classe de polímeros bastante atraentes para aplicações de engenharia devido à combinação de propriedades boa resistência química e a abrasão, elevada resistência à tensão e à flexão, estabilidade dimensional e fácil processamento. Por outro lado, as poliamidas são bastante sensíveis ao entalhe, por apresentarem alta resistência à iniciação de trinca, ou seja, são dúcteis quando não

entalhados, mas fraturam de maneira frágil quando entalhados [18]. Além disso, devido ao seu caráter hidrofílico, propriedades como estabilidade dimensional, densidade, resistência mecânica, elétrica variam de acordo com a umidade [17, 20,21].

A primeira poliamida sintética foi comercializada em 1935 pela empresa DuPont e batizada com o nome de *Nylon* [27]. Ela se apresentava sob a forma de fibras e foi utilizada para a fabricação de meias.

As poliamidas consistem de segmentos de polietileno (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> separados por unidades de peptídeos (NH-CO) que estão tanto paralelos como antiparalelos. Estas unidades de peptídeos possibilitam a ligação do hidrogênio com a cadeia do polímero (Figura 2.2), proporcionando ao *Nylon* algumas propriedades típicas [22].

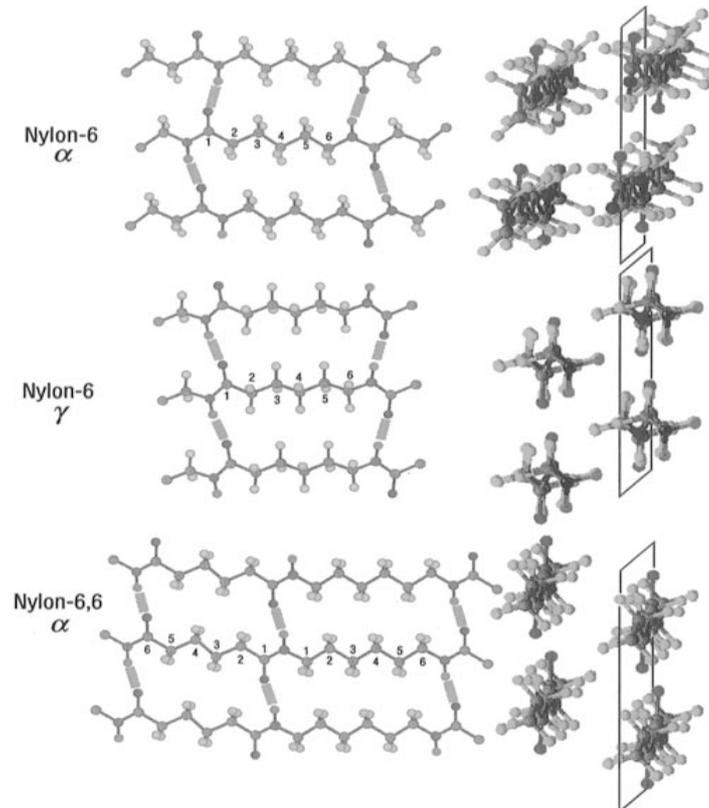
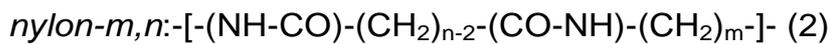


Figura 2.2: Representação da poliamida 6 (*nylon-6*) e da poliamida 6.6 (*nylon-6.6*) [22].

Em contraste com polímeros altamente cristalinos como o polietileno, as poliamidas, que são semicristalinas, podem ter seu grau de cristalinidade controlado em larga escala [22,23].

A alteração da densidade da amida pode implicar na mudança de propriedades como a temperatura de fusão, módulo, resistência ao impacto à baixa temperatura, absorção da umidade, e resistência química a sais e ácidos.

A Figura 2.3 apresenta o modelo de um polímero semicristalino.

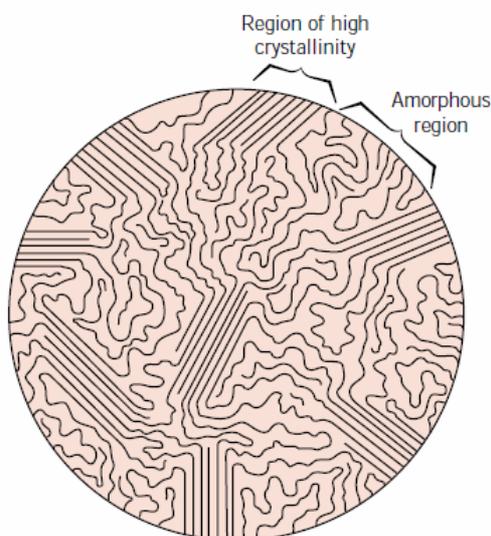


Figura 2.3: Modelo de um polímero semicristalino [1].

Existem diferentes tipos de poliamidas, porém as mais representativas deste grupo são a poliamida 6 e a poliamida 6.6 [22,24], apresentam estrutura linear e conformação das cadeias em zigue-zague com pontes de hidrogênio entre grupos funcionais [25]. São amplamente utilizadas na produção de carpetes e peças de vestuário. Apresentam também custo relativamente competitivo em virtude da grande capacidade de produção mundial de seus monômeros [26].

A poliamida 6 foi produzida originalmente a partir do aquecimento do ácido  $\epsilon$ -aminocapróico e a eliminação da água entre as moléculas de natureza idênticas formava as cadeias de poliamida [13] (Figura 2.4).

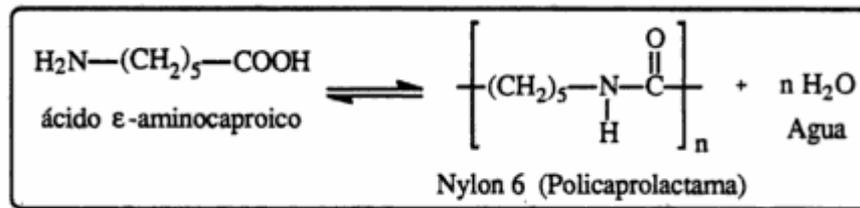


Figura 2.4: Obtenção da poliamida 6 a partir do ácido  $\epsilon$ - aminocapróico [15]

Descobriu-se mais tarde que era possível a obtenção do mesmo produto pela abertura do anel e polimerização da caprolactama, uma amida interna (Figura 2.5).

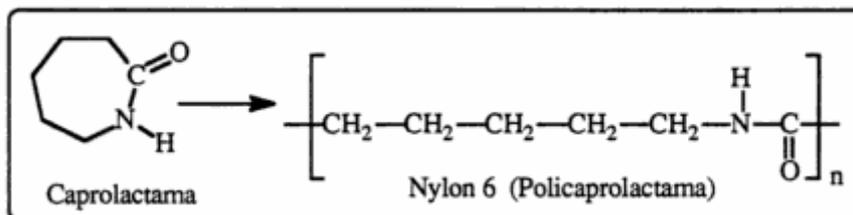


Figura 2.5: Obtenção da poliamida 6 a partir da caprolactama [15].

A poliamida 6.6, outra componente importante do grupo das poliamidas e que é um dos objetos deste estudo, será discutida a seguir.

### 2.1.2 Poliamida 6.6

O desenvolvimento da poliamida 6.6., tem sua origem no ano de 1927, com a implantação pela empresa norte americana, E. I. DuPont de Nemours de um programa de pesquisa em química orgânica para o desenvolvimento de processos e produtos químicos. Em 1928 o Dr. Wallace Hume Carothers, da Universidade de Harvard, assume a direção das pesquisas, sendo que em 1929, o objetivo dos trabalhos direcionava-se na obtenção de novas fibras para aplicação têxtil e no desenvolvimento de polímeros por policondensação.

O primeiro processo de síntese de um polímero a partir da hexametilenodiamina e do ácido adípico foi realizado em laboratório, em 28 de fevereiro de 1935 e denominado inicialmente de polímero 6.6.

Em 1938 foram iniciados os testes para produção industrial em uma unidade da DuPont em Seaford, Delaware e em 1940 o fio denominado de

nylon, foi lançado comercialmente na produção de meias femininas. A Figura 2.6 apresenta o fluxo do processo de obtenção da poliamida 6.6 a partir do benzeno [27].

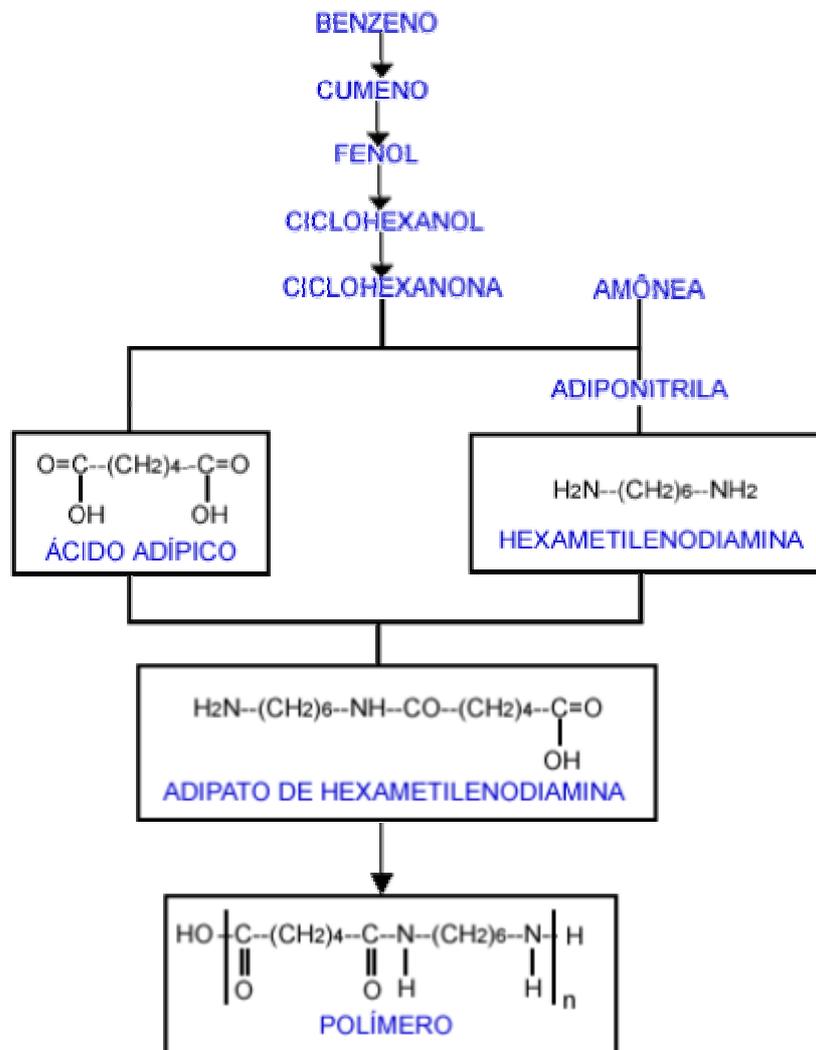


Figura 2.6: Obtenção da poliamida 6.6

Conforme já mencionado, a poliamida 6.6 é obtida a partir de um ácido dicarboxílico, o ácido hexanodióico (ácido adípico) que possui seis átomos de carbono, e uma diamina o hexano-1,6-diamina (hexametileno diamina) que também possui seis átomos de carbono (Figura 2.7). O aquecimento da mistura dos dois compostos leva a eliminação de uma molécula de água entre um grupo amina e um grupo carboxílico e a formação de uma amida. A reação se repete um grande número de vezes formando um polímero de cadeia longa que pode ser utilizado em inúmeros processos de fabricação. Pode-se fiá-la para a

obtenção de fibras que serão empregadas na produção de carpetes, ou ainda moldá-la para a obtenção de peças rígidas que serão utilizadas como engrenagens diversas ou ainda em peças para a indústria automobilística [13].

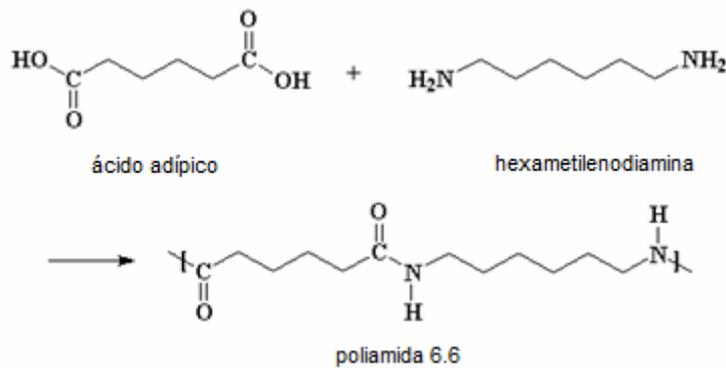


Figura 2.7: Representação da reação de formação da poliamida 6.6 [28].

Para a produção da poliamida 6.6 não é necessário o uso de catalisadores, pois o ácido (monômero) age como catalisador [28].

Relata-se que existem fortes interações entre moléculas que contém ligações que apresentam um momento dipolar permanente, normalmente associadas à presença de grupos Cl, CN ou OH. Estas ligações são um fator importante na cristalização das poliamidas, sendo que na poliamida 6.6 as pontes de hidrogênio intermoleculares se estabelecem entre os grupos amida e os grupos OH (Figura 2.8).

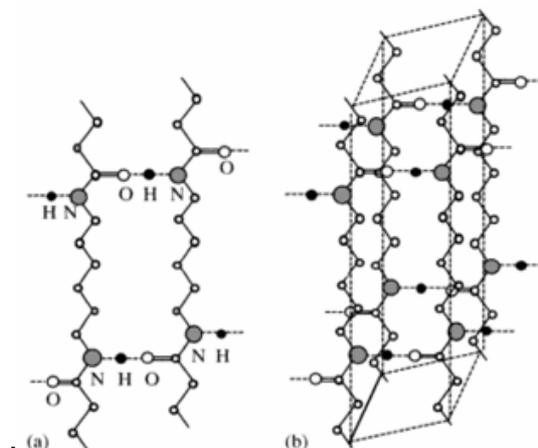


Figura 2.8: Estrutura da forma  $\alpha$  da poliamida 6.6: (a) camada contendo as pontes de hidrogênio e (b) malha elementar (os hidrogênios que não formam pontes são omitidos) [29]

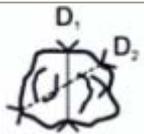
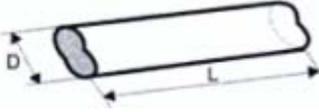
A poliamida 6.6 possui limitações de estabilidade dimensional

durante o processo de resfriamento de peças moldadas por injeção. Este efeito pode ser corrigido com a adição de cargas à base de silicatos, como o talco [34].

## 2.2 Cargas e Reforços

Chama-se de carga ou reforço todo componente insolúvel que quando é adicionado ao polímero modifica uma ou mais propriedades do polímero puro. Estes reforços são freqüentemente classificados segundo sua forma: grãos ou esferas, lamelas, agulhas ou fibras (Tabela 2.1) [30].

Tabela 2.1: Classificação das cargas ou reforços [30].

Natureza	Geometria	Razão de forma	Exemplos
Granular ou esférica		$\frac{D_1}{D_2} = 1$	Esfera de vidro $C_aCO_3$ Negro de fumo
Lamelar		$\frac{D}{e} = 10 \text{ à } 40$	Talco Mica
Acicular (“agulhas”)		$\frac{L}{D} = 10 \text{ à } 100$	Fibras curtas ( $L < 2 \text{ mm}$ ) Wollastonita
Fibrilar		$\frac{L}{D} > 100$	Fibras longas ( $L > 2 \text{ mm}$ ) Fibra de vidro, Kevlar

As funções básicas das cargas minerais ou sintéticas em compostos termoplásticos são estratégicas e econômicas, substituindo parcialmente as matrizes poliméricas, ampliando suas aplicações com a incorporação ou promoção de propriedades físicas, químicas e de processamento desejáveis no plástico [12,31].

Uma das primeiras etapas de um projeto de desenvolvimento de um novo compósito polimérico é a escolha dos tipos de cargas a

serem testadas, ou suas combinações, que misturadas ao polímero e demais aditivos, assegurem as especificações técnicas propostas a um custo desejado. Esta escolha não pode ser arbitrária, ela deve ser baseada em critérios técnicos e econômicos previamente estabelecidos, a partir de um profundo conhecimento das propriedades de cada componente [31].

As cargas são aditivos sólidos, geralmente inorgânicos, que são incorporados em uma matriz polimérica e podem ser classificados de acordo com o efeito com o seu efeito nas propriedades mecânicas da mistura resultante. Além de proporcionar redução de custo estas cargas podem proporcionar o aumento da densidade do composto, reduzir a estabilidade dimensional, além de aumentar a dureza e a temperatura de deflexão sob carga. Em alguns casos, forma-se uma ligação química entre a carga e o polímero e em outros casos o volume ocupado pela carga afeta as propriedades do termoplástico [12].

Dentre as cargas disponíveis, utilizamos neste trabalho, para efeito de comparação com o caco de vidro, aquelas que são mais utilizadas industrialmente: talco, wollastonita, micro esfera de vidro e fibra de vidro e serão descritas a seguir.

### **2.2.1 Talco**

O talco é uma matéria prima mineral amplamente utilizada na indústria moderna podendo ser empregado em vários segmentos [32].

Dentre estes segmentos pode-se destacar o de compósitos termoplásticos, inclusive o de engenharia sendo que neste caso ele é utilizado como carga mineral, para redução da quantidade de matriz polimérica em até 40%, ou como mineral funcional, para a promoção de propriedades físicas, químicas e de processamento, propriedades estas desejáveis no plástico. Sua estrutura cristalina, a textura lamelar e o comportamento reológico explicam as propriedades mais notáveis dos compósitos termoplásticos carregados com talco: rigidez e estabilidade térmica e dimensional, entre outras. Este mineral pode ocorrer em uma variedade de ambientes geológicos, associado a inúmeras impurezas minerais [31].

A composição química do talco, expressa pela fórmula de óxidos, é  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . A fórmula da célula unitária, que é o dobro da fórmula de óxidos, é  $\text{Mg}_6\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ . Os cristais de talco são formados pelo empilhamento de camadas 2:1, cada uma sendo constituída por uma folha octaédrica de brucita  $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$  no meio de duas folhas tetraédricas de  $\text{SiO}_2$ . A carga elétrica da célula unitária é neutra. Os cristais de talco clivam facilmente, gerando cristais menores, de forma lamelar e com perfil ou contorno irregular. Desse comportamento decorrem as propriedades lubrificantes do talco em pó [74].

A Figura 2.9 apresenta uma micrografia de uma amostra de talco [35].

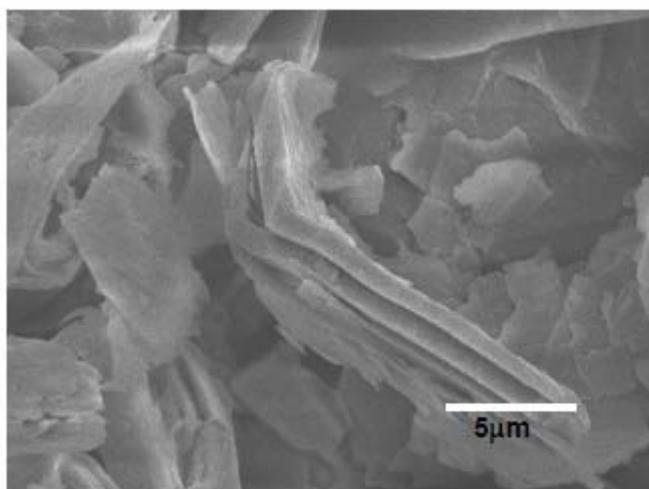


Figura 2.9: Micrografia pó MEV de uma amostra de talco com ampliação de 5.000 vezes [35]

### 2.2.2 Fibra de Vidro

Apesar das fibras serem comuns há 3000 anos, suas propriedades como reforços só foram conhecidas durante este século [36].

A fibra de vidro é atualmente o agente de reforço mais utilizado em virtude de suas características mecânicas e custo acessível [37]. A grande maioria (~95%) é de borossilicato de alumínio contendo pequenas quantidades (~1%) de fundentes ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) e são conhecidas como fibras de vidro tipo E. Esses fundentes reduzem a viscosidade do vidro permitindo a obtenção das fibras em temperatura mais baixa.

As fibras de vidro tipo E são fiadas a uma temperatura de  $1250^\circ\text{C}$  a

elevadas velocidades (várias dezenas de metros por segundo) resfriadas a ar e em seguida em água [38]. Após receber a ensimagem, os filamentos que possuem diâmetro entre 5 a 25  $\mu\text{m}$  são unidos para formar o fio de base. Esta ensimagem é responsável pela adesão química da fibra de vidro na matriz polimérica e sua composição varia de acordo com o tipo de polímero presente na matriz [7]. Os agentes de acoplamento mais utilizados são os silanos e o mecanismo está representado na Figura 2.10.

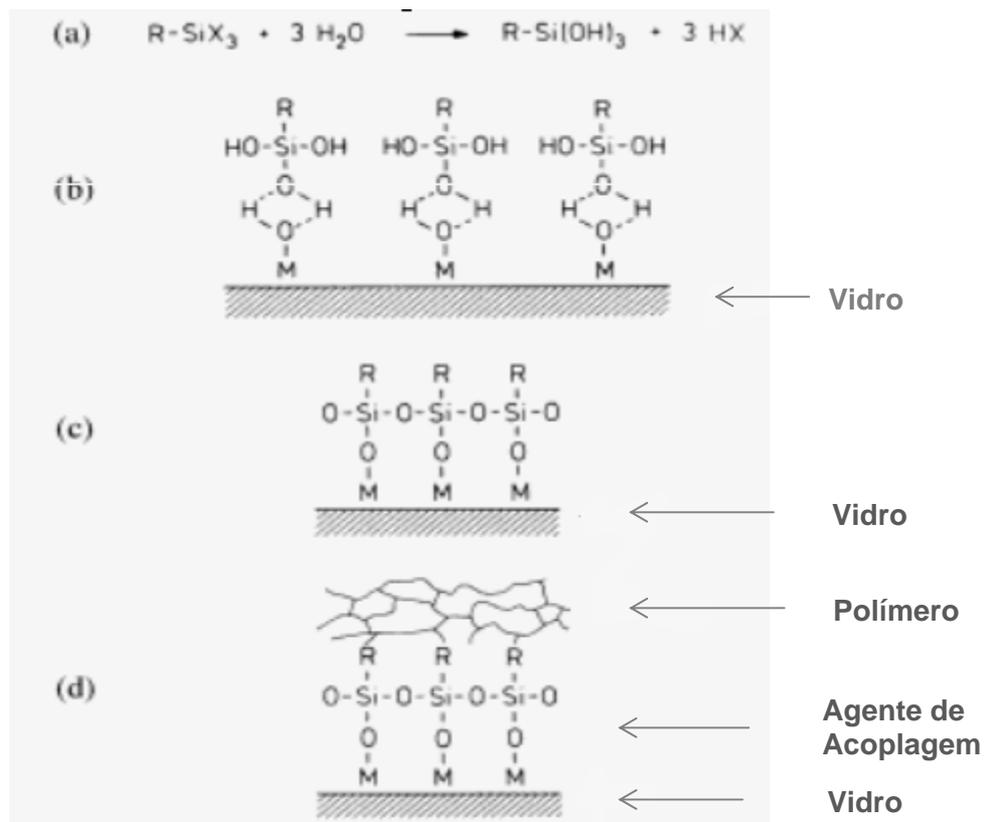


Figura 2.10: Reação de um agente de acoplamento na interface fibra de vidro – polímero: (a) hidrólise do agente de acoplamento com a formação de silanóis; (b) formação da ligação do hidrogênio entre o silanol e a superfície do vidro; (c) formação de uma ligação química na superfície do vidro e (d) com o polímero, onde Cl representa um halogênio e M um cátion metálico [7].

Ao longo das últimas décadas, compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de vidro foram bem aceitos como materiais de engenharia para aplicações automobilísticas, indústrias aeroespacial e naval, em ambientes corrosivos, necessidade de alta resistência mecânica (módulo) e em aplicações em temperaturas abaixo de  $0^\circ\text{C}$  [39,43]. Porém quando

processadas, as fibras se tornam mais curtas especialmente no caso de moldagem por injeção na qual uma grande tensão é aplicada para fundir [40].

A Figura 2.11 apresenta uma micrografia de um compósito de poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro [41].

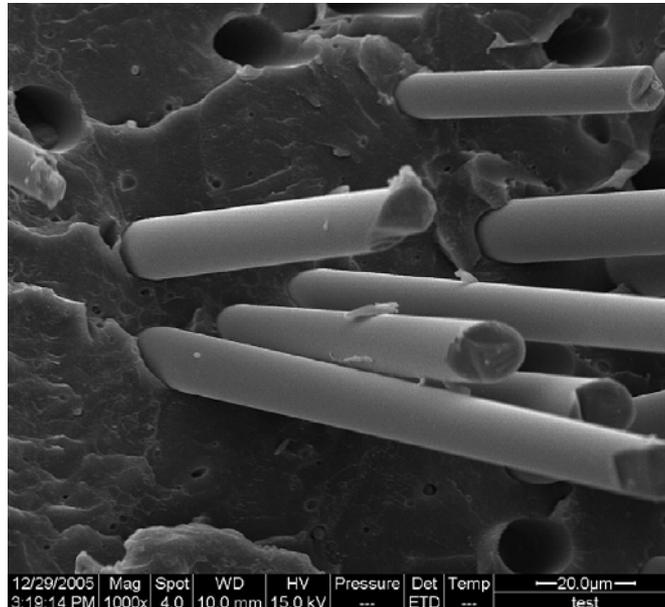


Figura 2.11: Micrografia por MEV de uma superfície fraturada de poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro. [41].

### 2.2.3 Micro Esfera de Vidro

A micro esfera de vidro vem sendo largamente utilizada para melhorar propriedades mecânicas e térmicas de polímeros comerciais [23]. Apresenta várias diferenças em relação a outras cargas não esféricas, tais como fibras, grânulos, flocos e irregulares, como, por exemplo, a razão entre a área e o volume é a menor dentre todas as mencionadas o que resulta em uma viscosidade menor quando comparada à adição do mesmo volume de outra carga [30, 43].

As Figuras 2.12 [43] e 2.13 [72] apresentam micrografias obtidas com auxílio de um MEV, para uma amostra de micro esfera de vidro em polisulfona e para outra em poliamida 6.6.

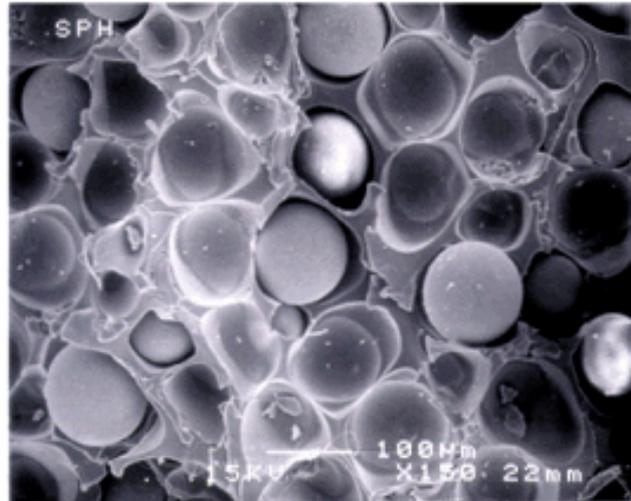


Figura 2.12: Micrografia por MEV da fratura de um composto de polisulfona e micro esfera de vidro [43].

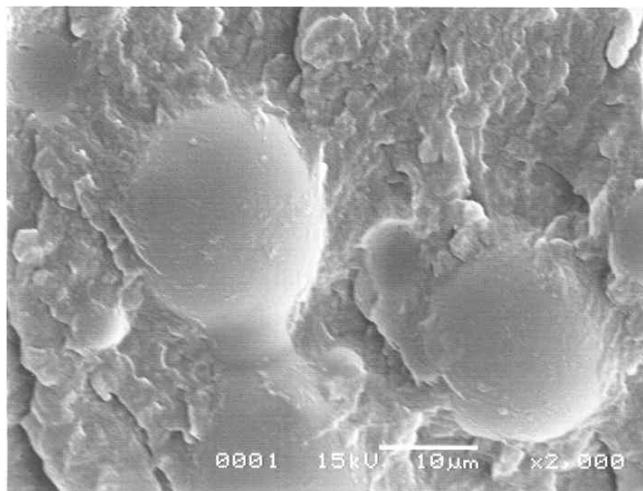


Figura 2.13: Micrografia por MEV da fratura de um composto de poliamida 6.6 e micro esfera de vidro [72].

Os múltiplos benefícios para o processo e qualidade das peças acabadas podem ser resumidos, como se apresenta a seguir [44]:

➤ **Melhor dispersão:**

- Melhora a distribuição das fibras nas resinas;
- Permite produzir peças mais complexas - peças de alta qualidade;
- Possibilita qualidade uniforme de produção, havendo menos rejeição.

➤ **Maior fluidez (Efeito Rolamento)**

- Menor viscosidade do sistema de resinas;
- Melhor enchimento dos moldes;
- Aumento de produção.

➤ **Forma esférica**

- Comportamento isotrópico;
- Contrações uniformes em todas as direções;
- Menos deformações, ocorrendo maior estabilidade dimensional.

#### **2.2.4 Wollastonita**

A wollastonita, nomeada devido a W.H. Wollaston, um mineralogista e químico inglês, é um metasilicato de cálcio com fórmula química  $\text{CaSiO}_3$ . É o único mineral natural acicular, não metálico. Esta acicularidade é a principal razão de sua ascendência no final da década de 70 e 80, como substituto do amianto e fibra de vidro. Sua composição teórica é de 48,3% de óxido de cálcio e 51,7% de dióxido de silício, mas pode conter impurezas como Al, Fe, Mg, Mn, K e Na. As duas formas de formação deste mineral envolvem metamorfismo (calor e pressão) do calcário. A sílica (quartzo) e o calcário reagem para formar a wollastonita, isto ocorre normalmente através de contato metamórfico como resultado de atividade ígnea intrusiva. Pode se formar também pela passagem de soluções hidrotérmicas com alto teor de sílica através de leitos de calcário em um processo chamado metasomatismo. O mineral é usualmente branco, mas pode ser cinza, marrom ou vermelho de acordo com as impurezas.

A wollastonita sintética é preferida em função do baixo nível de impurezas e propriedades físico-químicas constantes. Ela existe em três tipos cristalinos diferentes: 1A (wollastonita, triclinica), 2M (Parawollastonita, monoclinica) e 7M (Pseudowollastonita, triclinica). O tipo 1A é a forma predominante, sendo os outros dois muito raros na natureza. A sua aplicação como carga em compósitos poliméricos é devida a baixa absorção de água, boa estabilidade térmica, pureza química e propriedades de reforço [45].

A Figura 2.14 apresenta a estrutura cristalina da wollastonita.

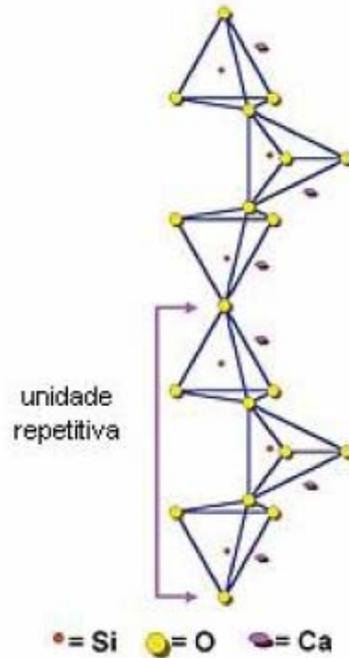


Figura 2.14: Estrutura cristalina da wollastonita [45].

A Figura 2.15 apresenta uma micrografia (MEV) da wollastonita com ampliação de 1000 vezes [62].

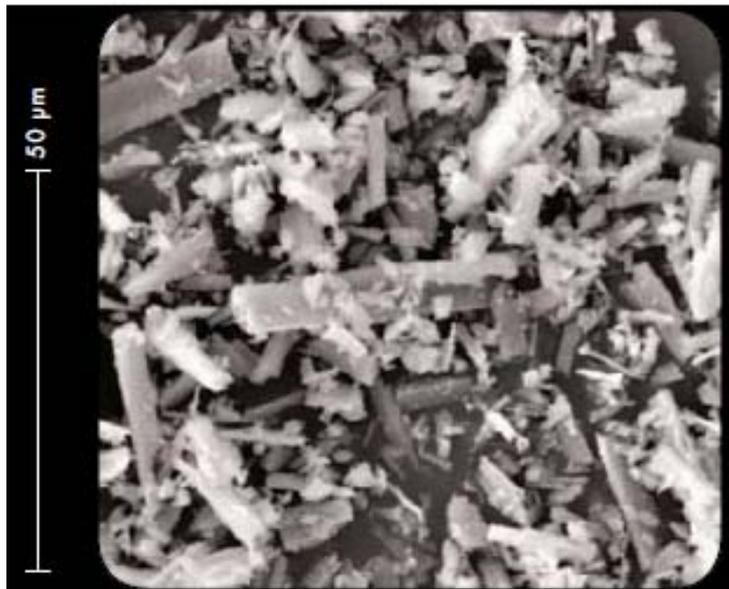


Figura 2.15: Micrografia por MEV da wollastonita - ampliação de 1000 vezes [62]

## **2.2.5 Vidro**

### **2.2.5.1 Histórico e Definição**

O vidro é um dos materiais mais versáteis e também um dos mais antigos, pois nem sempre foram fabricados pelo homem [46,47]. Os chamados vidros naturais podem ser formados quando alguns tipos de rochas são fundidos a elevadas temperaturas e, em seguida, solidificadas rapidamente (erupções vulcânicas) [6].

Os primeiros vidros incolores surgiram por volta de 100 d.C., em Alexandria, graças à introdução de óxido de manganês nas composições e de melhoramentos importantes nos fornos, como a produção de altas temperaturas e o controle da atmosfera de combustão. A composição desta época era basicamente misturas de sílica, cal e soda. A adição de baixos teores de íons de cobalto, cromo, cobre, manganês e ferro promovem mudanças de cor, como por exemplo, a adição de 0,15% de CoO confere ao vidro de carbonato de sódio a cor azul escura [3,6].

No Brasil a produção do segmento de vidros está concentrada na região Sudeste, em torno de 86,4% da capacidade instalada. Nessa indústria se destacam os segmentos de embalagens (47,5%), vidros planos (37,6%) e de vidros domésticos (6,6%), que totalizam 90,7% da produção [48].

Os primeiros estudos sobre vidro foram realizados por Michael Faraday, em 1830, que definiu o vidro como sendo “materiais mais aparentados a uma solução de diferentes substâncias do que um composto em si” [6].

O vidro inorgânico é definido como uma substância amorfa (não apresenta ordem de longo alcance), transparente ou translúcida à luz visível, com propriedades isotrópicas. É isolante térmico e elétrico, amolece antes de fundir permitindo a conformação por sopro de formas intrincadas que consiste de uma mistura óxidos sempre com o SiO<sub>2</sub> (silicatos) como predominante, ou ainda de boratos e fosfatos, formados pela fusão de silicatos, ou óxidos de boro ou fósforo dentro de uma massa que resfria em uma condição rígida sem cristalização. Podem ser formulados para absorver ou transmitir determinados comprimentos de onda [3, 8, 49, 50].

Pode ser definido ainda como um material inerte, mas que apresenta a capacidade de estabelecer interações com diversas substâncias (água,

aminas, ácidos carboxílicos, mercaptanas, etc.). Essas interações podem ser através de ligações de van der Waals, ligações de hidrogênio, ataque nucleófilo e eletrofílico. Assim, tratamentos químicos e a introdução de grupos funcionais são facilitados devido ao caráter reativo da estrutura vítrea, principalmente pelos grupos silanóis (Si-OH) da superfície [8].

### 2.2.5.2 Composição e Propriedades

O principal componente do vidro é o tetraedro de  $\text{SiO}_4$  (Figura 2.16) e os vidros tradicionais devem ser classificados como materiais cerâmicos [3, 8,79].

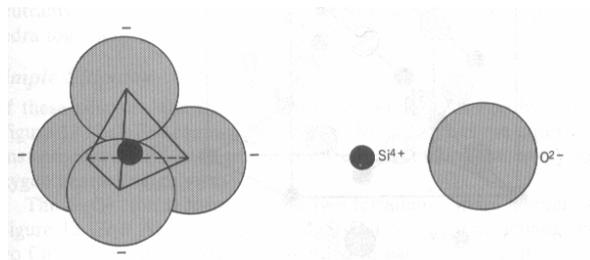


Figura 2.16 – Tetraedro de  $\text{SiO}_4$  [1]

A base estrutural para a formação de vidros por fusão/resfriamento foi firmada por Zachariasen (Figura 2.17), que propôs que o arranjo atômico em vidros é caracterizado por uma rede tridimensional estendida que apresenta ausência de simetria e periodicidade e este é o fator que diferencia o vidro do cristal [6, 75].

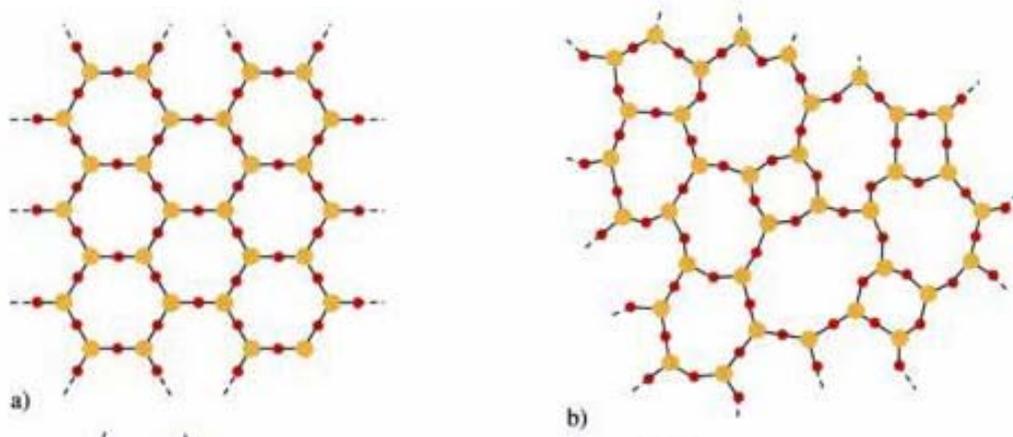


Figura 2.17: Representação bidimensional: a) de um cristal de quartzo; b) do vidro [75].

A Figura 2.18 apresenta esquematicamente a estrutura do vidro - sílica, que é um sólido acima de  $1000^\circ\text{C}$  devido à ligação covalente entre os

átomos de Si e O. A adição de soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) rompe a estrutura e abaixa a temperatura de amolecimento (temperatura de trabalho) para próximo dos  $600^\circ\text{C}$ . O vidro-soda resultante é utilizado na fabricação de garrafas e janelas. Com a adição de óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) obtém-se o vidro boro – silicato, sendo o pyrex um tipo, que trabalha em altas temperaturas [50].

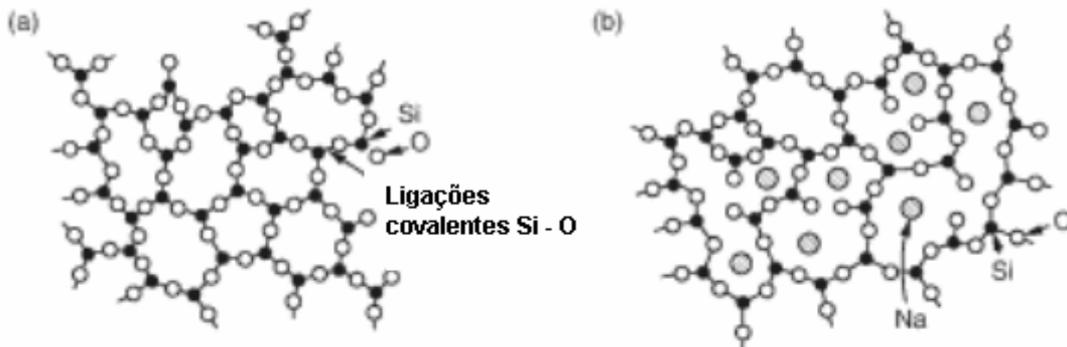


Figura 2.18: Estrutura do vidro-sílica - a) Átomo na sílica amorfa e b) Como a adição de soda rompe a ligação da sílica amorfa resultando no vidro-soda [50].

Além do óxido de sódio, pode-se introduzir óxido de cálcio e chumbo para reduzir a temperatura de fusão da sílica e a viscosidade do líquido. Além disto, os cátions  $\text{Na}^+$  dificultam a cristalização e facilitam a formação de fase vítrea. Os compostos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  apresentam alta energia de ligação (80 kcal/mol) e são denominados formadores de rede. Os óxidos  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  apresentam baixa energia de ligação (< 40 kcal/mol) e são denominados modificadores de rede [6]. A Tabela 2.2 apresenta as composições típicas de diversos vidros comerciais.

Tabela 2.2: Composições típicas de diversos vidros comerciais [76]

		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	PbO
sodo-cálcicos	Embalagem	72,0	2,0	-	12,5	1,0	11,0	1,5	-
	Plano	71,0	1,0	-	13,5	0,5	10,0	4,0	-
	Lâmpada	73,0	1,0	-	16,5	0,5	5,0	4,0	-
Borossilicato	Pyrex	79,0	2,0	13,0	5,5	-	-	-	-
	Fibra isolamento	66,0	1,5	3,5	15,5	1,0	8,0	4,0	-
Chumbo	Cristal	56,0	-	-	4,0	12,0	2,0	2,0	24,0
	Néon	63,0	1,0	-	8,0	6,0	-	-	22,0
	Lente	32,0	-	-	1,0	2,0	-	-	65,0
Aluminoborossilicato	Farmacêutico	72,0	6,0	11,0	7,0	1,0	1,0	-	-
	Fibra reforço	55,0	15,0	7,0	-	-	19,0	4,0	-
	Tubo combustão	62,0	17,0	5,0	1,0	-	8,0	7,0	-

Apesar das composições individuais variarem muito, a sílica constitui a base do vidro, é comum em todos os tipos e tem função vitrificante. A alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) aumenta a resistência mecânica, o MgO garante resistência ao vidro para suportar mudanças bruscas de temperatura e o CaO proporciona estabilidade contra ataques de agentes atmosféricos [76].

### 2.2.5.3 Fabricação

Na produção de vidros, as matérias primas tais como: areia especial, sulfato, calcáreo, dolomita, barrilha, feldspato e hematita são misturadas e levadas ao forno de fusão por correias transportadoras. Um forno de fusão de vidros tem várias zonas de aquecimento, na faixa de 1500 a 1200°C. Na produção de vidros planos, a temperatura de saída do material do forno está entre 1100 e 1000°C. Uma camada fluida de vidro flutua (“floating”) sobre estanho líquido. A temperatura de saída da zona de “floating” situa-se por volta de 600°C [3].

#### **2.2.5.4 Reciclagem do vidro**

O vidro é 100% reciclável e que pode ser reprocessado infinitas vezes. O vidro reciclado além de ser utilizado para fabricar o produto original tem outras aplicações, entre elas a fibra de vidro [51].

Mundialmente, está aumentando o uso de vidro reciclado em substituição à matéria prima mineral virgem nos diversos tipos de vidro, exceto nos vidros planos [48].

Através do processo de moagem o vidro é triturado e se obtém o vidro particulado que pode ser diretamente reaproveitado pela indústria vidreira. No entanto se produz também o vidro particulado mais fino, com granulometria abaixo de 150  $\mu\text{m}$ , que é indesejável neste tipo de indústria, uma vez que nos grandes fornos de fusão de vidro o uso desse material é evitado de modo a impedir o fenômeno de arraste de pó pela chaminé, além da possível deposição acelerada do vidro fundido nas paredes internas do forno, o que acarreta corrosão e o conseqüente desgaste precoce dos refratários do forno [52, 53].

#### **2.2.6 Materiais Compósitos**

Os materiais compósitos podem ser definidos como misturas (ao nível macroscópico) não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se combinam e que têm funções distintas, sendo um deles responsável por suportar os esforços mecânicos (reforço) e o outro (matriz) por transferir os esforços mecânicos externos para o reforço [38].

Esses materiais vêm sendo usados desde o início dos anos 1960 nos segmentos de materiais de alta-performance. Os polímeros reforçados com fibra de vidro começaram a ser estudados vinte anos mais tarde [54].

São geralmente usados porque têm propriedades desejáveis que não podem ser alcançadas por quaisquer um dos materiais individualmente, dentre elas temos:

- Baixa condutibilidade elétrica;
- Alta resistência à corrosão química;
- Alto módulo de elasticidade;
- Densidade menor que a do aço e alumínio;

- Podem ser fabricados em diversas cores e formatos;
- Alta resistência mecânica.

As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades de suas fases constituintes e da geometria do reforço, a qual compreende forma, tamanho, quantidade, distribuição e orientação das fibras ou partículas [56].

Quatro tipos de matrizes são utilizadas em compósitos: polimérica, metálica, cerâmica e de carbono. As matrizes metálicas são recomendadas para aplicações sujeitas a altas temperaturas, aproximadamente 800° C. Para aplicações que precisam resistir a altíssimas temperaturas, acima de 1000° C, são usadas matrizes cerâmicas [50, 56].

### **2.2.6.1 Compósitos Poliméricos**

Os compósitos poliméricos são materiais conjugados formados por pelo menos duas fases ou dois componentes ou ainda são misturas de materiais cerâmicos ou metálicos com uma matriz polimérica. Para a formação do material compósito ou do material conjugado é necessário haver uma interação química e/ou física entre o componente e a matriz polimérica proporcionando a transferência de esforços mecânicos. São os compósitos mais utilizados e o que os difere entre si é o tipo de arquitetura do reforço, que confere ao compósito, propriedades elásticas de resistência à deformação plástica, fluência e ao uso melhores que as do polímero sem carga [50, 57]. Em um compósito de matriz polimérica e fibra de vidro, por exemplo, a fibra confere resistência mecânica enquanto que a matriz é responsável pela flexibilidade [3].

Assim, os seguintes fatores são fundamentais para as propriedades [77]:

- Propriedades dos componentes individuais e composição;
- Interação entre as fases;
- Razão de aspecto e porosidade da carga;
- Dispersão do reforço.

Ao se adicionar uma carga a um polímero, objetiva-se a obtenção de um novo material com propriedades intermediárias entre aquelas dos dois componentes. Esse comportamento é previsto para a propriedade (P) de um

compósito, através da regra das misturas. A equação geral desta regra é dada por:

$$P = P_a \cdot V_a + P_b \cdot V_b \quad (3)$$

Onde:

Os índices *a* e *b* referem-se aos componentes (matriz e fase dispersa) e *V* é a fração volumétrica [77].

Por outro lado, a previsão destas propriedades mecânicas em compósitos de fibra curta é dificultada, devido ao largo espectro de comprimentos e orientações que as fibras apresentam que é consequência do processamento do compósito [78].

### **2.2.6.2 Preparação de compósitos termoplásticos**

Vários processos de transformação de termoplásticos têm sido usados na produção de compósitos poliméricos. Em se tratando de compósitos de matriz termoplástica, como neste caso, o processo de extrusão vem sendo o mais reportado em artigos científicos e utilizado industrialmente, principalmente extrusoras de dupla-roscas, onde duas roscas intercaladas giram lado a lado dentro de um cilindro de furo interno. As roscas podem ambas girar no mesmo sentido (co-rotacional) ou em sentido oposto (contra-rotacional – Figura 2.19). As principais vantagens do processamento de compósitos termoplásticos em extrusora dupla-roscas são: flexibilidade na configuração da geometria da rosca, dosagem de material em diferentes pontos da extrusora e controle preciso da dosagem através de alimentadores. A ação da mistura é mais eficiente no caso das roscas co-rotacionais que nas contra-rotacionais, devido à maior alternância de fluxo de uma rosca para outra [58].

A extrusora é caracterizada pelo diâmetro *D* e pelo comprimento *L* da rosca. A vazão total de uma extrusora varia conforme  $D^2$ , desde que não existam alterações de outros parâmetros. Já a capacidade de troca de calor entre o polímero e a extrusora depende do tempo de residência e, portanto do *L*, se a velocidade da rosca é constante [29].



Figura 2.19 Ilustração de parte de um conjunto rosca co-rotacional.

Vale comentar que até o presente não foram localizados estudos que contemplassem a adição de caco de vidro moído (pó de vidro) em poliamidas 6 ou 6.6.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram empregadas as cargas mais utilizadas na indústria de produção de compósitos a fim de compará-los em termos de propriedades e processamento com o compósito obtido com a adição de vidro em pó.

As etapas de processamento dos compósitos, a obtenção dos corpos de prova e a avaliação das propriedades mecânicas foram realizadas nos laboratórios de desenvolvimento da Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda. (São Bernardo do Campo).

#### 3.1 Descrição dos materiais

##### 3.1.1 Poliamida 6.6 - Technyl A200 Natural

Foi utilizada a poliamida 6.6 (Rhodia Poliamida e Especialidades), na forma de “Pellets” (grãos), nomenclatura Technyl A 200 [59]. Na Tabela 3.1 são apresentadas as características deste polímero de maior interesse neste estudo.

Tabela 3.1: Características do polímero empregado [59].

Propriedades Mecânicas	Normas	Valores (Eh0) <sup>(1)</sup>
Módulo de elasticidade na tração (MPa)	ISO R527	3000
Resistência na ruptura (Mpa)	ISO R527	55
Alongamento na ruptura (%)	ISO R527	40
Resistência ao impacto Charpy sem entalhe (KJ/m <sup>2</sup> )	ISO 179	Não Quebra

<sup>(1)</sup> Material seco como moldado

##### 3.1.2 Cargas e reforços comerciais

###### 3.1.2.1 Talco - TALMAG P 20

As Tabelas 3.2 e 3.3 apresentam valores típicos de composição e granulometria para o talco TALMAG P20 produzido pela empresa Magnesita

S.A. [60] que foi utilizado neste estudo.

Tabelas 3.2:e 3.3: Valores típicos de composição química e granulometria para o talco.

Componente	Valor Típico (%)
MgO	31,7
SiO <sub>2</sub>	63,5
H <sub>2</sub> O	4,8

Diâmetro das partículas

Sedigraph	D99	D75	D50	D10
µm (máx.)	19	6,5	4,5	1,8

### 3.1.2.2 Fibra de Vidro - DS 1109

A Tabela 3.4 apresenta as características típicas da fibra de vidro DS 1109 (Owens Corning) [61] utilizada neste estudo.

Tabela 3.4 Propriedades típicas da fibra de vidro DS 1109.

Característica	Valor Típico
Comprimento (mm)	4,5
Diâmetro do filamento (µm)	10
Perda ao fogo (%)	0,65
Umidade (%)	0,10 máximo

### 3.1.2.3 Micro esfera de vidro 3000 CP0302

As Tabelas 3.5 e 3.6 a seguir apresentam algumas das propriedades típicas da micro esfera de vidro tipo 3000 CP0302, da empresa Potters Industrial Ltda. [44] que foi utilizada neste estudo.

Tabelas 3.5 e 3.6: Propriedades típicas da micro esfera de vidro 3000 CP0302.

Característica	Valores
Composição	Vidro Borossilicato
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,5
Área superficial (cm <sup>2</sup> /g)	4000-8000
Tratamento superficial	Silano
Constante dielétrica, 22°C, 106 Hz	5,8

Diâmetro das partículas

µm	≤24	≤45	≤63	≤100
% vol	45-75	85-100	95-100	100

#### 3.1.2.4 Wollastonita 10 WOLLASTOCOAT.

As Tabelas 3.7 e 3.8 apresentam uma composição química típica (Tabela 3.7) e propriedades típicas (Tabela 3.8) da wollastonita 10 Wollastocoat da empresa NYCO Minerals utilizada neste estudo [62].

Tabela 3.7: Composição química típica da wollastonita 10 Wollastocoat.

Componente	Valor Típico (%)
CaO	46,15
SiO <sub>2</sub>	51,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34
MnO	0,16
MgO	0,38
TiO <sub>2</sub>	0,05
K <sub>2</sub> O	0,05
Perda de Massa (1000°C)	0,50

Tabela 3.8: Propriedades típicas da wollastonita 10 Wollastocoat.

Característica	Valor	Método
Brilho G.E.	95	ASTM E 97
Absorção de óleo (lbs./100 lbs.)	24	ASTM D281
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,9	---
Tamanho médio de partícula (μm)	3	Cilas Granulometer
Área superficial (m <sup>2</sup> /g) (BET)	4,1	ASAP 2405
Retido em malha 200 U.S. Mesh (%)	100	Alpine Jet Sieve
Umidade (%)	0,15	Karl Fischer
Cor	Branco	-----
Morfologia	Acicular	-----

### 3.1.2.5 Caco de vidro

Uma amostra de caco de vidro incolor, de aproximadamente 15 kg, foi fornecida pela empresa Saint-Gobain Vidros Brasil e é proveniente de um lote único de garrafas para bebidas e apresenta a seguinte composição química média em massa (Tabela 3.9) [63].

Tabela 3.9: Composição química do vidro.

SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
72,8%	13,2%	11,2%	0,16%	2,13%	0,039%	0,09%

## 3.2 Descrição dos Métodos

### 3.2.1 Obtenção e moagem do caco de vidro

Para a obtenção do caco de vidro, as garrafas foram lavadas, secas em estufa e manualmente fragmentadas em partículas da ordem de 1,5 cm. Esse material em seguida foi reduzido em fragmentos menores com o auxílio de um moinho de facas instalado no laboratório de Desenvolvimento da Rhodia Poliamida e Especialidades com o objetivo de reduzir e homogeneizar a granulometria. A seguir avaliamos a distribuição granulométrica deste material,

com o auxílio de um equipamento Granutest (Figura 3.1) em quatro frações de 1 kg por 15 minutos e rotação 9. Utilizamos parte da série Tyler para a separação das frações (Figura 3.2).



Figuras 3.1 e 3.2: Agitador eletro-magnético (tipo Granutest) e conjunto de peneiras Tyler [64]

Como ainda assim as partículas eram inadequadas para o processamento, decidiu-se, reduzir o seu tamanho médio com o auxílio de um moinho de bolas de porcelana por dez horas (amostra 1) e um moinho de bolas de alta alumina por doze horas e trinta minutos (amostra 2), ambos instalados no laboratório de Cerâmica da escola SENAI. Nos dois processos foram colocados 10 kg do caco de vidro e com aproximadamente quatro horas de moagem uma amostra foi retirada para verificação do tamanho da partícula.

Através de avaliação visual concluiu-se que o processo foi ineficiente. Retornou-se o material para moagem por mais seis horas e analisou-se o material em malha #200 e obteve-se 20% de material retido. O processo se estendeu por mais duas horas no moinho de bolas de porcelana e por mais quatro horas e trinta minutos no moinho de bolas de alta alumina.

### **3.2.2 Preparação dos compósitos (Extrusão)**

Os compósitos foram obtidos a partir de uma extrusora dupla rosca co-rotacional ZSK-30 (diâmetro  $D=30$  mm e  $L/D=35$ ) da marca Werner & Pfleiderer, com cinco zonas de aquecimento, sendo quatro zonas no cilindro e

uma no cabeçote. Possui sistema de rosca/cilindro segmentado e com alimentadores/dosadores acoplados ao longo do cilindro.

A poliamida 6.6 em grânulos foi introduzida no funil de alimentação da extrusora dupla rosca, sendo sua dosagem rigorosamente controlada por uma balança gravimétrica específica para materiais granulados ou particulados. As cargas foram introduzidas no terceiro ponto do cilindro, sendo que nessa posição o polímero já está no estado fundido o que possibilita uma melhor incorporação da mesma. Os teores de cada carga foram rigorosamente controlados por uma balança gravimétrica lateral, específica para dosagem de particulados.

O perfil de roscas contém inicialmente elementos de condução, seguidos por elementos de mistura e elementos de transporte, que se posicionam também na zona de degasagem e que vão até a matriz da extrusora.

A proposta inicial era estudar compósitos com teores de 5% e 10% de carga (primeira fase), no entanto, como não foi possível estabilizar a balança dosadora de cargas para a adição de 5% de vidro moído, decidiu-se estudar também os compósitos com adição de 15 e 20% de cada uma das cargas em uma segunda fase.

Nesta segunda fase decidiu-se incluir também a obtenção de um compósito com wollastonita.

Na Tabela 3.10 é apresentada a proposta de composição de cada formulação da primeira fase. As condições de processamento para todos os compósitos foram: rotação máxima de rosca de 240 RPM e perfil de temperatura de 265°C (zona 1) a 280°C (zona 5).

Foram preparados aproximadamente 5 kg de cada compósito. Após a extrusão, os materiais foram acondicionados em embalagens herméticas para evitar a absorção de água, que é prejudicial ao processo posterior de injeção de corpos de prova, pois a presença da água promove a degradação oxidativa da poliamida.

Tabela 3.10: Composição dos compósitos poliméricos obtidos na primeira fase do estudo.

Composição da Formulação (%p/p)	1	2	3	4	5	6	7	8*	9
A 200 Natural	100	95	90	95	90	95	90	95	90
Talco		5	10						
Fibra de vidro				5	10				
Micro esfera de vidro						5	10		
Vidro moído								5	10

\* não foi possível processar este compósito pela instabilidade de dosagem da balança.

Já na Tabela 3.11 é apresentada a composição das formulações da segunda fase sendo observadas as mesmas condições de processamento para todos os compósitos.

Tabela 3.11: Composição dos compósitos poliméricos obtidos na segunda fase do estudo.

Composição da Formulação (%p/p)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A 200 Natural	85	80	85	80	85	80	85	80	90	85	80
Talco	15	20									
Fibra de vidro			15	20							
Micro esfera de vidro					15	20					
Vidro moído							15	20			
Wollastonita									10	15	20

### 3.2.3 Injeção dos corpos de prova

A injeção dos corpos de prova para realização dos ensaios mecânicos foi realizada em uma máquina injetora Romi R65 Primax, com perfil de temperatura do cilindro de 285°C (zona 1) a 270°C (zona 4) e temperatura do molde de 80°C.

Foram injetados corpos de prova para os ensaios de resistência à

tração, à flexão, ao impacto Charpy e contração, conforme normas estabelecidas para cada ensaio.

Os tempos de estabilização das amostras antes da realização dos ensaios foram respeitados de acordo com as normas utilizadas.

### **3.3 Técnicas de Caracterização**

#### **3.3.1 Análise de distribuição do tamanho de partículas**

Além do sistema de peneiras (Granutest) utilizado em uma avaliação prévia do tamanho de partículas do caco moído, analisamos a distribuição do tamanho de partículas das amostras obtidas pela moagem em moinho de bolas de alta alumina (amostra 1 equivale à dez horas de moagem) e em moinho de bolas de porcelana (amostra 2 equivale à doze horas de moagem) com o auxílio de um analisador de tamanho de partículas modelo LS 100Q – Coulter que é um aparelho utilizado para medir o tamanho das partículas, ou mais especificamente, a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas em uma amostra através da difração de raio laser em uma unidade de dispersão aquosa. Utiliza um modelo ótico de acordo com os princípios de medidas de Mie e Fraunhofer [65].

#### **3.3.2 Avaliação da interação da poliamida 6.6 e carga mineral por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).**

Para a análise de microscopia eletrônica de varredura foram utilizadas amostras fraturadas em temperatura ambiente, resultantes do ensaio de resistência ao impacto CHARPY devido ao caráter de fratura frágil destas amostras.

Nesta técnica um feixe de elétrons primários, com diâmetro que pode variar de alguns nanômetros a um micrometro, é focalizado sobre um ponto de uma amostra com o auxílio de lentes eletromagnéticas. A seguir, o feixe é deslocado para um ponto vizinho e assim sucessivamente na horizontal e na vertical, varrendo a superfície numa área escolhida. A intensidade dos elétrons reemitidos em cada ponto pela superfície depende da orientação e composição daquele ponto. Esses elétrons (retroespalhados ou secundários) são coletados por um detector e o sinal elétrico obtido é amplificado [79].

As micrografias foram obtidas utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura marca Philips, modelo XI-30 com microsonda EDAX instalado no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Poli-USP.

### **3.3.3 Propriedades Mecânicas**

As propriedades mecânicas são parâmetros ou características do material que compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. A natureza dessa resposta depende da temperatura e do tempo, bem como da estrutura do material, do peso molecular e das condições de ensaio e preparação da amostra [78]. Essas características dos polímeros são geralmente avaliadas por meio de ensaios, que indicam dependências tensão-deformação, que, todavia são insuficientes para descrever os materiais poliméricos, também a nível molecular. Assim, as características dos polímeros, que se refletem nas suas propriedades mecânicas, podem ser quantificadas através de métodos cujo empirismo é contrabalançando pelo rigor das condições, estabelecidas nas normas técnicas. As propriedades mecânicas mais importantes decorrem de processos onde há grandes relaxações moleculares, como relaxação sob tensão, escoamento sob peso constante e histerese. Essas relaxações dependem muito da temperatura, da capacidade de desenvolver deformações reversíveis pronunciadas, que são maiores em elastômeros, bem como da íntima correlação entre processos mecânicos e químicos, os quais se influenciam mutuamente de modo substancial [66].

#### **3.3.3.1 Ensaios de resistência à tração, módulo de elasticidade na tração e alongamento.**

A resistência à tração é um conjunto de testes realizados em laboratório para determinar resistência, elasticidade, alongamento e ponto de ruptura de diversos materiais [3].

As propriedades de tensão constituem-se nos mais importantes indicadores da resistência mecânica de um material. A força necessária para

alongar um corpo de prova é determinada juntamente com a quantidade total de material estirada da quebra do referido corpo.

Corpos de prova para determinação de propriedade de tensão podem ser injetados ou prensados sob condições padrão. A espessura típica é de 1/8 polegada, porém as demais dimensões podem variar (Figura 3.3).

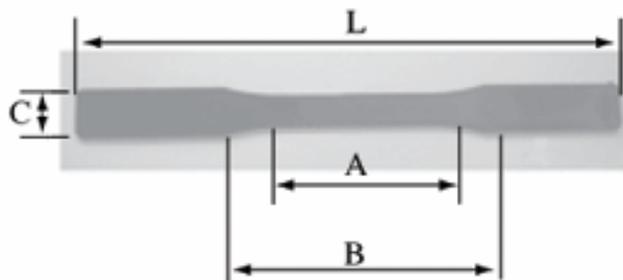


Figura 3.3: Corpo de prova de resistência à tração conforme norma ASTM D638 [67]

Onde  $A = 60$  mm;  $B = 100$  mm;  $C = 19$  mm e espessura = 3 mm e  $L = 215$  mm

O módulo de elasticidade é essencialmente uma medida da rigidez do material, sendo muito útil na escolha de um polímero para uma dada aplicação. Pode-se estabelecer que o material ideal para certo produto deva exibir comportamento, quando em uso normal, idêntico ao observado na região em que o módulo é medido. Desta forma seria possível garantir a manutenção das características elásticas (deformação proporcional à tensão), em condições de serviço.

Já o alongamento é a medida da ductilidade de um material, determinada em um teste de tração. É o aumento no comprimento útil medido após a ruptura dividido pelo comprimento útil original. Um maior alongamento indica uma maior ductilidade.

O alongamento não pode ser usado para prever o comportamento de materiais submetidos a cargas repentinas ou repetidas.

Com o objetivo de analisar o comportamento de módulo elástico na tração, resistência à tração e alongamento na ruptura em função da carga, foram utilizados corpos de prova (no mínimo dez), e a Máquina Universal de Ensaio EMIC DL 2000 conforme a Norma ASTM D638–97 [67].

A velocidade utilizada para estes ensaios foi de 5 mm/minuto, com temperatura controlada de  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , conforme norma e utilizou-se um extensômetro EMIC.

Nos ensaios de tração, os corpos de prova são fixados em dispositivos chamados de garras. As garras são acopladas à travessa fixa e à travessa móvel da Máquina Universal de Ensaio. A taxa de deformação de tração é controlada pelo mecanismo de direcionamento, enquanto a tensão de tração sustentada pela amostra é registrada pela célula de carga, ambos acoplados à travessa fixa. O extensômetro deve ser fixado corretamente, pois do contrário haverá o “escorregamento” do corpo de prova e em consequência a leitura incorreta da taxa de alongamento.

### **3.3.3.2 Ensaios de resistência ao impacto**

A capacidade de um determinado material de absorver energia do impacto está ligada à sua tenacidade, que por sua vez está relacionada com a sua resistência e ductilidade.

O ensaio de resistência ao impacto dá informações da capacidade do material absorver e dissipar essa energia.

Como resultado do ensaio de choque obtém-se a energia absorvida pelo material até sua fratura, caracterizando assim o comportamento dúctil-frágil.

O ensaio de impacto CHARPY foi realizado de acordo com a Norma ISO 179 [68] Neste ensaio, utilizou-se um pêndulo de 25 J para o compósito sem carga e o de 5 J para os demais compósitos e velocidade de 2,9m/s.

### **3.3.4 Determinação do teor de carga**

A fim de garantir a dosagem das cargas foi realizada a análise do teor utilizando-se o método interno Rhodia (DCA 3J 219) que se baseia na perda de massa de um grama do compósito após a calcinação (queima) a  $800^{\circ}\text{C}$  por 5 minutos em forno mufla por microondas o que equivale a 30 minutos em forno mufla convencional (elétrico).

### **3.3.5 Determinação da estabilidade dimensional**

Devido à natureza cristalina, os termoplásticos semicristalinos, como

a poliamida 6.6, exibem um considerável encolhimento no resfriamento a partir da fusão e isso pode gerar problemas de qualidade nas peças. A presença de cargas reduz o nível geral de encolhimento [69].

O objetivo deste teste é verificar o grau de contração após o processo de injeção, tendo como referência as normas ASTM 955 [70] ISO 2577 [71].

Para tanto, dez plaquetas com dimensões  $100 \times 100 \times 3 \text{ mm}^3$ , de cada formulação, foram preparadas. As plaquetas obtidas ficaram em repouso em uma sala climatizada a  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5)\%$  de umidade relativa, por 48 horas. A seguir foram realizadas, com auxílio de um paquímetro, três medidas na direção paralela ao fluxo e três medidas na direção perpendicular ao fluxo de injeção, perfazendo um total de seis medidas por placa. A Figura 3.4 mostra uma foto ilustrativa dessas placas.



Figura 3.4: Exemplo das placas utilizadas para as medidas de contração [72].

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise do caco moído

A análise da distribuição do tamanho de partículas do caco realizada nas amostras (1 a 4) após moagem em moinho de facas, mostrou a distribuição apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Distribuição do tamanho de partícula do caco de vidro moído em moinho de facas.

Tyler (Mesh)	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	1 (% p/p)	2 (% p/p)	3 (% p/p)	4 (% p/p)
28	589	56,7	62,4	60,3	62,8
35	500	11,6	10,9	11,0	10,7
250	63	29,2	24,6	26,4	24,4
Fundo	-----	2,5	2,1	2,3	2,2

Esta distribuição não é adequada para o preparo de amostras comparativas do compósito por extrusão, uma vez que o material moído apresentou uma quantidade de partículas de dimensões grandes, muito maior do que aquela das outras cargas comerciais, tais como a micro esfera de vidro, por exemplo, que possui diâmetro médio de partícula de apenas 63  $\mu\text{m}$ .

Assim, uma nova etapa de moagem foi estabelecida utilizando-se moinhos de bolas.

A Tabela 4.2 apresenta os resultados da distribuição obtida para a amostra formada pela mistura em partes iguais da amostra com dez horas (amostra 1) e com doze horas e trinta minutos (amostra 2) de moagem. As amostras 1 e 2 foram homogeneizadas para a obtenção de uma amostra mista.

Tabela 4.2: Tamanhos médios das partículas do vidro em pó, obtidos com o equipamento Coulter LS 100Q, após moinho de bolas.

	Amostra Mista
Média ( $\mu\text{m}$ )	34
D10 ( $\mu\text{m}$ )	2
D50 ( $\mu\text{m}$ )	20
D90 ( $\mu\text{m}$ )	89

#### 4.2. Determinação do teor de carga

A fim de se verificar a dosagem correta das cargas, foi determinado o teor de carga de cada uma das formulações preparadas, conforme método interno Rhodia (DCA 3J 219). Os resultados são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Teor de carga das formulações utilizadas neste estudo.

Formulação	Média (%)
sem carga	0
10% talco	9,3
10% fibra vidro	10,5
10% micro esfera	11,4
10% vidro	10,3
15% talco	15,4
20% talco	20,5
15% fibra vidro	20,0
20% fibra vidro	19,9
15% micro esfera	13,9
20% micro esfera	19,1
15% vidro	15,3
20% vidro	18,5
10% wollastonita	10,4
15% wollastonita	14,8
F20 – 20% wollastonita	19,5

Todos os resultados são provenientes do cálculo da média de no mínimo três amostras coletadas durante o processo de extrusão e se observa valores reais próximos dos valores teóricos, exceção feita à amostra com 15% teórico de fibra de vidro.

### **4.3. Avaliação de propriedades mecânicas**

Considerando que a proposta deste estudo é obter um compósito que possa ser utilizado em diversas aplicações é de fundamental importância a avaliação das principais propriedades mecânicas. Estes resultados são referentes à média de dez corpos de prova conforme recomenda a norma de cada análise.

Como já visto no capítulo 2, o desempenho de compósitos termoplásticos depende das propriedades intrínsecas e dos teores de seus componentes, da qualidade da interface fibra/matriz e das propriedades cristalinas da matriz. Uma boa adesão interfacial, influenciada pela presença de agentes de compatibilização e acoplamento (“sizing”), é normalmente observada em compósitos reforçados por fibras de vidro e micro esferas de vidro e será responsável por uma elevação das propriedades dos compósitos [5].

#### **4.3.1. Alongamento na ruptura**

A Tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos para os compósitos com teores de adição de 10%, 15% e 20% para cada uma das cargas em comparação com o polímero sem carga para a avaliação do alongamento na ruptura e a Figura 4.1 apresenta o gráfico que representa o comportamento deste estudo.

Tabela 4.4: Determinação do alongamento na ruptura (%) para o polímero puro e os compósitos.

Teor (%)	Sem carga	Talco	Fibra de Vidro <sup>(1)</sup>	Micro esfera de Vidro	Wollastonita	Vidro Moído
0	5,3 ± 0,8	-----	-----	-----	-----	-----
10		8,5 ± 2,1	2,4 ± 0,1	3,0 ± 0,3	12,2 ± 3,6	4,8 ± 1,0
15		5,3 ± 0,5	2,6 ± 0,1	2,9 ± 0,3	7,6 ± 1,3	6,6 ± 1,2
20		4,4 ± 0,3	2,7 ± 0,1	3,0 ± 0,2	6,0 ± 0,4	5,7 ± 1,0

<sup>(1)</sup> A amostra com 15% teórico de fibra de vidro, apresentou teor real de 20%.

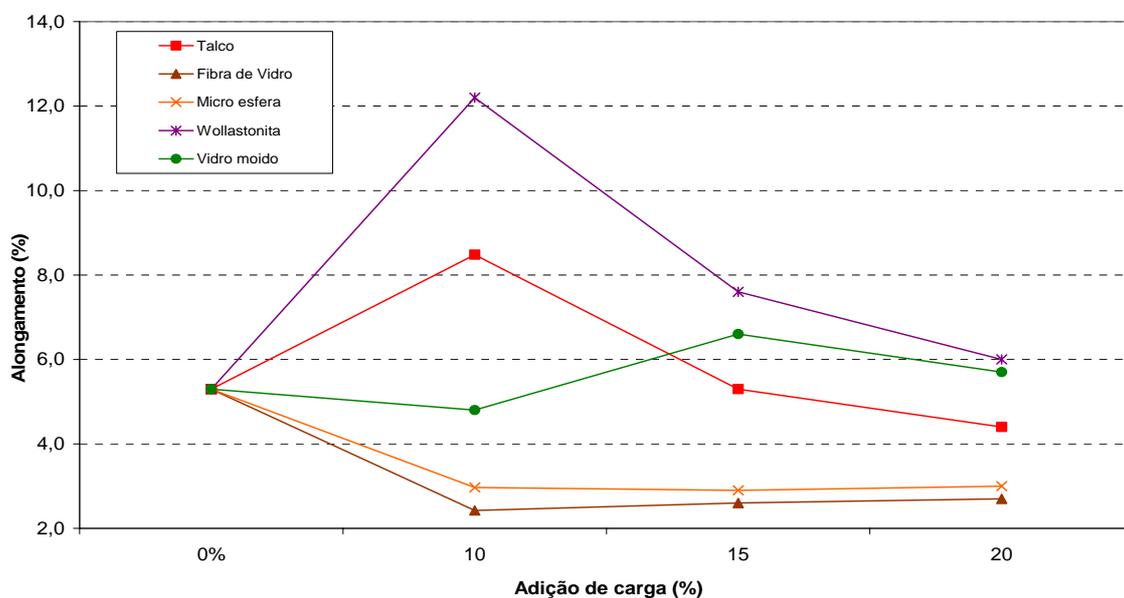


Figura 4.1: Representação do alongamento médio na ruptura (%).

Sabe-se que, o alongamento máximo na ruptura diminui com o aumento dos teores de carga e esta tendência é causada pelo aumento do caráter quebradiço do compósito em relação ao polímero puro [5]. Entretanto, avaliando-se os resultados não se observa este efeito para os compósitos que com 10% de talco e 10% de wollastonita e a propriedade é praticamente inalterada para o aumento do teor de fibra de vidro. A origem deste comportamento talvez possa ser explicada pelo fato de que essas cargas possuem diferentes geometrias, que podem ser observadas nas micrografias apresentadas no item 4.3.6, sendo a wollastonita uma carga acicular e a fibra

de vidro fibrilar. Para o vidro moído a geometria irregular proveniente do processo de moagem e a ausência de um sistema de acoplagem e compatibilização podem explicar a falta de linearidade dos resultados.

Sabe-se ainda que o alongamento representa o aumento linear percentual do corpo de prova sob tração no momento da ruptura e, portanto, a partir dos dados obtidos pode-se inferir que para os sistemas aqui estudados, este aumento é mais fortemente afetado pelo tipo de reforço do que pelo teor adicionado.

#### 4.3.2. Resistência à tração na ruptura.

A Tabela 4.5 apresenta os resultados obtidos para os compósitos com teores de 10%, 15% e 20% de adição para cada uma das cargas, em comparação com o polímero sem carga, para a avaliação da resistência à tração na ruptura. Para melhor visualização e comparação, a Figura 4.2 apresenta esses mesmos resultados na forma gráfica.

Tabela 4.5: Determinação da resistência à tração na ruptura (MPa) para o polímero puro e os compósitos.

Teor (%)	Sem carga	Talco	Fibra de Vidro <sup>(1)</sup>	Micro esfera de Vidro	Wollastonita	Vidro Moído
0	89 ± 1	-----	-----	-----	-----	-----
10		77 ± 1	98 ± 4	74 ± 2	81 ± 1	78 ± 1
15		73 ± 1	120 ± 2	79 ± 2	80 ± 1	73 ± 1
20		71 ± 1	143 ± 2	83 ± 1	82 ± 2	72 ± 1

<sup>(1)</sup> A amostra com 15% teórico de fibra de vidro, apresentou teor real de 20%.

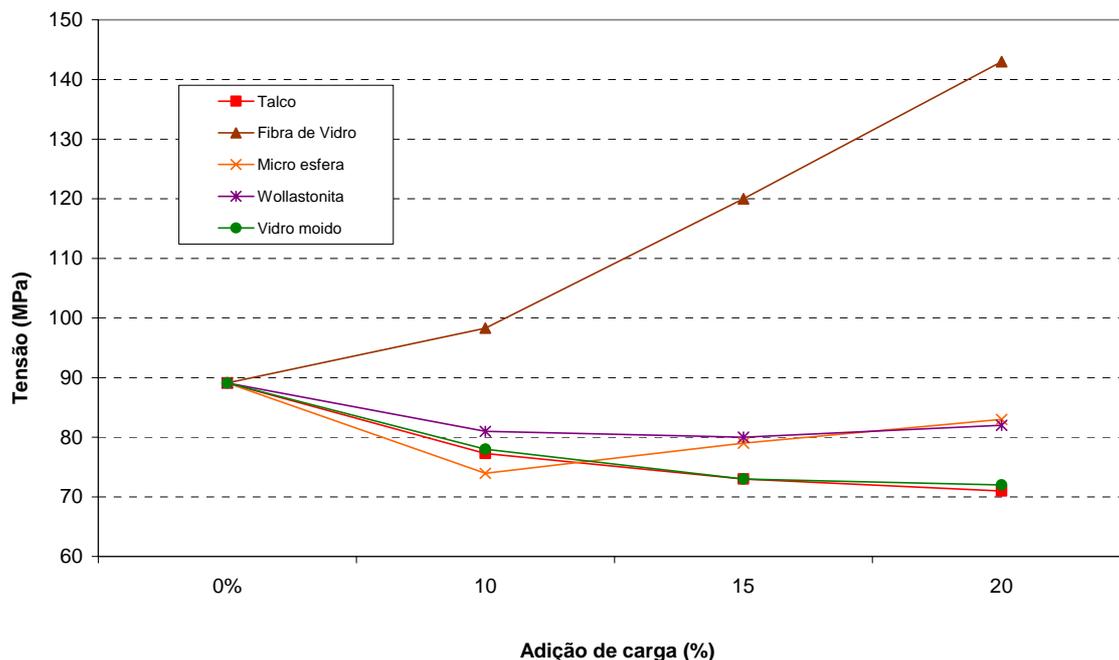


Figura 4.2: Representação da resistência à tração média na ruptura (MPa).

Como já mencionado no capítulo 2, a resistência à tração de materiais compósitos reforçados por fibras depende, principalmente, da resistência e módulo das fibras de reforço; teor, orientação e comprimento das fibras; estabilidade química e resistência da matriz e da interface fibra/matriz. Isto pode justificar o melhor desempenho da fibra de vidro em comparação aos outros tipos de reforço, uma vez que a fibra utilizada neste estudo é a indicada para o uso em poliamida 6.6, por possuir um tratamento superficial de natureza química amino-silano o que promove a interação entre o vidro e a matriz polimérica. O mesmo tipo de tratamento é utilizado na micro esfera de vidro, mas sua geometria esférica não contribui para a melhora da propriedade quando o compósito é comparado ao polímero puro. O compósito com talco pode ter seu desempenho comparado ao do vidro moído.

#### 4.3.3. Módulo de elasticidade na tração.

A Tabela 4.6 apresenta os resultados obtidos para os compósitos com teores de adição de 10%, 15% e 20% para cada uma das cargas em comparação com o polímero sem carga para a determinação do módulo de

elasticidade na tração. O gráfico respectivo é apresentado na Figura 4.3.

Tabela 4.6: Determinação do módulo de elasticidade na tração (MPa) para o polímero puro e os compósitos.

Teor (%)	Sem carga	Talco	Fibra de Vidro <sup>(1)</sup>	Micro esfera de Vidro	Wollastonita	Vidro Moído
0	3250 ± 69	-----	-----	-----	-----	-----
10		4140 ± 201	4936 ± 175	3334 ± 74	4039 ± 106	3676 ± 100
15		4800 ± 385	5864 ± 236	3546 ± 66	4577 ± 83	3787 ± 85
20		5171 ± 305	6833 ± 162	3732 ± 79	5339 ± 135	4340 ± 549

<sup>(1)</sup> A amostra com 15% teórico de fibra de vidro, apresentou teor real de 20%.

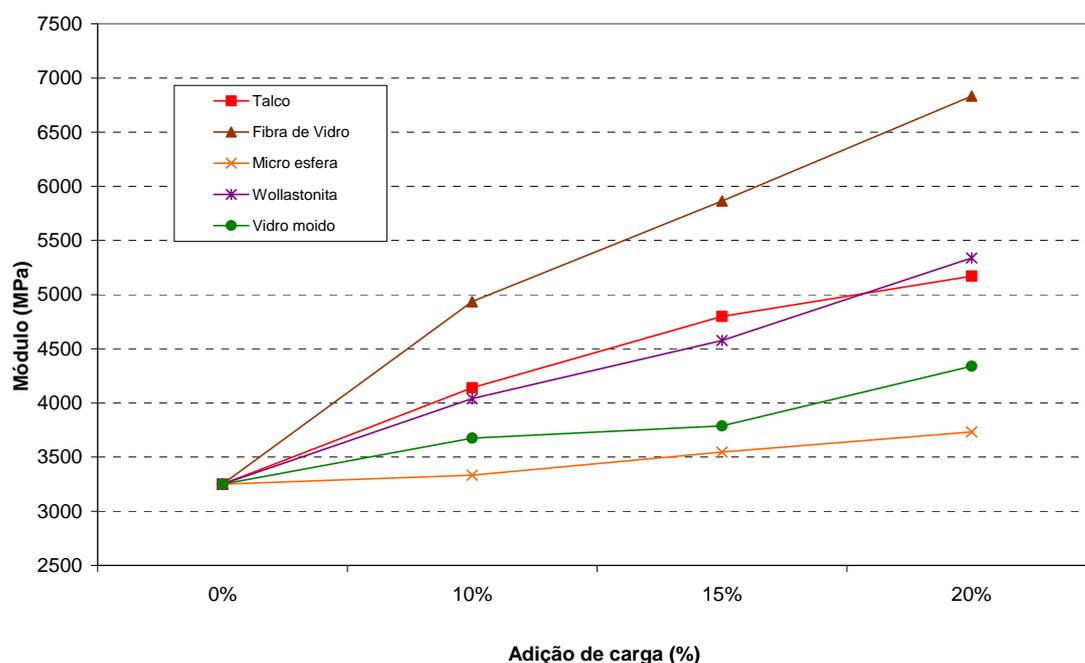


Figura 4.3: Representação do módulo de elasticidade médio na tração.

As cargas sempre aumentam os módulos elásticos de compósitos termoplásticos na medida em que estes materiais são normalmente mais rígidos que os polímeros [31] e o módulo é uma medida de rigidez. Deste modo, é correto verificar-se aumento do módulo em compósitos que apresentaram queda da percentagem de alongamento. Observa-se que, entre

as cargas avaliadas neste estudo, a fibra de vidro é mais eficiente, pois além de possuir uma superfície específica maior do que a micro esfera, wollastonita e vidro moído, possui também uma excelente compatibilidade com a matriz polimérica proveniente do recobrimento já mencionado neste capítulo e verificado pela análise das Figuras 4.7 e 4.8. A boa performance do talco pode ser explicada pelo fato de que possui lamelas com elevada razão de aspecto que podem se alinhar paralelamente umas às outras e à superfície moldada, e criar um bom mecanismo de transferência de carga matriz-carga. A irregularidade das partículas do vidro moído parece favorecer esta característica quando comparadas às micro esferas de vidro.

Apesar de verificar-se a diferença entre o valor teórico e o real do teor de fibra de vidro do compósito com 15%, não foi observado, em nenhuma das propriedades, comportamento condizente com este efeito. Portanto, o mais provável é que tenha ocorrido uma falha na medição do teor das amostras com 15% teórico e não uma falha de dosagem desta carga.

#### 4.3.4. Resistência ao impacto Charpy (sem entalhe).

A Tabela 4.7 apresenta os resultados obtidos para os compósitos com teores de adição de 10%, 15% e 20% para cada uma das cargas em comparação com o polímero sem carga na determinação da resistência ao impacto Charpy sem entalhe e a Figura 4.4 o gráfico que representa o comportamento deste estudo.

Tabela 4.7: Determinação da resistência ao impacto Charpy (KJ/m<sup>2</sup>) sem entalhe para o polímero puro e os compósitos.

Teor (%)	Sem carga	Talco	Fibra de Vidro <sup>(1)</sup>	Micro esfera de Vidro	Wollastonita	Vidro Moído
0	208 ± 163	-----	-----	-----	-----	-----
10		75 ± 4	29 ± 1	20 ± 1	89 ± 13	33 ± 13
15		33 ± 2	33 ± 2	18 ± 1	79 ± 2	25 ± 7
20		47 ± 1	41 ± 2	20 ± 1	57 ± 1	25 ± 6

<sup>(1)</sup> A amostra com 15% teórico de fibra de vidro, apresentou teor real de 20%.

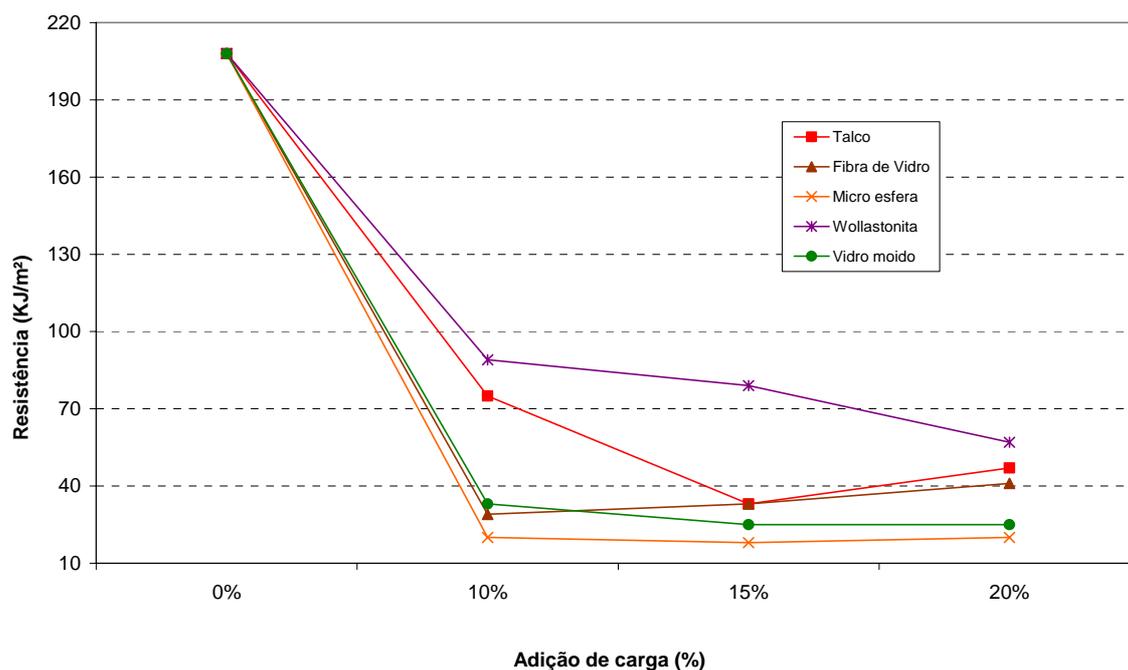


Figura 4.4: Representação da resistência ao impacto Charpy sem entalhe (KJ/m<sup>2</sup>).

Conforme já discutido no capítulo 2, a adição de cargas na poliamida produz compósitos com menores valores de resistência ao impacto. Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que as partículas não fibrosas funcionam como concentradores de tensão. A partir de um determinado valor de tensão, dependente da força das ligações na interface, a matriz começa a se separar da superfície da carga, criando vazios que passam a atuar como trincas na concentração de tensões até a sua propagação e efetiva fratura.

Neste estudo, porém mesmo os compósitos com fibra de vidro apresentaram este efeito, o que pode ser devido à redução do comprimento das fibras durante o processamento. Já a poliamida 6.6 sem carga apresenta valores acima daqueles apresentados pelos compósitos.

A partir dos resultados verifica-se que a adição de teores diferentes de vidro moído à poliamida 6.6 praticamente manteve a resistência ao impacto apresentando-se pouco superior aos valores obtidos para a micro esfera de vidro. Para o talco observa-se um comportamento não linear, o que pode indicar problemas de dispersão nesta carga.

### 4.3.5. Estabilidade dimensional

As Tabelas 4.8 e 4.9 apresentam os resultados obtidos para os compósitos com teores de adição de 10%, 15% e 20% para cada uma das cargas, em comparação com o polímero sem carga, na determinação da estabilidade dimensional (contração) paralela e perpendicular ao fluxo de injeção e as Figuras 4.5 e 4.6 os gráficos que representam os comportamentos verificados neste estudo.

Tabela 4.8: Estabilidade dimensional média paralela ao fluxo (%)

Teor (%)	Sem carga	Talco	Fibra de Vidro <sup>(1)</sup>	Micro esfera de Vidro	Wollastonita	Vidro Moído
0	2,7 ± 0,1	-----	-----	-----	-----	-----
10		1,6 ± 0,1	0,9 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,3 ± 0,1
15		1,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	2,5 ± 0,1	1,8 ± 0,1	2,3 ± 0,1
20		4,2 ± 1,5	0,7 ± 0,2	2,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	2,2 ± 0,1

<sup>(1)</sup> A amostra com 15% teórico de fibra de vidro, apresentou teor real de 20%.

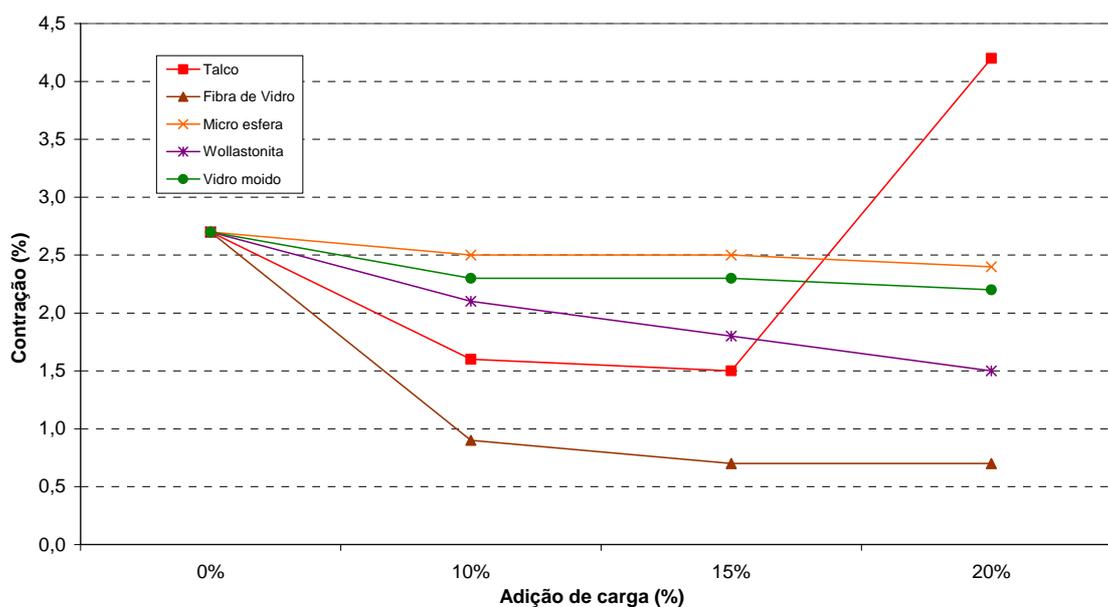


Figura 4.5: Representação da estabilidade dimensional média paralela ao fluxo (%)

Avaliando-se os resultados apresentados na Figura 4.5, verifica-se que os compósitos formados a partir da adição de micro esfera de vidro, e vidro moído apresentam redução da contração com o aumento do teor. O mesmo comportamento, porém mais acentuado observa-se para aqueles formados a partir da adição de fibra de vidro e de wollastonita. Já para o compósito com 20% de talco observa-se um ponto discrepante que pode ser atribuído a um problema na medição e não na preparação, pois este efeito não se observa na Figura 4.6.

Tabela 4.9: Estabilidade dimensional média perpendicular ao fluxo (%).

Teor (%)	Sem carga	Talco	Fibra de Vidro <sup>(1)</sup>	Micro esfera de Vidro	Wollastonita	Vidro Moído
0	2,8 ± 0,1	-----	-----	-----	-----	-----
10		1,7 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,5 ± 0,1
15		1,6 ± 0,1	1,8 ± 0,1	2,6 ± 0,1	2,1 ± 0,0	2,4 ± 0,1
20		1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	2,4 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,4 ± 0,1

<sup>(1)</sup> A amostra com 15% teórico de fibra de vidro, apresentou teor real de 20%.

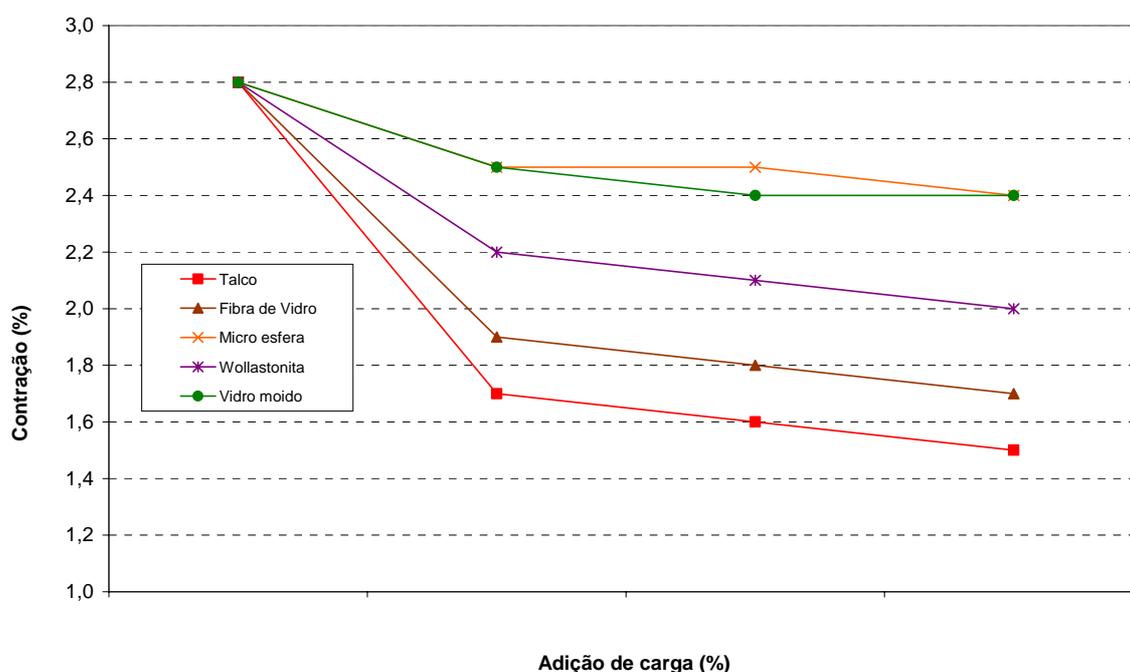


Figura 4.6: Representação da estabilidade dimensional média perpendicular ao fluxo (%).

Para uma avaliação do comportamento de estabilidade dimensional se faz necessária a verificação da contração obtida no sentido paralelo ao fluxo e perpendicular ao fluxo, uma vez que quanto menor a diferença entre estas medidas maior será a estabilidade dimensional. Com base no exposto, pode-se afirmar que os compósitos que apresentam melhor estabilidade dimensional são aqueles à base de micro esfera de vidro e vidro moído.

#### 4.3.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Todas as avaliações foram realizadas nos compósitos com 15% de cada reforço para efeito de comparação e as Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam as micrografias obtidas.

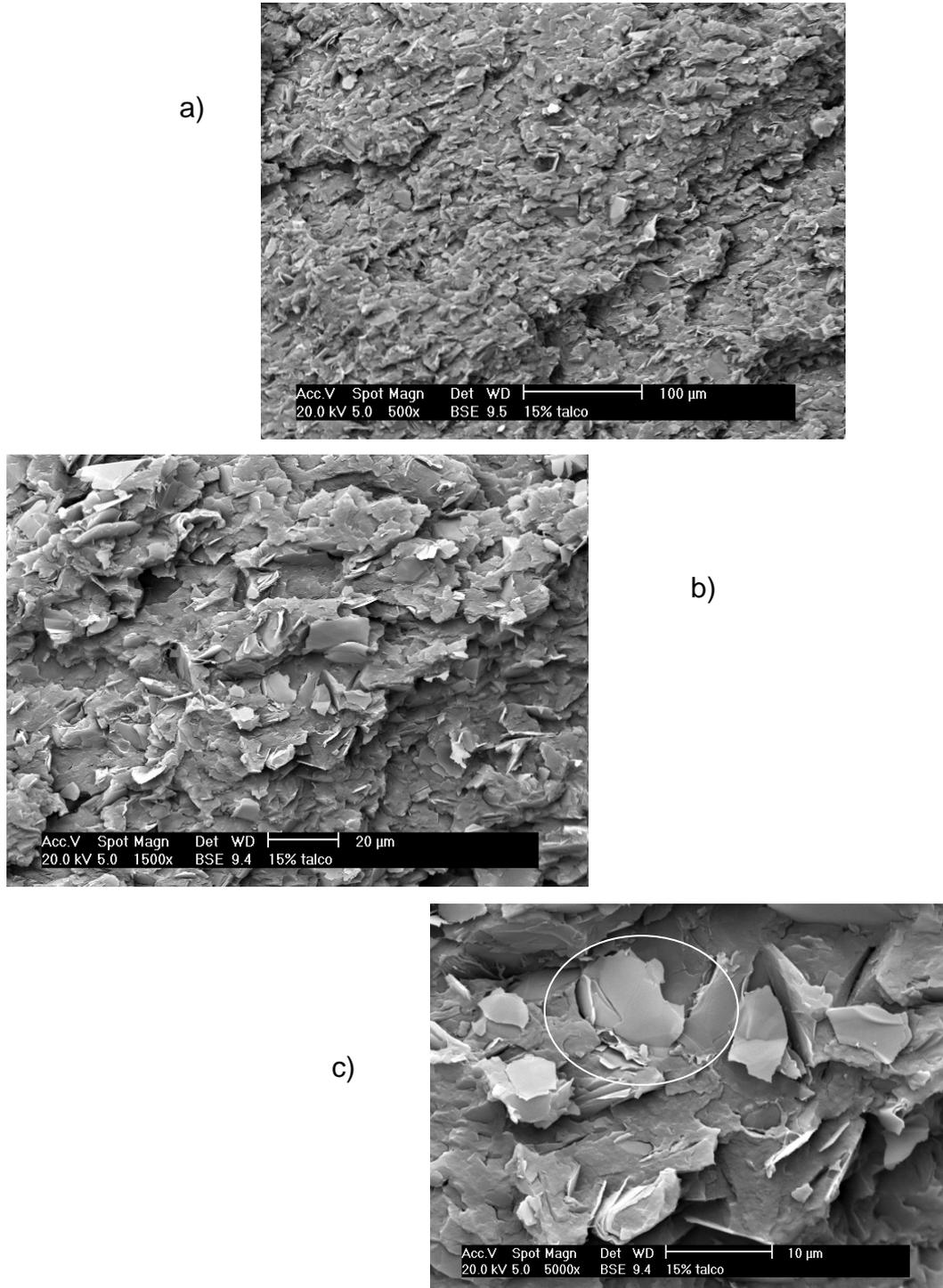
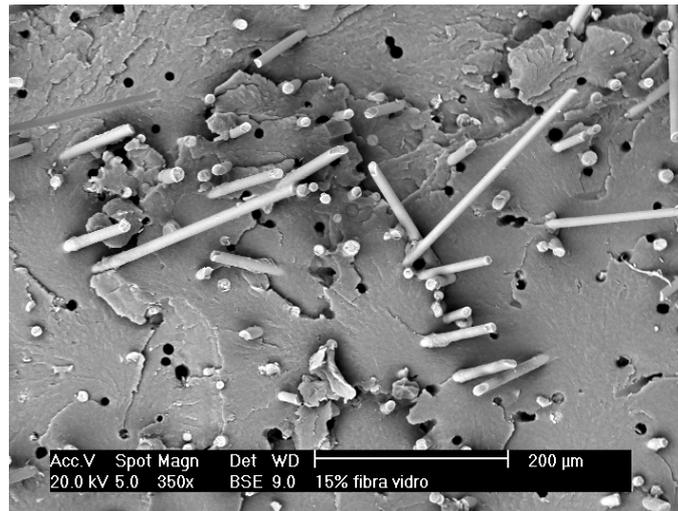
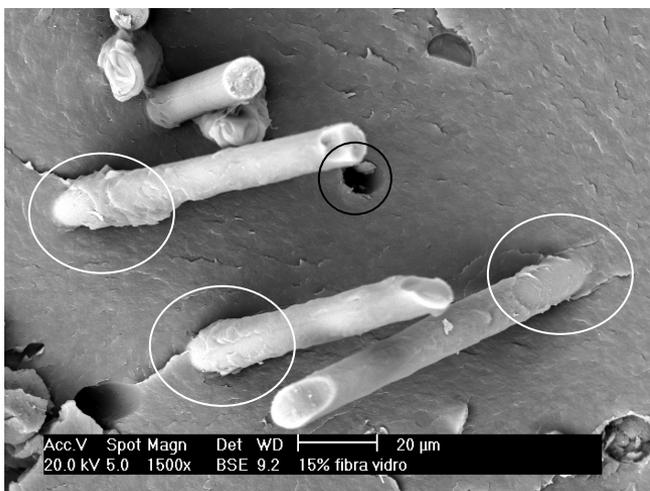


Figura 4.7: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de talco: a) ampliação de 500x; b) ampliação de 1500x; c) ampliação de 5000x com destaque para a observação de boa compatibilidade entre a matriz-carga

a)



b)



c)

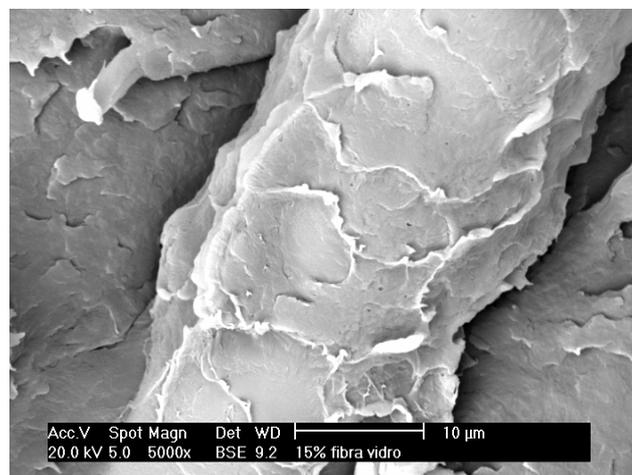
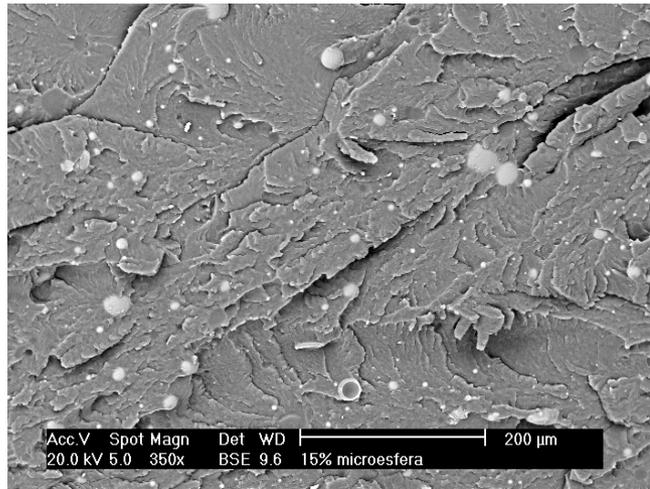


Figura 4.8: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% de fibra de vidro: a) ampliação de 350x; b) ampliação de 1500x com destaque para a retirada da fibra (“fiber-pullout”) no momento da fratura; c) ampliação de 5000x com destaque para a observação de boa compatibilidade entre a matriz-carga

a)



b)



c)

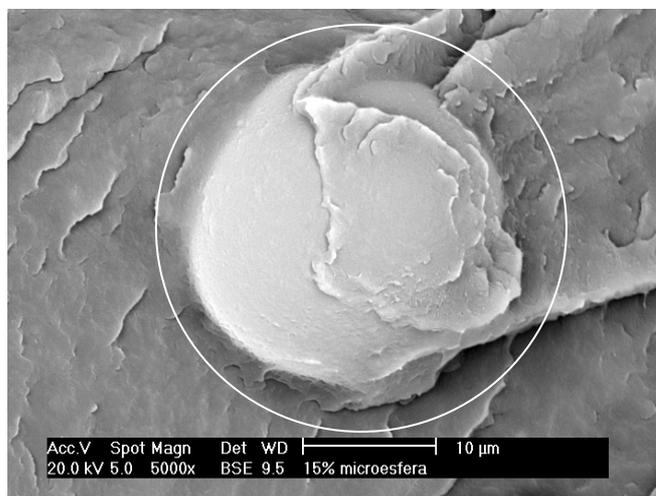
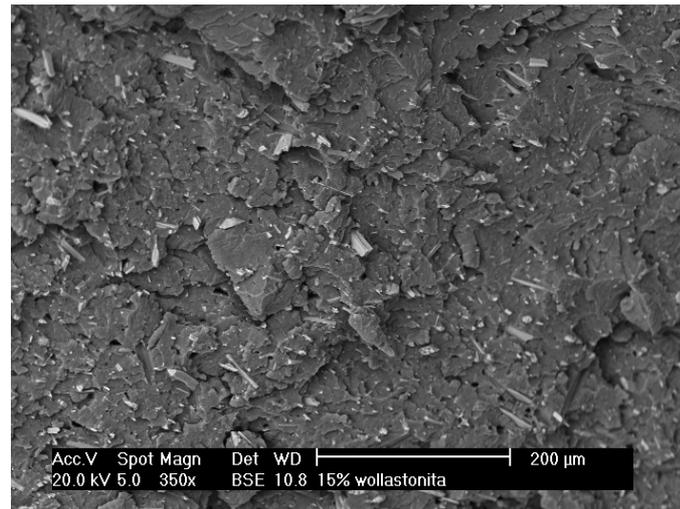
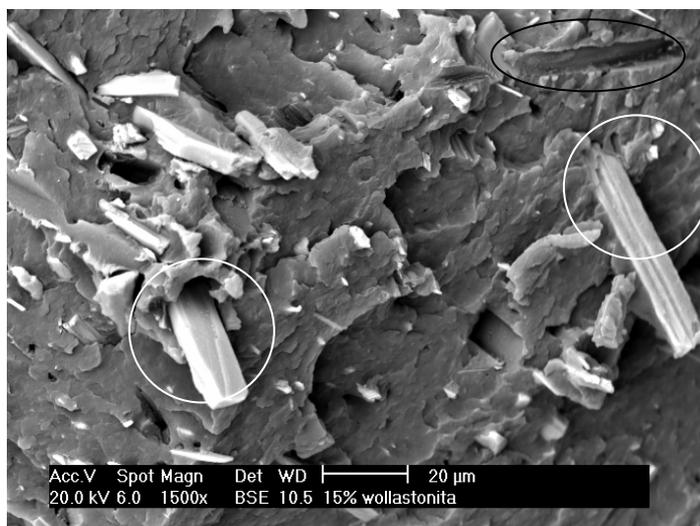


Figura 4.9: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% micro esfera de vidro: a) ampliação de 350x; b) ampliação de 1500x; c) ampliação de 5000x com destaque para a observação de boa compatibilidade entre a matriz-carga

a)



b)



c)

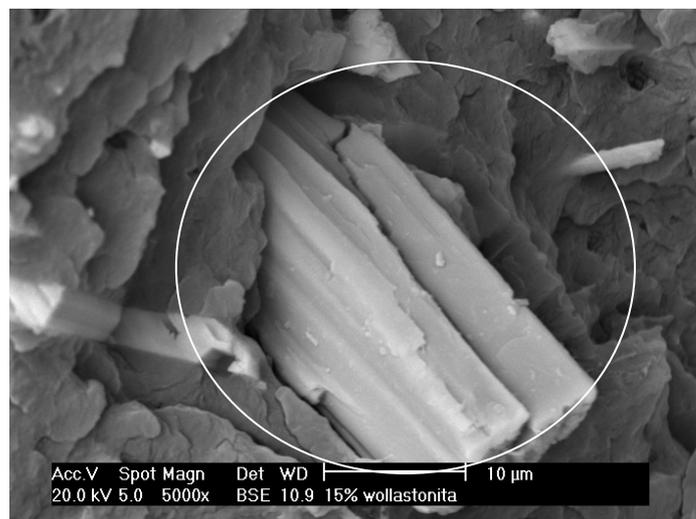
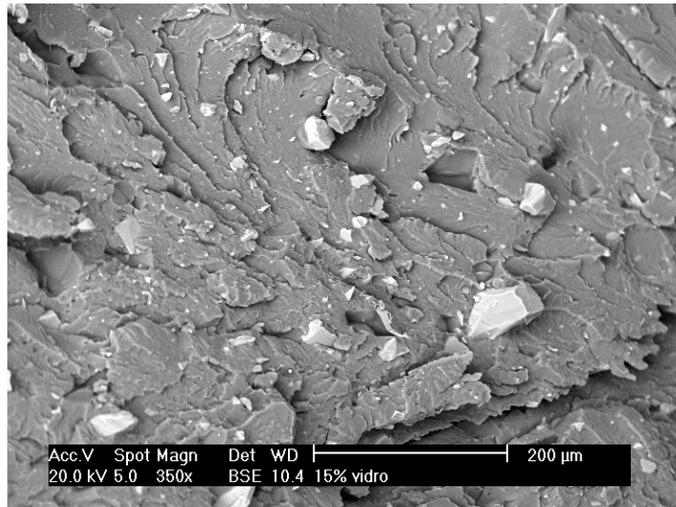
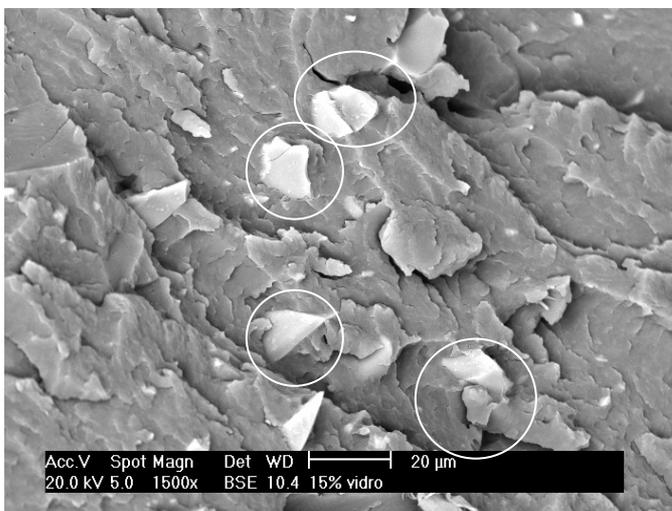


Figura 4.10: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% wollastonita: a) ampliação de 350x; b) ampliação de 1500x; c) ampliação de 5000x com destaque para a observação de ausência de boa compatibilidade entre a matriz-carga

a)



b)



c)

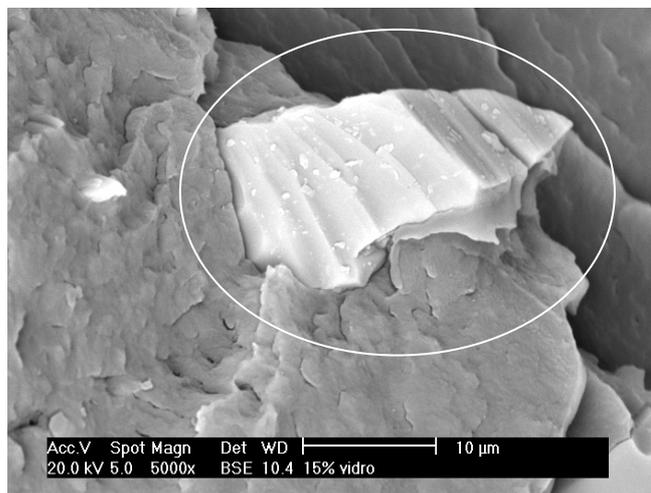


Figura 4.11: Micrografia por MEV da fratura do compósito de poliamida 6.6 com 15% vidro moído: a) ampliação de 350x; b) ampliação de 1500x; c) ampliação de 5000x com destaque para a observação de boa compatibilidade entre a matriz-carga

A análise das micrografias por MEV mostra uma melhor adesão da matriz e a fibra de vidro, mesmo com a presença do efeito “fiber-pullout”, matriz e micro esfera de vidro, quando comparada com a matriz e wollastonita. O

compósito com vidro moído apresenta boa compatibilidade entre matriz e reforço, mesmo sem o tratamento superficial com agente de acoplagem.

## 5. CONCLUSÕES

Com base no comportamento mecânico e nas condições de processamento por extrusão e por injeção dos compósitos com diferentes teores de vidro reciclado (pó de vidro) pode-se afirmar que é possível fabricar compósitos com um conjunto interessante de propriedades com teores de carga da ordem de 10%, em peso. Teores menores apresentaram dificuldade de processamento e teores maiores podem resultar em redução em algumas das propriedades.

O compósito obtido com vidro nos teores contemplados neste estudo apresenta propriedades mecânicas em faixas de valores comparáveis às cargas como talco, micro esfera de vidro e wollastonita. Em propriedades tais como resistência ao impacto, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura, o compósito contendo vidro em pó apresenta desempenho superior àquele demonstrado pelas formulações contendo micro esferas de vidro, mesmo considerando-se que as micro esferas possuem tratamento superficial adequado para formar compósito com a matriz polimérica, poliamida 6.6.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALLISTER JR., W.D **Ciência e engenharia de materiais. Uma introdução**, 5 ed., Rio de Janeiro; LTC, 589p, 2002.
- [2] JORDAN, J.; JACOB, K.; TANNENBAUM, R.; SHARAF, A. M.; JASIUK, I.: Experimental trends in polymer nanocomposites – a review. **Materials Science and Engineering**, A 393, p. 1-11, 2005.
- [3] PADILHA, A.F. **Materiais de engenharia: Microestrutura e propriedades**, São Paulo, Helmus, 343p, 1997.
- [4] CONTANT, S.; LONA, L. M. F: Predição do comportamento térmico de tubos compósitos através de redes neurais. **Polímeros: ciência e tecnologia**, vol. 14, nº5, p. 295-300, 2004.
- [5] OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizadas pela indústria automotiva nacional**. 2004. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- [6] ALVES, O. L.; GIMENEZ, I.F.; MAZALL, I. O.; Vidros. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, p. 13-24, 2001.
- [7] MERCIER, J. P.; KURZ, W.; ZAMBELLI, G. **Introduction à la science des matériaux**. 3 ed., PPUR presses polytechniques, 499p, 1999.
- [8] ASSIS, O. B. G.: O uso do vidro reciclado na confecção de membranas para micro filtração. **Cerâmica**, 52, p. 105-113, 2006.
- [9] VIDRO. Disponível em <<http://www.cebrace.com.br>>. Acesso em 12 fev. 2009.
- [10] LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica**. Rio de Janeiro. e-papers, 366p, 2001.
- [11] MERCIER, J. P.; MARÉCHAL, E. **Chimie des polymères : synthèses, réactions, dégradations**. PPUR presses polytechniques, 448p, 1993.
- [12] HARPER, C. A. **Handbook of plastics, elastomers and composites**. 4 ed. New York, McGraw- Hill Companies Ltd, 884p, 2002.
- [13] JOHNSON, W. A. **Invitation à la chimie organique**. De Boeck Université, 784p, 2002.
- [14] BILLMEYER JR., F. W. **Textbook of polymer science**. 3 ed., New York: John Wiley & Sons, 578p, 1984
- [15] PAINTER, P. C.; COLEMAN, M. M.; IRUIN, J. J; BERRIDI, M. J. F. **Fundamentals de ciencia de polímeros**. CRC Press, 473p. 1996.

- [16] LISBÃO, A. S. **Estrutura e propriedade dos polímeros**. São Carlos, EdUFSCar, 168p, 2002.
- [17] MURASE, S.; INOUE, A.; MYASHITA, Y.; KIMURA, N.: Structural characteristics and moisture sorption behavior of nylon 6/Clay hybrid films. **Journal of polymer science, part B: polymer physics**, vol. 40, p. 479-487, 2002.
- [18] BASSANI, A.; PESSAN, L. A.; HAGE JR., E.: Propriedades Mecânicas de Blendas de Nylon-6/ Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) Compatibilizadas com Copolímero Acrílico Reativo (MMA-MA). **Polímeros: ciência e tecnologia**, vol. 12, nº2, p. 102-108, 2002.
- [19] HUANG, X.; LI, B.; SHI, B.; LI, L. : Investigation on interfacial interaction of flame retarded and glass fiber reinforced PA 66 composites by IGC/DSC/SEM. **Polymer**, 49, p 1049-1055, 2008.
- [20] MITSUBISHI GAS CHEMICAL COMPANY, INC. K. Tanaka. **Solid-phase drying and solid-phase polymerization of polyamide**. EP 1 347 007 A1, 24 sept. 2003.
- [21] AGUIAR, G. I. L.; YOSHIDA, I. V. P.: Modificação da poliamida 6.6 com aminossilicona. **Anais do 7º congresso brasileiro de polímeros**, 9-13 novembro, 2003, Belo Horizonte, MG, 1 CD-ROM.
- [22] DASGUPTA, S.; HAMMOND, W. B.; GODDARD, W. A.: Crystal structures and properties of nylon polymers from theory. **Journal of American Chemical Society**, 118, p. 12291-12301, 1996.
- [23] HUANG, L.; YUAN, Q.; JIANG, W. ; AN, L. ; JIANG, S. : Mechanical and thermal properties of glass bead-filled nylon-6. **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 94, p. 1885-1890, 2004.
- [24] L. BRUEGGEMANN KG SPRIT-UND CHEMISCHE FABRIK. D. Lehmann; K. Titzschkau. **Process for the condensation of polyamides**. **US 7 005 481 B1**, 11 jun. 2002.
- [25] GASPARIN, A. L. **Comportamento mecânico de polímero termoplástico para aplicação em engrenagem automotiva**. 2004. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [26] FERRO, W. P.; SILVA, L. G. A.; WIEBECK, H.: Uso da cinza da casca de arroz como carga em matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, nº 3, p. 240 – 243, 2007.
- [27] POLIAMIDA 6.6. Disponível em <<http://www.fei.edu.br/textil/webdesign/htm/poliamida66.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2009.

- [28] KOHAN, M.I.; **Nylon Plastics Handbook**. Hanser&Gardner Publications Inc., New York, 631p, 1995.
- [29] HEYMANS, N.; SCHMELING, HH. KB.; KAUSCH,H.; PLUMMER, CJ.; DECROLY, P. **Matériaux polymères: propriétés mécaniques et physiques**. PPUR presses polytechniques, 657p, 2001.
- [30] COMBETTE, P. ; ERNOULT, I. **Physique des polymères : structure, fabrication, emploi**. Presses International Polytechnique, 2005.
- [31] CIMINELLI, R. R.: Caracterização das propriedades físicas, químicas e estruturais do talco em compostos termoplásticos. 4º CONGRESSO BRASILEIRO DO PLÁSTICO REFORÇADO, 20-21 maio, 1986, São Paulo.
- [32] PONTES, I. F.; ALMEIDA, S. L. M. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações, Talco**. 1 ed., Rio de Janeiro: Edil Artes Gráficas, v. 01, p. 607-628, 2005.
- [33] CAMARA, A. L. **Uso de talco nacional como aditivo adsorvente de piches e materiais pegajosos no processo de fabricação do papel**. 2003. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- [34] CAMPOS, L. E. G.; Talco e Pirofilita. **Balanço Mineral Brasileiro**, 2001.
- [35] DALPIAZ, G. **Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [36] HOLLAWAY, L. **Handbook of Polymer Composites for Engineers**. Woodhead Publishing, 338p, 1994.
- [37] LIN, T.; JIA, D.; WANG, M.; HE, P.; LIANG, D.: Effects of fibre content on mechanical properties and fracture behavior of short carbon fibre reinforced geopolymer matrix composites. **Bull. Mater. Sci.**, Vol. 32, nº 1, p. 77-81, 2009.
- [38] FONSECA, S. B. C.; Materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras usados na engenharia civil: Características e aplicações. **ITMC 35**; LNEC, Lisboa, 2005.
- [39] ROY, R.; SARKAR, B. K.; BOSE, N. R.: Effects of moisture on the mechanical properties of glass fibre reinforced vinylester resin composites. **Bull. Mater. Sci**, Vol. 24, nº1, p. 87-94, 2001.
- [40] DE, S. K.; WHITE, J. R. **Short Fibre-polymer Composites**. Woodhead Publishing, 260p, 1996.
- [41] LI, L.; LI, B.; TANG, F.: Influence of maleic anhydride-grafted EPDM and flame retardant on interfacial interaction of glass fiber reinforced PA-66. **European Polymer Journal**, 43, p. 2604-2611, 2007.

- [42] LEE, S. M. **Handbook of Composite Reinforcements**. John Wiley & Sons, New York, 715p, 1992.
- [43] OREFICE, R.; HENCH, L. L.; BRENNAN, A. B.: Effect of particle morphology on the mechanical and thermo-mechanical behavior of polymer composites. **J. Braz. Soc. Mech. Sci.**, v.23, nº 1, 2001.
- [44] MICRO ESFERA DE VIDRO. Disponível em <<http://www.potterseurope.com>>. Acesso em 28 jan. 2009.
- [45] FERNANDES, A. A. **Síntese de zeolitas e wolastonita à partir da cinza da casca do arroz**. 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- [46] OHRING, M. **Engineering materials science**. Academic Press, 827p, 1995.
- [47] CARTER, B. C.; NORTON, M. G. **Ceramic Materials**. Springer, p. 716, 2007
- [48] COELHO, J. M.; SUSLICK, S. B.; SOUZA, M. C. A. F.: Uma abordagem da indústria do feldspato no Brasil. **Cerâmica Industrial**, 5 (1), 2000.
- [49] MURRAY, G. T. **Introduction to engineering materials: behavior, properties, and selection**. CRC Press, 669p, 1993.
- [50] ASHBY, M.; BRECHET, Y.; SALVO, L. **Sélection des matériaux et des procédés de mise en oeuvre**. PPUR presses polytechniques, 478 p, 2001.
- [51] LIMA, R. M. R.; FILHO, E. R.: A reciclagem de materiais e suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos: Um estudo de caso. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25-27 set., 2001, Florianópolis.
- [52] TOFFOLI, S.M.; DEMARQUETTE, N. R.; VALERA, T.S.: Reaproveitamento dos materiais provenientes da reciclagem de vidros laminados. 17º ENCONTRO TÉCNICO ABIVIDRO, 5-6 abril, 2006, São Paulo.
- [53] RECICLAGEM DE VIDRO. Disponível em <<http://reciclaveis.com>>. Acesso em 6 abr. 2009.
- [54] ADAMS, D. F.; CARLSSON, L. A.; PIPES, B. R. **Experimental characterization of advanced composite materials**, 3 rd ed., CRC Press, 238 p, 2002.
- [55] SURAMPADI, N. L.; RAMISETTI, N. K.; MISRA, R. D. K.: On scratch deformation of glass fiber reinforced nylon 66. **Materials Science and Engineering**, A 456, p. 230-235, 2007.

[56] GAY, D.; HOA, S. V.; TSAI, S. W. **Composite materials: design and applications**. 4 ed., CRC Press, 531p, 2003.

[57] FELTRAN, M. B. **Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: uso de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira**. 2008, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

[58] SOUZA, M. R. **Blenda de Poli(tereftalato de etileno) com Polietileno de baixa densidade**. 2007, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

[59] A200 NATURAL. Disponível em <<http://www.rhodia-ep.com.br>>. Acesso em 18 março 2009.

[60] FICHA TÉCNICA FISQ 001/04 – **Magnesita – Divisão de Minerais**.

[61] FICHA TÉCNICA **OWENS CORNING**.

[62] WOLLASTONITA. Disponível em <<http://www.nycomineral.com>>. Acesso em 18 março 2009.

[63] COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VIDRO. Disponível em <<http://saint-gobain-vidros.com.br>>. Acesso em 20 março 2009.

[64] GRANUTEST. Disponível em <<http://bertel.com.br>>. Acesso em 20 março 2009.

[65] WAGNER, D. T.; ARANHA, I. B.: Método para análise de tamanho de partícula por espalhamento de luz para Bentonita Chocolate. XV JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CETEM, 2007, Rio de Janeiro.

[66] PROPRIEDADES MECÂNICAS. Disponível em <<http://www.poliuretanos.com.br>>. Acesso em 20 abril 2009.

[67] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-638**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Philadelphia, 1997.

[68] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 179**: Plastics - Determination of Charpy impact strength. Genebra, 1993, 12 p.

[69] ROTHON, R. N., **Mineral Fillers in Thermoplastics: Filler Manufactured and Characterization** – Advances in polymer Sciences, New York , 139p, 1999.

[70] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-955**: Standard Test Method of Measuring Shrinkage from Mold Dimensions of Thermoplastics, 2000, 5p.

- [71] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2577: Plastics - Thermosetting moulding materials - Determination of shrinkage**, 2007.
- [72] RODRIGUES, A.; CASSEMIRO, A. B.; GUIRAO, A. Z.; SOCREPA, R. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de PA 6.6 com micro esferas ocas de vidro e cerâmica**. Monografia (TCC), Centro Universitário Fundação Santo André, 2008, Santo André.
- [73] ODIAN, O. G; **Principles of Polymerization**, 4 rd Ed., John Wiley & Sons Inc. Publication, 812 p, 2004.
- [74] COELHO, A. C. V.; SANTOS, S. P: Argilas especiais: argilas quimicamente modificadas – uma revisão. **Química Nova**, v. 30. n. 5, p. 1282-1294, 2007.
- [75] ZUMDAHL, S. S.; GAGNON, J. M.; ROUTEAU, M.; **Chimie Générale**, De Boeck Université, 512 p., 1999.
- [76] ARKEMAN, M. Natureza, estrutura e propriedades do vidro. CETEV-Centro Técnico de Elaboração do Vidro. São Paulo, 37 p., 2000.
- [77] RABELO, M. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo, Artliber Editora, 2000.
- [78] FREIRE, E.; MONTEIRO, E. E. C; CYRINO, J. C. R.: Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p 25 – 32, jul/set-1994.
- [79] BAILLON, J. P.; DORLOT, J. M.; **Des matériaux**. Presses Inter Polytechnique, 736 p., 2000.



JUST

Catálogo Digital

operis





## Uma gama completa de soluções

Pensada para resolver de forma simples e versátil diferentes necessidades, a Just foi desenhada reunindo soluções técnicas inteligentes, com design funcional dedicado à melhor experiência dos seus usuários.

### Modalidades de Atendimento



#### PRODUTO DE LINHA

Produtos e acabamentos de catálogo com lead time reduzido.



#### PRODUTO CONFIGURADO

Produtos de linha com medidas especiais, ajustadas ao projeto.



Plataformas  
04



Individuais  
08



Gerenciais  
10



Reunião  
12

## Plataformas

Planos de trabalho moduláveis e dinâmicos para equipes.



# Just. A estação de trabalho para quem é especialista.

Uma linha completa de soluções, flexível como a dinâmica do trabalho contemporâneo.



1 - Tampo único (sem emendas) para estações duplas.

2 - Acesso fácil e descentralizado para tomadas.

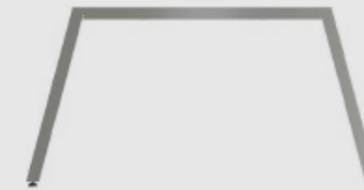
3 - Calha leito profunda para acomodação perfeita de cabos e fontes.

4 - Pé shaft com tamanho ideal para subida e acomodação de cabos.

5 - Fixação fácil de painéis divisores pela parte superior do tampo.

## Pés Laterais

A identidade da linha pode ser facilmente customizada a partir das 5 opções de bases disponíveis.



Pés em ângulo (Cavalete)



Pés em formato trave



Pés em formato requadro



Pés em formato trave com perfil triangular



Pés em formato requadro com perfil triangular

## Pés Centrais

Estrutura centrais com ou sem shaft, se adequando ao volume de cabos e ao orçamento de cada projeto.



Com Shaft



Sem Shaft



# Plataforma Dupla (Frente e Verso)



JUST

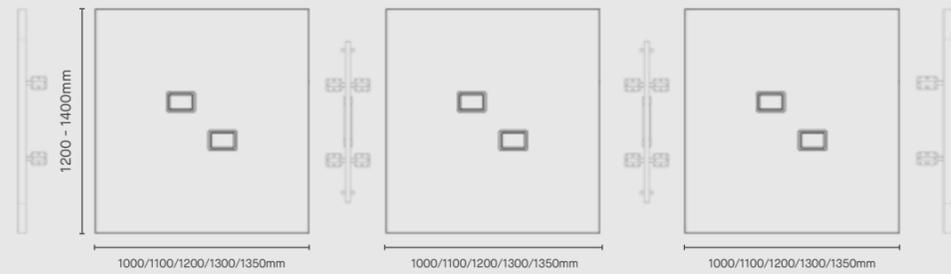
## 1 - Tampos

**Estrutura Lateral (EL)**  
Recebe pé de um lado.

**Estrutura Central (EC)**  
Recebe pé shaft dos dois lados.

**Estrutura Mista (EM)**  
Recebe pé shaft e pé lateral.

**Estrutura Dupla (ED)**  
Recebe pé lateral dos dois lados.



CÓDIGOS	1200mm	1400mm	CÓDIGOS	1200mm	1400mm	CÓDIGOS	1200mm	1400mm
1000mm	JT1012EL	JT1014EL	1000mm	JT1012EC	JT1014EC	1000mm	JT1012EM	JT1014EM
1100mm	JT1112EL	JT1114EL	1100mm	JT1112EC	JT1114EC	1100mm	JT1112EM	JT1114EM
1200mm	JT1212EL	JT1214EL	1200mm	JT1212EC	JT1214EC	1200mm	JT1212EM	JT1214EM
1300mm	JT1312EL	JT1314EL	1300mm	JT1312EC	JT1314EC	1300mm	JT1312EM	JT1314EM
1350mm	JT13512EL	JT13514EL	1350mm	JT13512EC	JT13514EC	1350mm	JT13512EM	JT13514EM

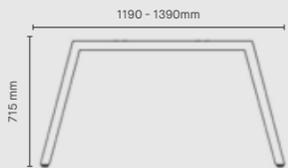
CÓDIGOS	1200mm	1400mm
1000mm	JT1012ED	JT1014ED
1100mm	JT1112ED	JT1114ED
1200mm	JT1212ED	JT1214ED
1300mm	JT1312ED	JT1314ED
1350mm	JT13512ED	JT13514ED

## 2 - Bases

**Pés em formato trave 50X50**  
JT1200 / JT1400



**Pés em ângulo (Cavelete) 50X50**  
JT1200A / JT1400A



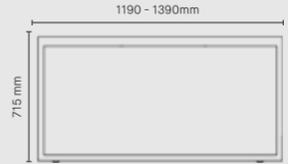
**Pés em formato trave com perfil triangular 50X50**  
JT1200T / JT1400T



**Pés em formato requadro com perfil triangular 50X50**  
JT1200RT / JT1400RT

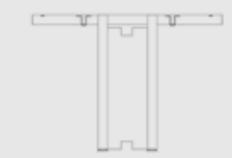


**Pés em formato requadro 50X30**  
JT1200R / JT1400R

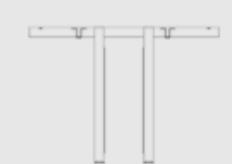


## 3 - Estrutura Central

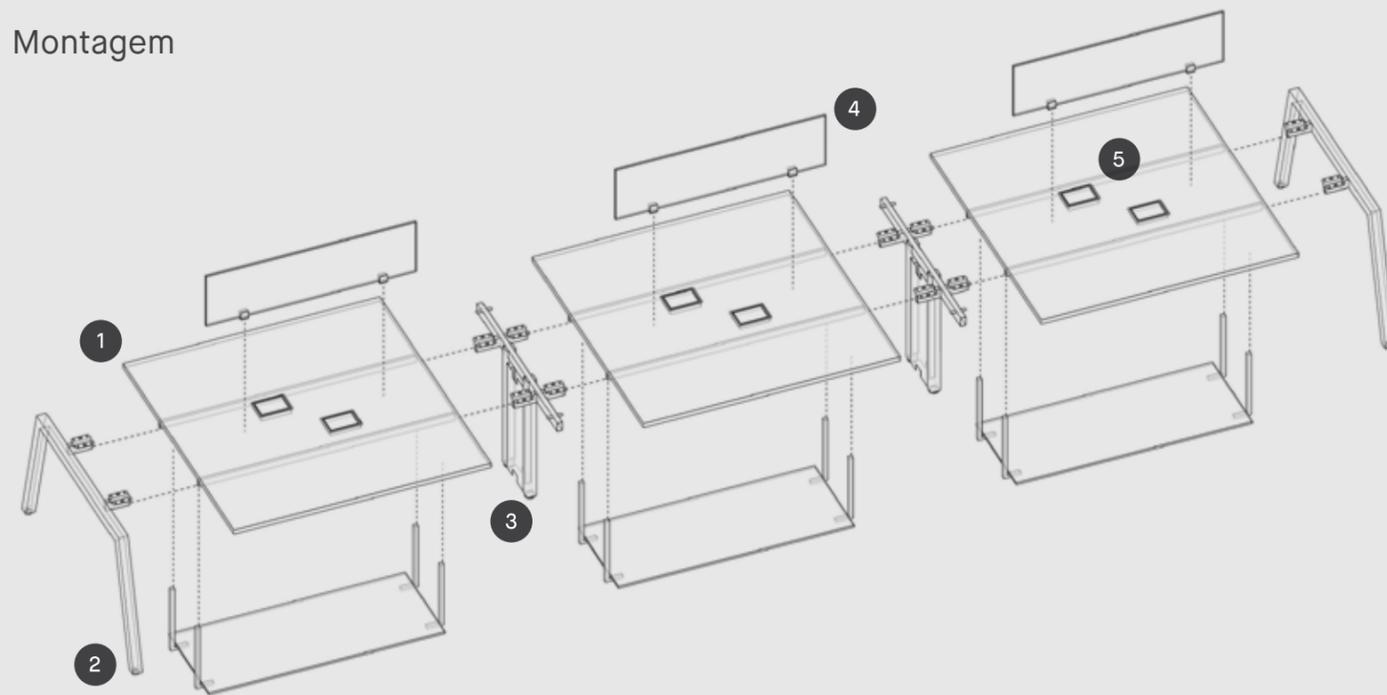
**Estrutura central com Shaft**  
ECJ1200CS / ECJ1400CS



**Estrutura central sem Shaft**  
ESTC1200C / ESTC1400C



## Montagem



## 4 - Acessórios

**Painel Divisor MDP**



Painel divisor suspenso em MDP 15 mm para plataforma.

JTPNDV100  
JTPNDV110  
JTPNDV120  
JTPNDV130  
JTPNDV135

**Painel Divisor Vidro**



Painel divisor suspenso em vidro 8 mm transparente, jateado ou revestido em película colorida para plataforma.

JTPNV110  
JTPNV110  
JTPNV120  
JTPNV130  
JTPNV135

**Suporte para CPU**  
1200mm



Suporte CPU estação dupla de profundidade 1200

SUPB1012  
SUPB1112  
SUPB1212  
SUPB1312  
SUPB13512

**Suporte para CPU**  
1400mm



Suporte CPU estação dupla de profundidade 1400

SUPB1014  
SUPB1114  
SUPB1214  
SUPB1314  
SUPB13514

## 5 - Eletrificação



Conexão completa em cada posto de trabalho: Tomadas posicionadas para melhor acomodação de carregadores e conexão de dados completa. Plugs não inclusos.



Facilidade para eletrificação e manutenção: O sistema de calha com ganchos facilita o trabalho de manutenção.



## 1 - Tampos

**Estrutura Lateral (EL)**  
Recebe pé de um lado.

**Estrutura Central (EC)**  
Recebe pé shaft dos dois lados.

**Estrutura Mista (EM)**  
Recebe pé shaft e lateral.



CÓDIGOS	600mm	700mm
1000mm	JT1006EL	JT1007EL
1100mm	JT1106EL	JT1107EL
1200mm	JT1206EL	JT1207EL
1300mm	JT1306EL	JT1307EL
1350mm	JT13506EL	JT13507EL

CÓDIGOS	600mm	700mm
1000mm	JT1006EC	JT1007EC
1100mm	JT1106EC	JT1107EC
1200mm	JT1206EC	JT1207EC
1300mm	JT1306EC	JT1307EC
1350mm	JT13506EC	JT13507EC

CÓDIGOS	600mm	700mm
1000mm	JT1006EM	JT1007EM
1100mm	JT1106EM	JT1107EM
1200mm	JT1206EM	JT1207EM
1300mm	JT1306EM	JT1307EM
1350mm	JT13506EM	JT13507EM

**Estrutura Dupla (ED)**  
Recebe pé lateral dos dois lados.

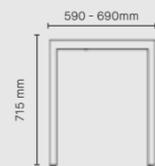


CÓDIGOS	600mm	700mm
1000mm	JT1006ED	JT1007ED
1100mm	JT1106ED	JT1107ED
1200mm	JT1206ED	JT1207ED
1300mm	JT1306ED	JT1307ED
1350mm	JT13506ED	JT13507ED

## 2 - Bases

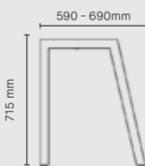
**Pés em formato trave 50X50**

Direito - JT600D / JT700D  
Esquerdo - JT600E / JT700E



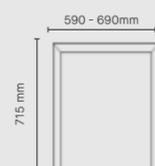
**Pés em ângulo (Cavalete) 50X50**

Direito - JT600AD / JT700AD  
Esquerdo - JT600AE / JT700AE



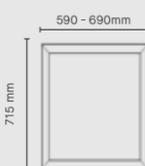
**Pés em formato trave com perfil triangular 50X50**

Direito - JT600TD / JT700TD  
Esquerdo - JT600TE / JT700TE



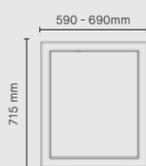
**Pés em formato requadro com perfil triangular 50X50**

Direito - JT600RTD / JT700RTD  
Esquerdo - JT600RTE / JT700RTE



**Pés em formato requadro 50X30**

Direito - JT600RD / JT700RD  
Esquerdo - JT600RE / JT700RE



## 3 - Estrutura Central

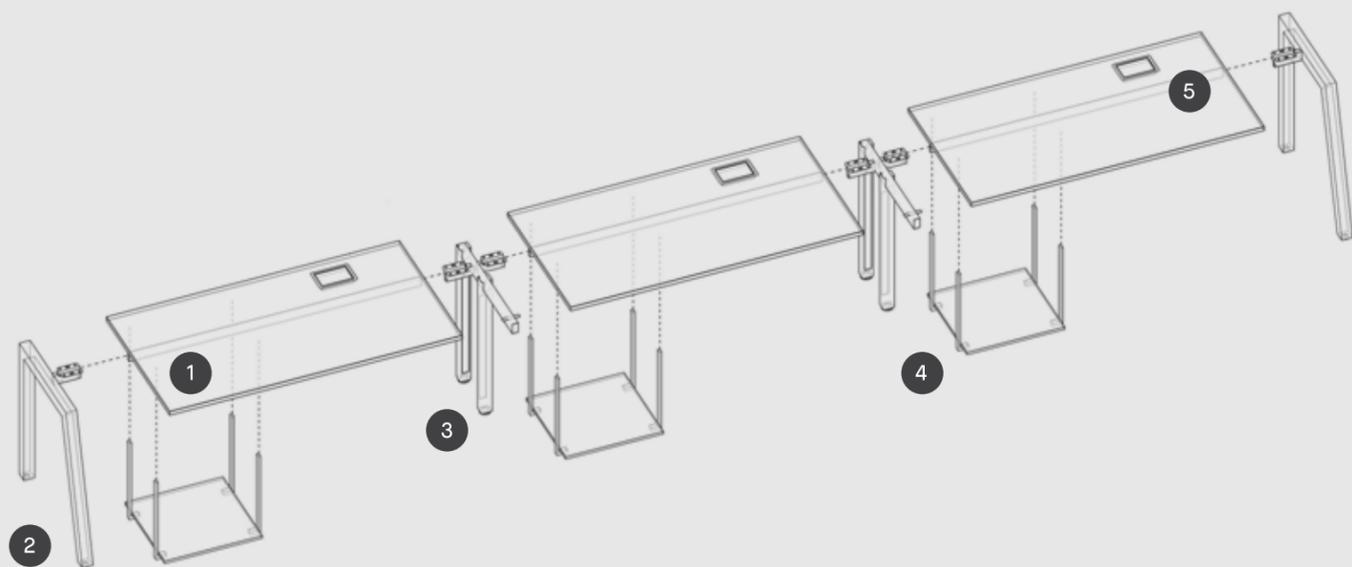
**Estrutura central com Shaft**  
ECJ600CS / ECJ700CS



**Estrutura central sem Shaft**  
ECJ600C / ECJ700C



## Montagem



## 4 - Acessórios

**Suporte para CPU**  
Estação Simplex

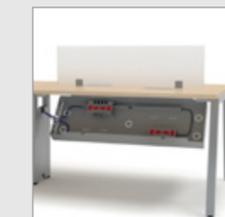


SUPB437

## 5 - Eletrificação



Conexão completa em cada posto de trabalho: Tomadas posicionadas para melhor acomodação de carregadores e conexão de dados completa. Plugs não inclusos.



Facilidade para eletrificação e manutenção: O sistema de calha com ganchos facilita o trabalho de manutenção.

## Individuais

Espaço de uso individual, retas ou em “L” com superfície de trabalho ampliada.





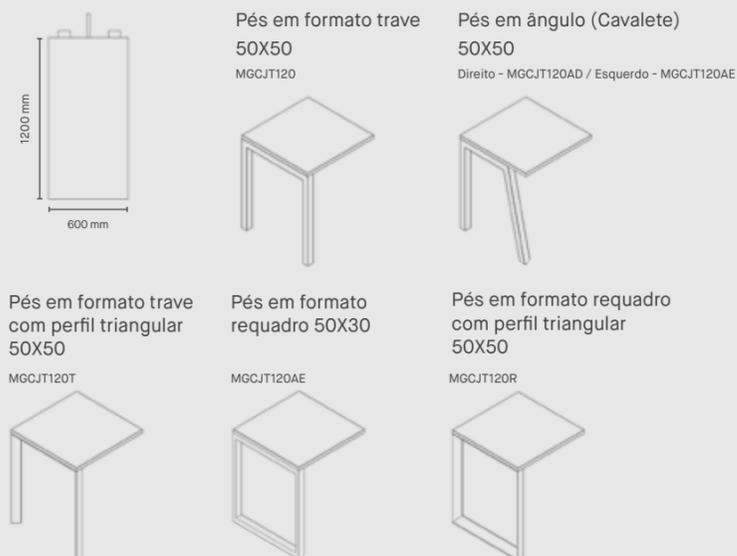
### 1 - Tampos

Tampos Mesa em L

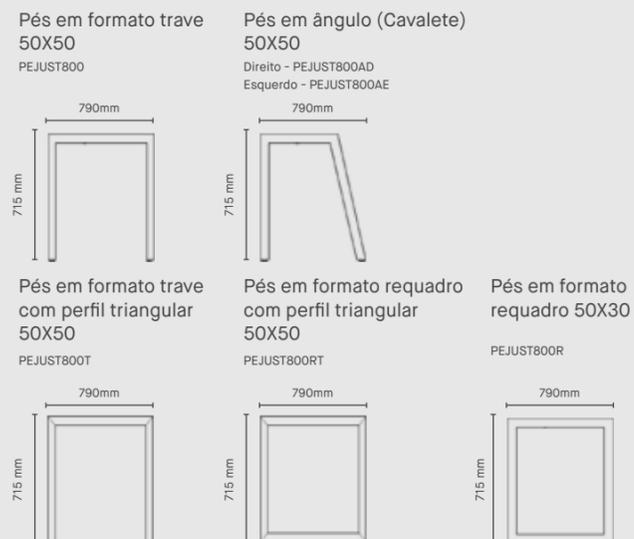


CODIGOS	800mm
1600mm	MGJT160
1800mm	MGJT180
2000mm	MGJT200
2200mm	MGJT220

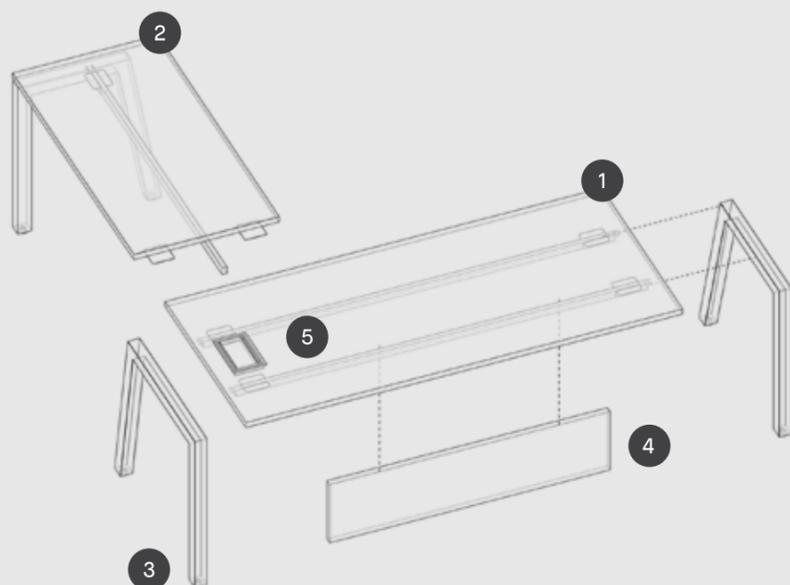
### 2 - Mesa Complemento (Pé Incluso)



### 3 - Bases

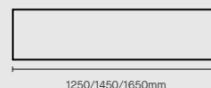


### Montagem



### 4 - Acessórios

Painel Frontal



Painel frontal inferior para mesa de gerência .

PNFIT125  
PNFIT145  
PNFIT165

### 5 - Eletrificação



Conexão completa em cada posto de trabalho: Tomadas posicionadas para melhor acomodação de carregadores e conexão de dados completa. Plugs não inclusos.



1 - Tapos

Tapos Mesa Reta

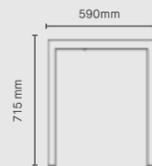


CÓDIGOS	600mm
1000mm	MRJT1006
1200mm	MRJT1206
1350mm	MRJT13506

2 - Bases

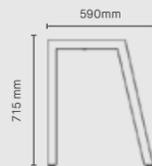
Pés em formato trave 50X50

Direito - JTMR600D  
Esquerdo - JTMR600E



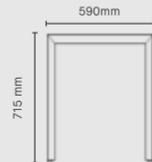
Pés em ângulo (Cavalete) 50X50

Direito - JTMR600AD  
Esquerdo - JTMR600AE



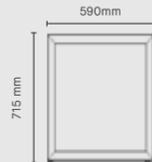
Pés em formato trave com perfil triangular 50X50

Direito - JTMR600TD  
Esquerdo - JTMR600TE



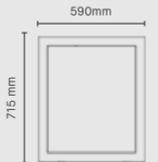
Pés em formato requadro com perfil triangular 50X50

Direito - JTMR600RTD  
Esquerdo - JTMR600RTE



Pés em formato requadro 50X30

Direito - JTMR600RD  
Esquerdo - JTMR600RE



3 - Acessórios

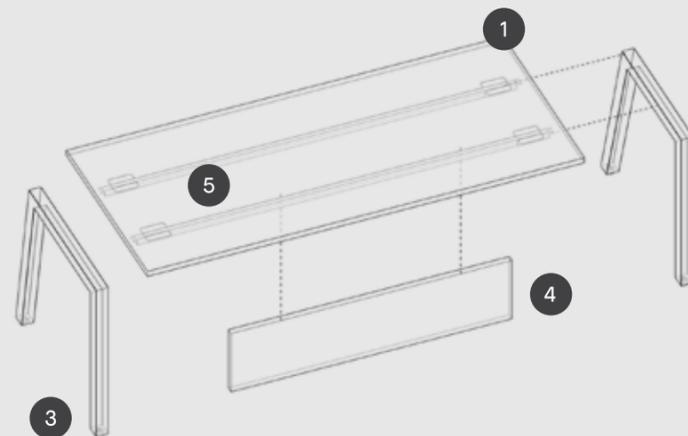
Painel Frontal



Painel frontal inferior para mesa de gerência .

JTPNF100  
JTPNF120  
JTPNF135

Montagem



## Gerenciais

Mesas individuais distintivas  
com armário de apoio integrado.





### 1 - Tampo

Tampo Superior



CÓDIGOS	800mm
1800mm	MAPFT11808
2000mm	MAPFT12008
2200mm	MAPFT12208

### 2 - Armários

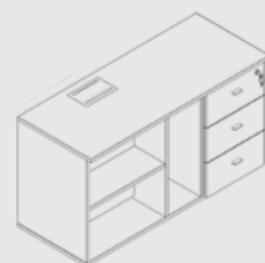


CÓDIGOS	500mm
800mm	Dir - ARMFT0805D Esq - ARMFT0805E
1200mm	Dir - APFT1205GD Esq - APFT1205GE
1600mm	Dir - APFT1605GPD Esq - APFT1605GPE



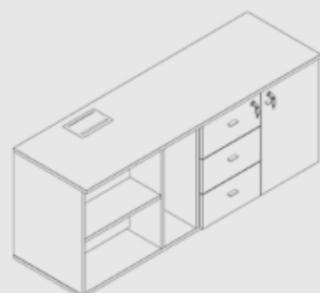
**Armário Nicho**  
Armário nicho com caixa tomada média (armário de apoio para gerência).

Direito - ARMFT0805D  
Esquerdo - ARMFT0805E



**Armário Nicho + Gaveteiro**  
Armário nicho com caixa de tomada média e gaveteiro com 3 gavetas lado direito (armário de apoio para gerência).

Direito - APFT1205GD  
Esquerdo - APFT1205GE

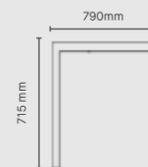


**Trave Nicho + Gaveteiro + Porta**  
Armário nicho com caixa de tomada média, gaveteiro com 3 gavetas e 1 porta lado direito (armário de apoio para gerência).

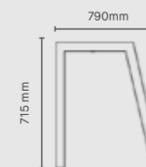
Direito - APFT1605GPD  
Esquerdo - APFT1605GPE

### 3 - Bases

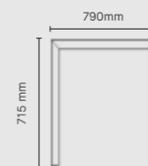
**Pés em formato trave 50X50**  
PEJUST800



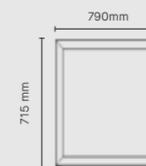
**Pés em ângulo (Cavalete) 50X50**  
Direito - PEJUST800AD  
Esquerdo - PEJUST800AE



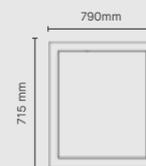
**Pés em formato trave com perfil triangular 50X50**  
PEJUST800T



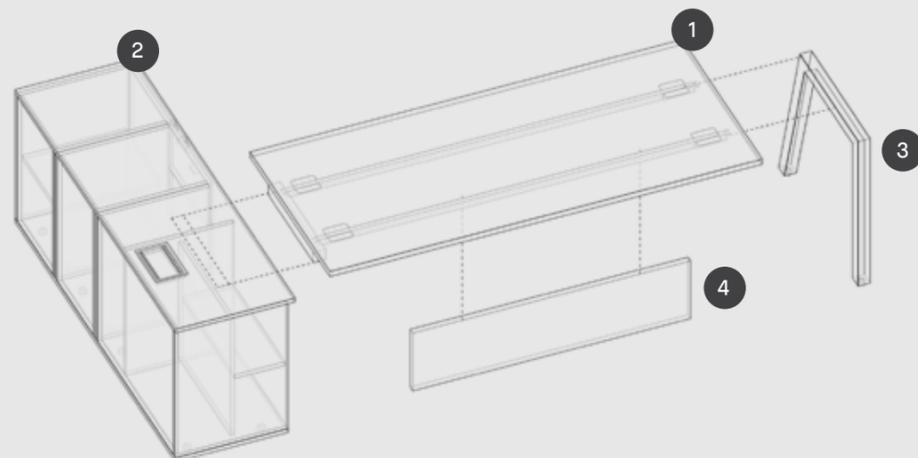
**Pés em formato requadro com perfil triangular 50X50**  
PEJUST800RT



**Pés em formato requadro 50X30**  
PEJUST800R

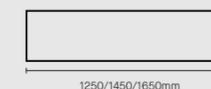


### Montagem



### 4 - Acessórios

Painel Frontal



Painel frontal inferior para mesa gerência.

- PNFIT125
- PNFIT145
- PNFIT165

### 5 - Eletrificação



Conexão completa em cada posto de trabalho: Tomadas posicionadas para melhor acomodação de carregadores e conexão de dados completa. Plugs não inclusos.



# Reunião

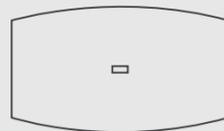
Planos componíveis para ambientes de reunião de todas as escalas.



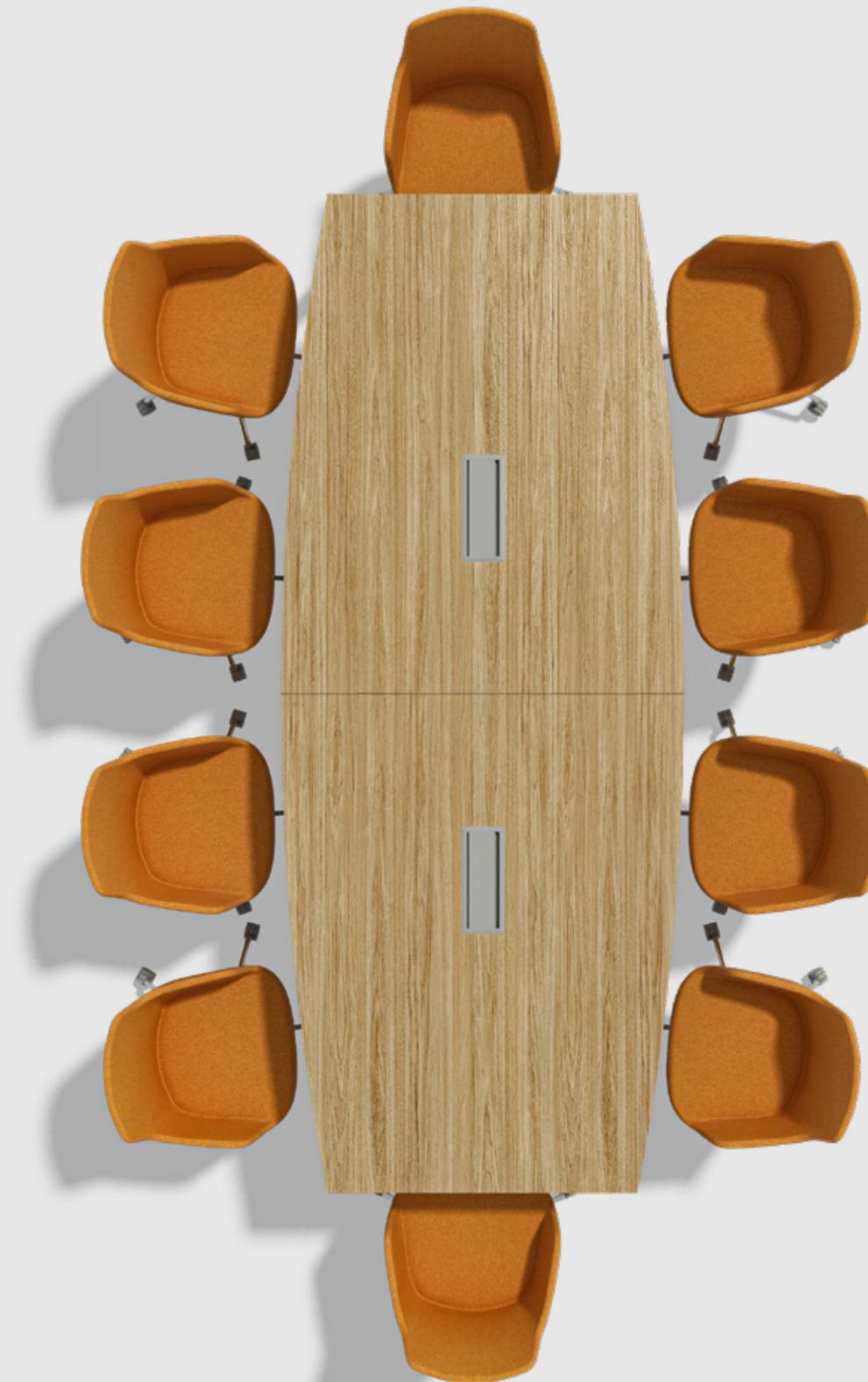
Quadrada



Retangular



Oval

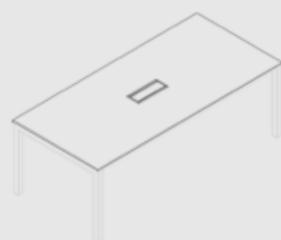




### Retangular - Profundidade 1000mm

#### Sem Pé Central

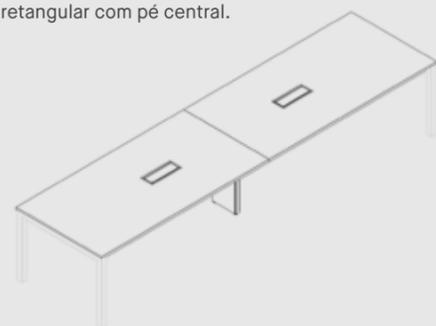
Tampo de mesa reunião retangular sem pé central.



CÓDIGOS	1000mm
1600mm	MREJUST1610
1800mm	MREJUST1810
2000mm	MREJUST2010
2200mm	MREJUST2210

#### Com Pé Central

Tampo de mesa reunião retangular com pé central.

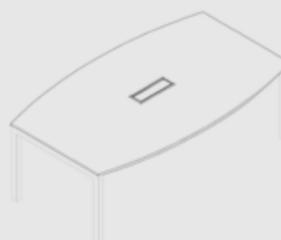


CÓDIGOS	1000mm
2400mm	MREJUST2410
3200mm	MREJUST3210
3600mm	MREJUST3610
4000mm	MREJUST4010

### Semi-Oval - Profundidade 1000mm

#### Sem Pé Central

Tampo de mesa reunião semi-oval sem pé central.



CÓDIGOS	1000mm
1600mm	MREJUST1610S
1800mm	MREJUST1810S
2000mm	MREJUST2010S
2200mm	MREJUST2210S

#### Com Pé Central

Tampo de mesa reunião semi-oval com pé central.



CÓDIGOS	1000mm
2400mm	MREJUST2410S
3200mm	MREJUST3210S
3600mm	MREJUST3610S
4000mm	MREJUST4010S

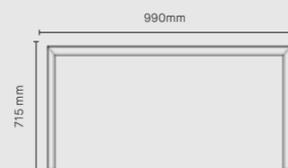
### Bases

Estrutura lateral em tubo 50 x 50 formato trave.



PEJUST1000

Estrutura lateral em tubo 50 x 50 triangular formato trave.

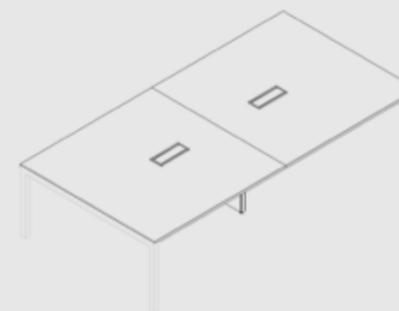


PEJUST1000T

### Quadradas - Profundidade 1600

#### Com Pé Central

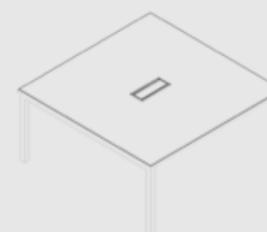
Tampo de mesa reunião retangular com pé central



CÓDIGOS	3200mm
1600mm	MREJUST3216

#### Sem Pé Central

Tampo de mesa reunião quadrado sem pé central



CÓDIGOS	1600mm
1600mm	MREJUST1616



CÓDIGOS	1600mm
1600mm	MREJUST161C

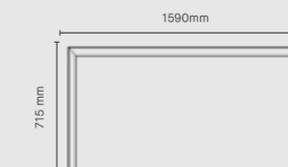
### Bases

Estrutura lateral em tubo 50 x 50 formato trave.



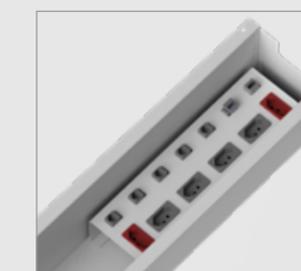
PEJUST1600

Estrutura lateral em tubo 50 x 50 triangular formato trave.



PEJUST1600T

### Eletrificação



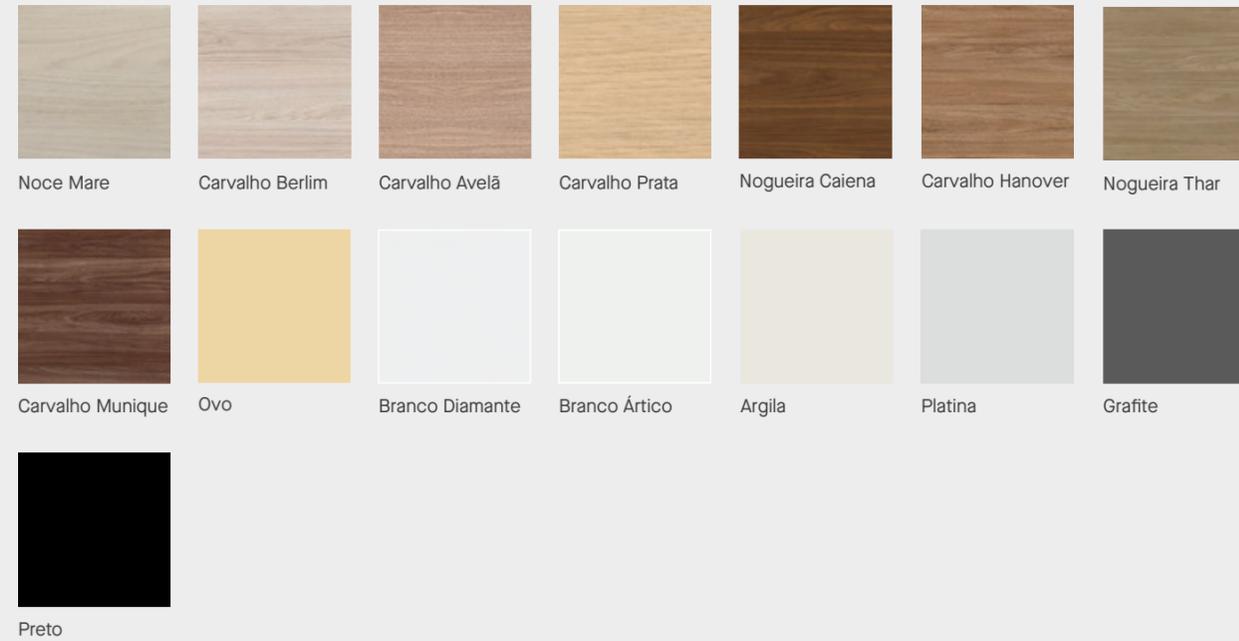
Tomadas posicionadas para melhor acomodação de carregadores e conexão de dados completa. Plugs não inclusos.



# Acabamentos



## MDP/Melaminas



## Acabamentos Metálicos





# Acabamentos



## Tecidos



## Vidros



## Laca



# A Operis

A Operis é uma empresa integrante do grupo Fortline, especializada na fabricação de móveis para escritório. Somamos quase 30 anos de experiência no desenvolvimento de linhas completas para as mais variadas áreas de negócio, produzindo mobiliário customizado e soluções de design que colocam a experiência humana como elemento principal.

Contamos com mais de 40 mil metros quadrados de área fabril, compondo uma das maiores e mais tecnológicas bases industriais moveleiras da América Latina. Máquinas de alta tecnologia e 450 profissionais compõem um time com um só objetivo: contribuir para a sociedade fomentando uma cultura de espaços de trabalho cada vez mais criativos, versáteis e funcionais.



\*Produtos com acabamento em lâmina de madeira, não possuem certificação FSC.

©Copyright 2024 Operis - Todos os direitos reservados. Marca registrada do Grupo Fortline, reserva-se o direito de alterar produtos a qualquer tempo e sem aviso prévio. Alguns itens são opcionais e podem não fazer parte do produto básico.



Dentro dessa ótica de melhorar os espaços de trabalho, desenvolvemos o Zelo, nosso programa de pós-venda que realiza retornos periódicos ao cliente.

O objetivo é verificar a qualidade e usabilidade dos produtos, receber feedbacks e realizar reparos, caso sejam necessários. Tudo isso para prevenir eventuais desregulagens, instruindo e tirando dúvidas sobre a limpeza e a conservação dos móveis de escritório. Assim, garantimos que as características ergonômicas do nosso mobiliário sejam aproveitadas em sua totalidade, proporcionando sempre a melhor experiência possível das pessoas com o seu espaço.





marzo vitorino



e-Book

 Work Pro Advanced

MÓVEIS CORPORATIVOS

# Work Pro

 Seleccione o tópico:

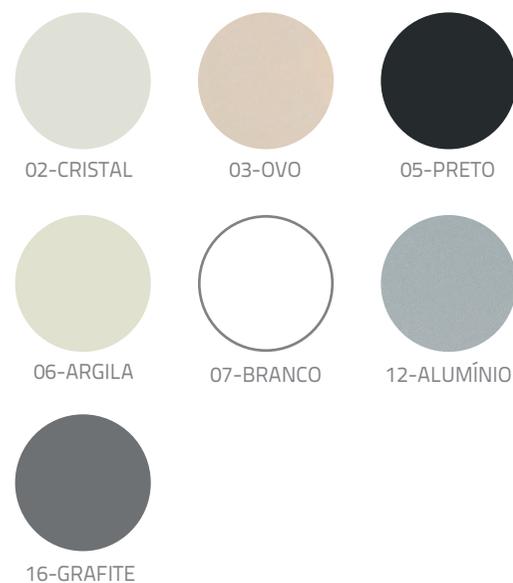
 CORES.....	03
 PLATAFORMAS.....	04
 DIRETIVA.....	17
 MESAS TUBULARES.....	25
 ARMÁRIOS.....	28
 COMPLEMENTOS.....	34

Cores disponíveis

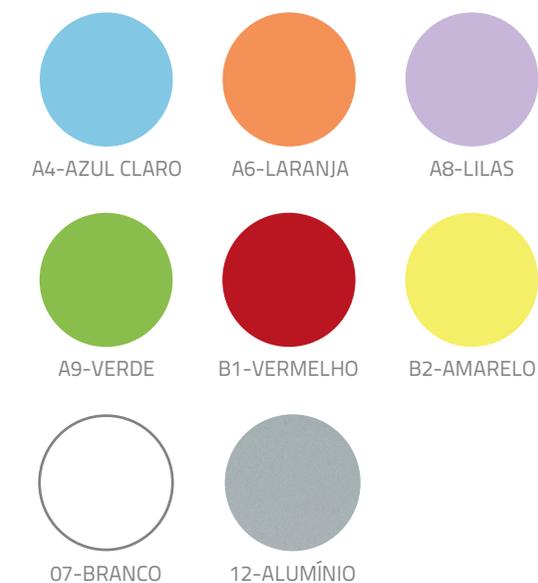
Madeiras



Metálicos



Portas PVC



Instrução de Cores

Plataformas:

COR 1 - Tampos Principais  
COR 2 - Tampos Centrais  
COR 3 - Estrutura metálica

Mesas:

COR 1 - Tampos  
COR 2 - Estrutura metálica

Armários:

COR 1 - Tampos e portas  
COR 2 - Caixaria  
COR 3 - Rodapé metálico

Gaveteiros:

COR 1 - Frontes de gavetas  
COR 2 - Caixaria



# PLATAFORMAS

## Sumário

Novidades.....	05
Plataformas - Visão geral .....	09
Plataforma Simples Módulo Central / Módulo Supervisor .....	09
Plataforma Simples Módulo Auxiliar.....	09
Plataforma Dupla Módulo Central.....	09
Plataforma Dupla Módulo Auxiliar .....	09
Exemplos de montagens.....	10
Mesa Reunião.....	13
Exemplos de montagens .....	14
Componentes Metálicos.....	16

Work Pro

[www.marzovitorino.com.br](http://www.marzovitorino.com.br)

 VOLTAR AO INÍCIO

Novidades - Plataformas

✓ Nova estrutura metálica

A estrutura metálica de plataforma da linha Work Pro foi totalmente remodelada oferecendo mais agilidade na montagem e resistência ao produto.

- As calhas elétricas e suportes para tomadas estão inclusos em todas as plataformas.
- As molduras para caixas de tomada são vendidas separadamente.



### Novidades - Plataformas

#### ✓ Novo sistema de eletrificação



Moldura Basic tamanho médio "M"



As molduras utilizadas nas plataformas são modelo Basic "M"



O sistema de eletrificação da linha Attuale foi atualizado. Agora as plataformas contam com calha elétrica, suporte para tomadas, e moldura de acabamento para acesso de elétrica, dados e voz.

- As calhas elétricas e suportes para tomadas estão inclusos em todas as plataformas.
- As molduras para caixas de tomadas são vendidas separadamente.



Configuração dos suportes: 4 pontos para elétrica  
2 pontos para dados e voz

Obs: Plugs não inclusos



Calha elétrica para acomodar e organizar a fiação.

Novidades - Plataformas

Instalações elétricas



**i** Levantando as abas auxiliares, formam-se 3 canais para passagem da fiação (elétrica, dados e voz), facilitando a separação dos fios.



Abas dobradas manualmente conforme instrução 2.

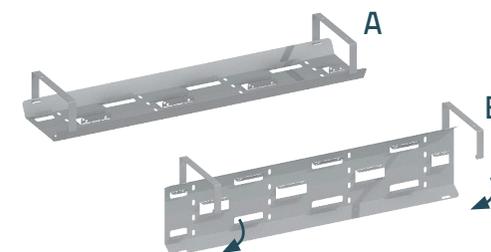


Furos para fixação de abraçadeiras para organização dos fios.

Alças que sustentam a calha elétrica, possibilitando o movimento "basculante", conforme instrução 1.

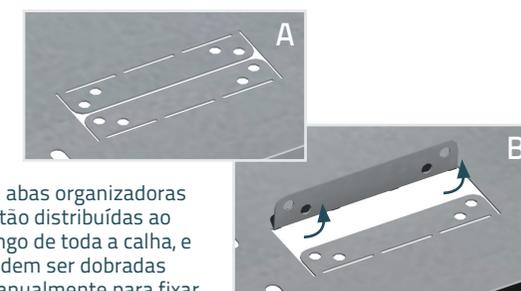
Instruções de utilização da calha

1 - Basculamento da calha



Soltando um dos lados da alça, é possível deixar a calha na posição vertical para manutenção do sistema elétrico.

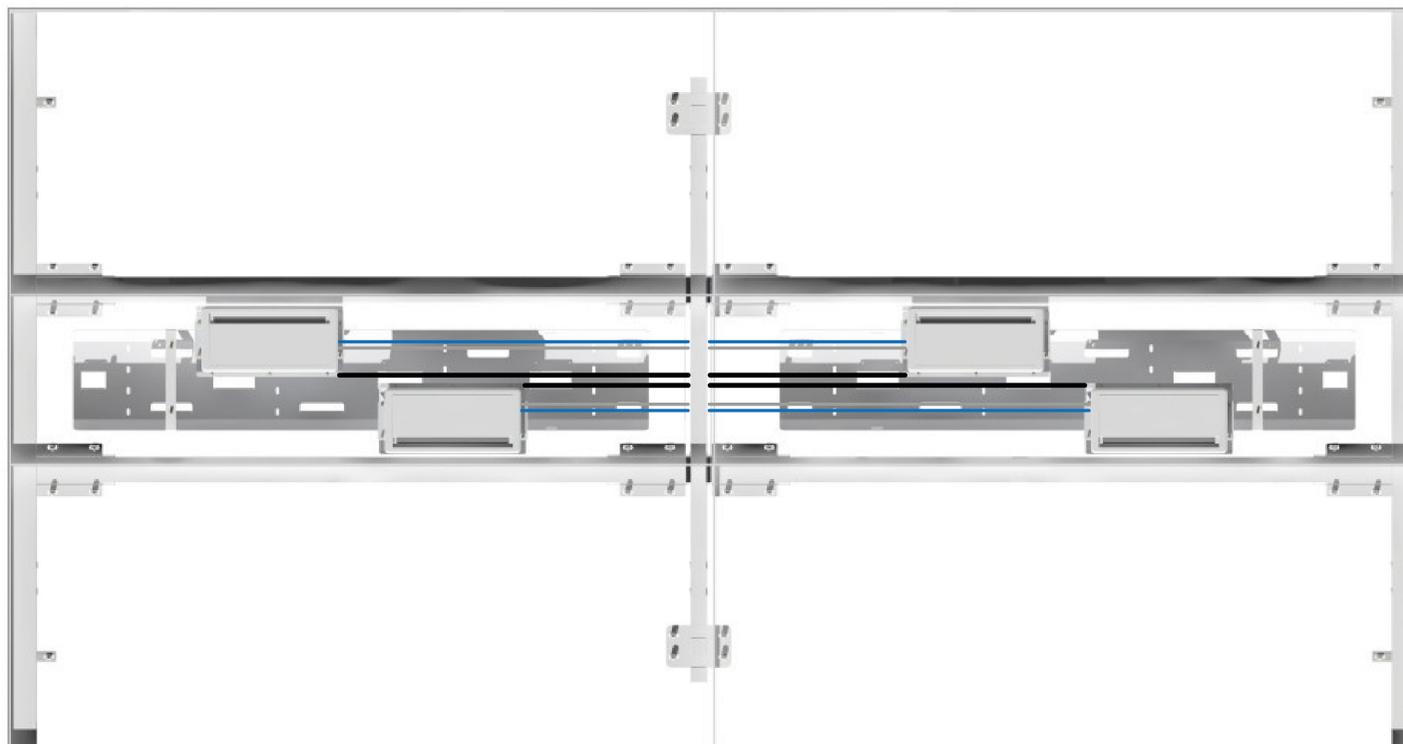
2 - Abas organizadoras da calha



As abas organizadoras estão distribuídas ao longo de toda a calha, e podem ser dobradas manualmente para fixar e organizar a fiação.

Novidades - Plataformas

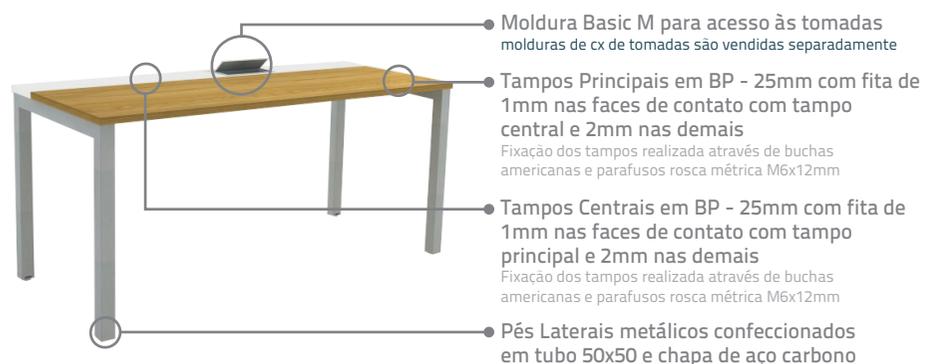
Instalações elétricas



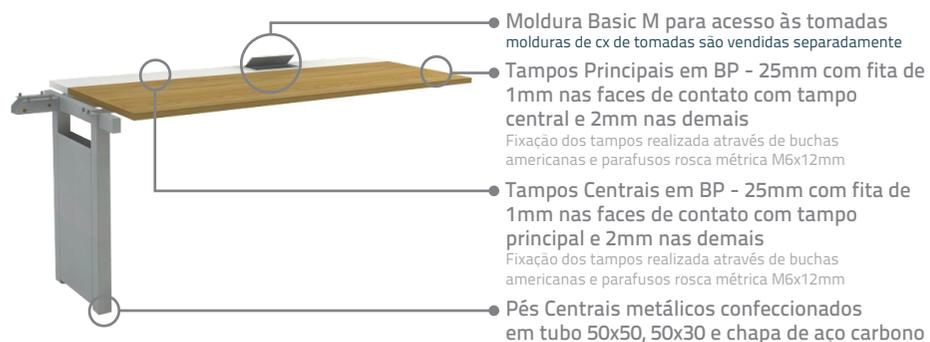
-  Fiação dados
-  Fiação voz
-  Fiação elétrica

## Plataformas - Visão geral

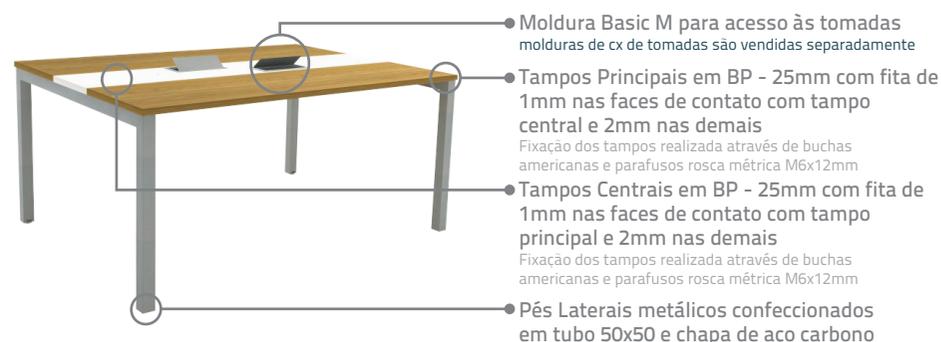
### Plataforma Simples Módulo Central / Módulo Supervisor



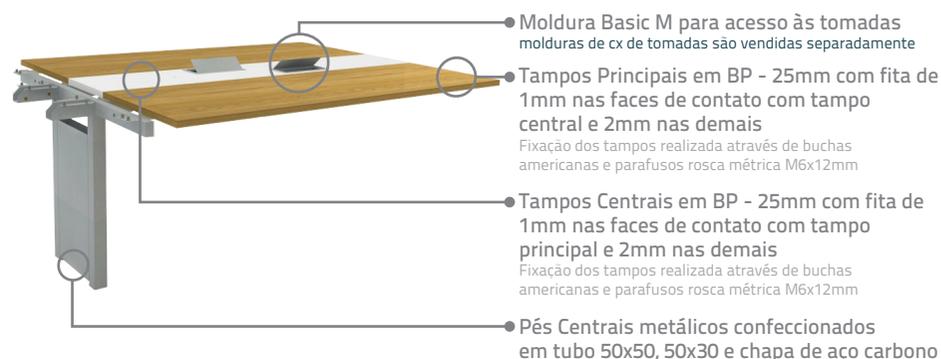
### Plataforma Simples Módulo Auxiliar



### Plataforma Dupla Módulo Central



### Plataforma Dupla Módulo Auxiliar



Exemplos de montagens

Plataforma Dupla 4 lugares



- ① Módulo Central Plataforma Dupla Work Pro 1350x1400mm
- ② Módulo Auxiliar Plataforma Dupla Work Pro 1350x1400mm
- ③ Biombo com friso Work Pro 1300mm
- ④ Biombo Lateral J Plataforma Work Pro

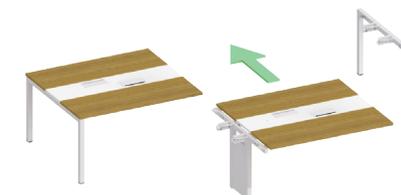
 O procedimento para montagem de módulos é igual para Plataformas Simples e Plataformas Duplas.

Sistema de montagem

1. Solte um dos pés do Módulo Central (pode ser qualquer um dos lados).



2. Acrescente o Módulo Auxiliar e fixe-o no lugar onde estava o pé lateral retirado no passo anterior.



3. Com o Módulo Auxiliar devidamente fixado, faça o fechamento da plataforma com o pé lateral que foi solto no 1º passo.



4. Fixe os parafusos dos pés para finalizar a montagem.



**Obs:** Se for necessário inserir mais módulos, antes de fazer o fechamento deve-se repetir o 2º passo até atingir a quantidade de lugares desejada.

Exemplos de montagens



\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

\*Acessórios vendidos separadamente

- ① Módulo Central Plataforma Dupla Work Pro 1350x1400mm
- ② Módulo Auxiliar Plataforma Dupla Work Pro 1350x1400mm
- ③ Biombo com friso Work Pro 1300mm
- ④ Biombo Lateral J Plataforma Work Pro
- ⑤ Gaveteiro Volante 1 Gaveta + Pasta c/ Puxador Lateral IP

Exemplos de montagens



\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

\*Acessórios vendidos separadamente

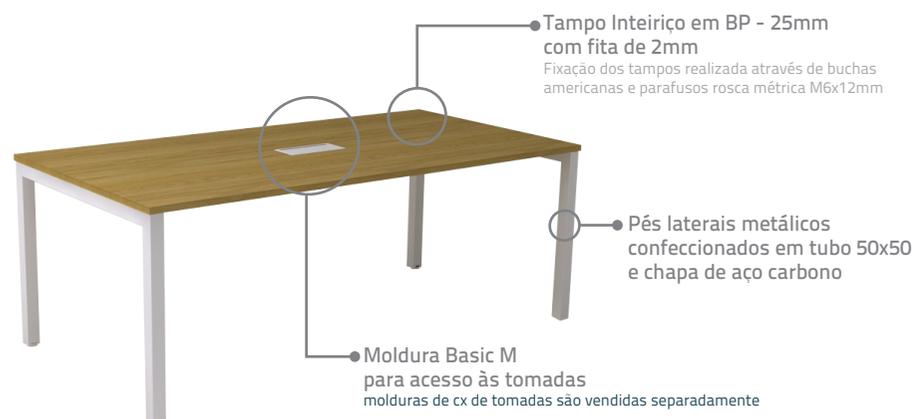
- ① Módulo Central Plataforma Dupla Work Pro 1350x1200mm
- ② Módulo Auxiliar Plataforma Dupla Work Pro 1350x1200mm
- ③ Biombo de vidro Work Pro 1300mm
- ④ Gaveteiro Volante 3 Gavetas c/ Puxador Lateral IP

Plataformas - Visão geral

Mesa Reunião

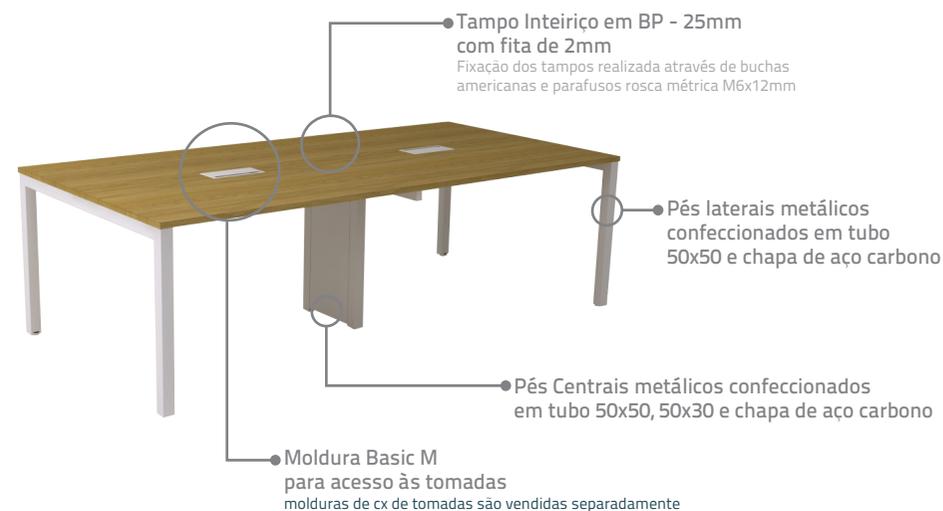
(Com estrutura metálica de Plataforma)

Mesa Reunião Pé Trave c/ 1 cx de tomada



 A estrutura metálica (travessas e calhas elétricas) é a mesma que acompanha as Plataformas de Trabalho.

Mesa Reunião Pé Trave c/ 2 cxs de tomadas



Exemplos de montagens



- ① Mesa Reunião Retangular Pé Trave  
1 acesso p/ Cx de tomada Work Pro 2000x1000mm
- ② Moldura p/ Caixa de Tomada Basic "M"

\*Molduras para Caixa de tomadas  
vendidas separadamente

Exemplos de montagens

\*Molduras para Caixa de tomadas  
vendidas separadamente



1 Mesa Reunião Retangular Pé Trave  
2 acessos p/ Cx de tomada Work Pro 2500x1200mm

1 Moldura p/ Caixa de Tomada Basic "M"

**Componentes Metálicos - Visão geral**

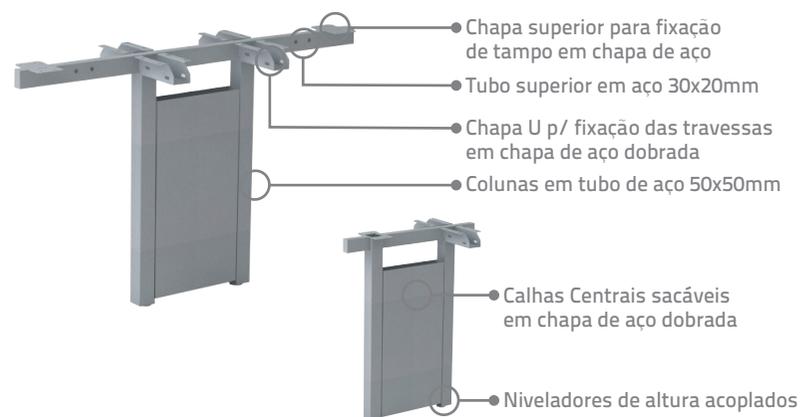
**Pés Laterais**

Para plataformas Simples e Dupla



**Pés Centrais**

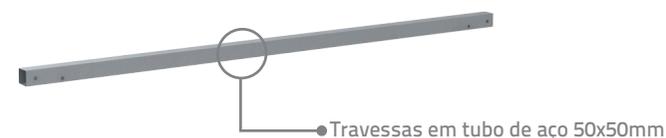
Para plataformas Simples e Dupla



**Work Pro**

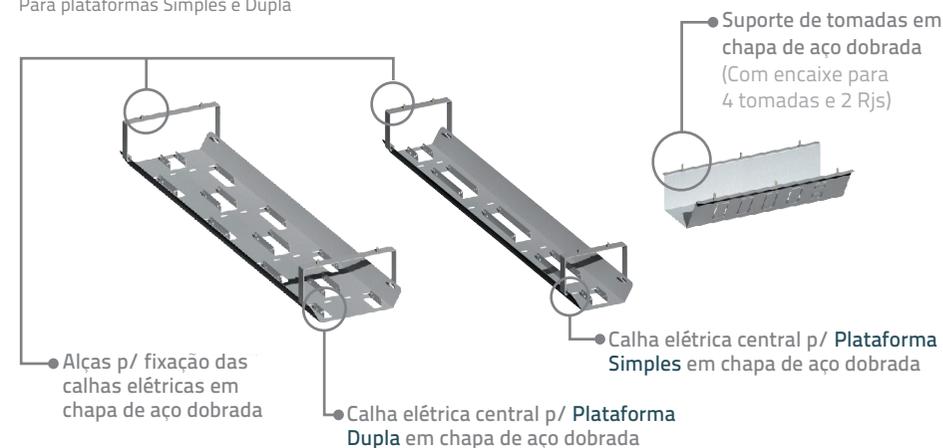
**Travessas**

Para plataformas Simples e Dupla



**Calhas Elétricas e Suportes de Tomadas**

Para plataformas Simples e Dupla





# DIRETIVA

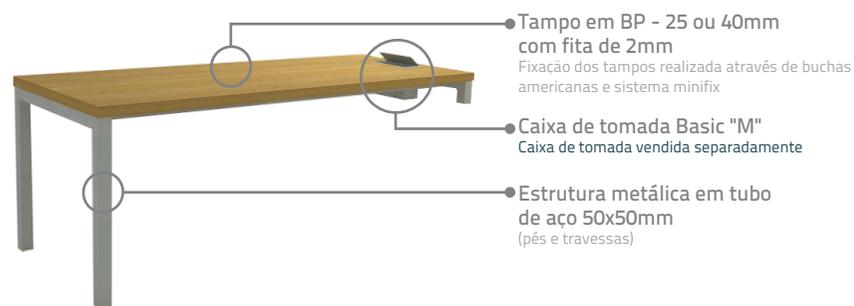
## Sumário

Diretiva - Visão geral.....	18
Mesa Diretiva com recorte para cx de tomada.....	18
Mesa Diretiva sem recorte para cx de tomada.....	18
Mesa Diretiva 4 Pés com recorte para cx de tomada.....	18
Mesa Diretiva 4 Pés sem recorte para cx de tomada.....	18
Componentes Metálicos .....	19
Armário Diretiva .....	20
Gaveteiros Diretiva.....	21
Exemplos de montagens.....	22

Diretiva - Visão geral

 Os tampos das Mesas Diretivas possuem opção de espessura com 25 ou 40mm.

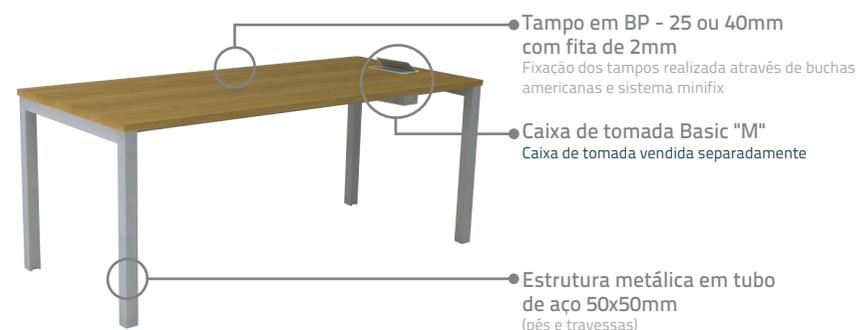
Mesa Diretiva com recorte para cx de tomada



Mesa Diretiva sem recorte para cx de tomada



Mesa Diretiva 4 Pés com recorte para cx de tomada

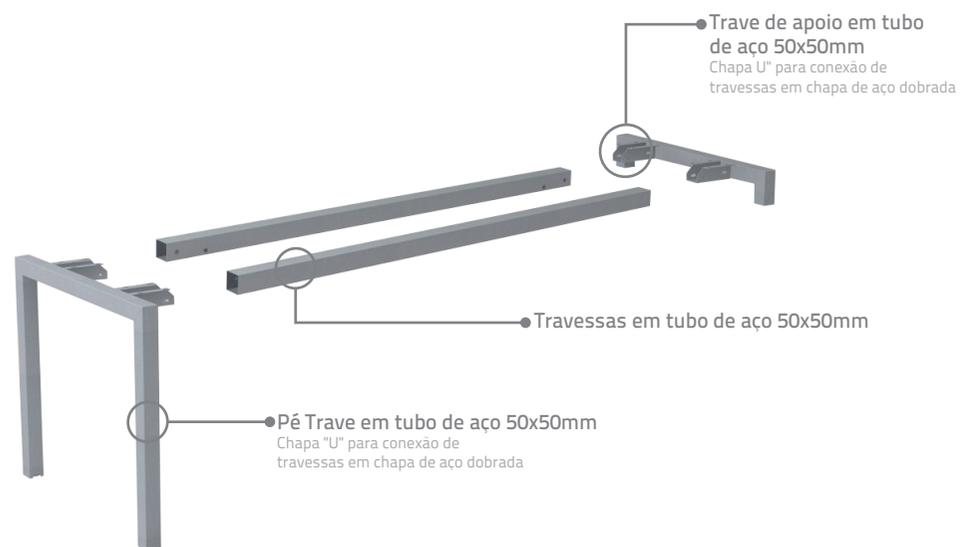


Mesa Diretiva 4 Pés sem recorte para cx de tomada

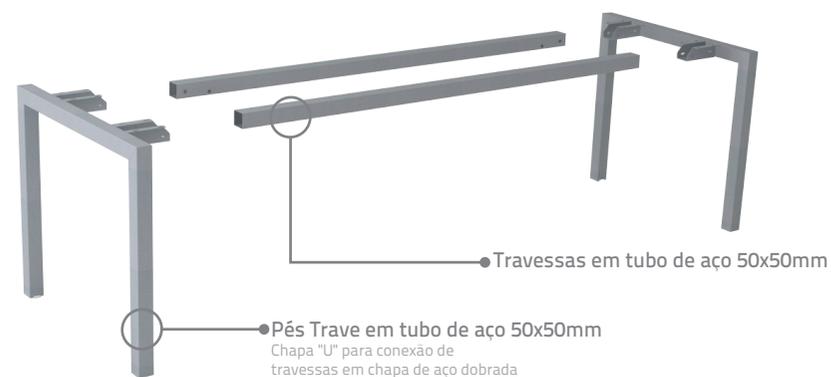


Componentes Metálicos - Visão geral

Estrutura Mesa Diretiva



Estrutura Mesa Diretiva 4 pés



Diretiva - Visão geral

Armário Diretiva



Modelos:



Armário Diretiva 3 módulos  
- Opção lado direito ou esquerdo



Armário Diretiva 4 módulos  
- Opção lado direito ou esquerdo



Armário Diretiva 4 módulos c/ porta de correr  
- Opção lado direito ou esquerdo



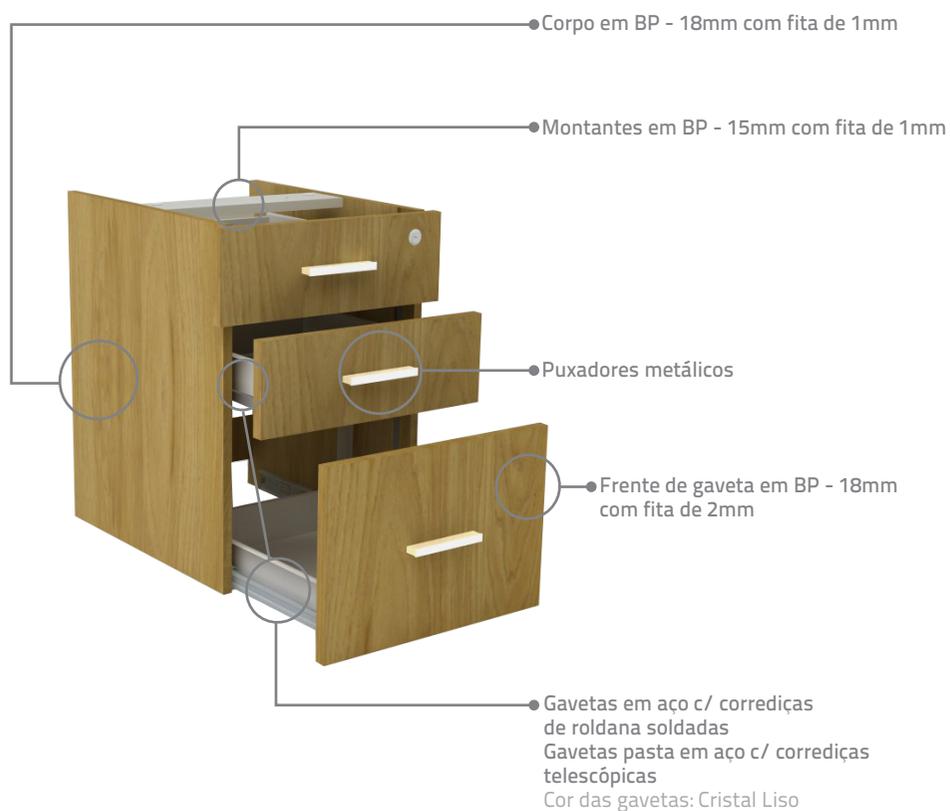
Armário Complemento Diretiva 1 módulo



Armário Complemento Diretiva 2 módulos

Diretiva - Visão geral

Gaveteiros Diretiva



Modelos:



Gaveteiro 2 Gavetas + Pasta para Armário Diretiva



Gaveteiro 4 Gavetas para Armário Diretiva

Detalhe Aplicação



Exemplos de montagens

Aplicação:



- 1 Mesa Diretiva Work Pro c/ recorte p/ Cx de tomada 1800x800mm
- 2 Armário Diretiva Work Pro Lado Direito 2000x500mm
- 3 Gaveteiro 2 gavetas + pasta Diretiva Work Pro
- 4 Caixa de tomada Basic "M"

\*Caixa de tomadas vendida separadamente

 As Mesas Diretivas devem ser combinadas com armários e gaveteiros da linha Work Pro.

Fixação da Trave

Fixação furação traseira



Fixação furação frontal



 Os Armários possuem duas opções pré-furadas para fixação das travessas de apoio:



Caixa de Tomada aplicada na mesa



Caixa de Tomada aplicada no armário

Exemplos de montagens



- ① Mesa Diretiva Work Pro c/ recorte p/ Cx de tomada 1800x800mm
- ② Armário Diretiva Work Pro Lado Direito 2000x500mm
- ③ Gaveteiro 4 gavetas Diretiva Work Pro
- ④ Armário Complemento Diretiva 1 Módulo
- ⑤ Caixa de Tomada Basic "M"

\*Caixa de tomadas vendida separadamente

### Exemplos de montagens



- ① Mesa Diretiva Work Pro c/ recorte p/ Cx de tomada 1600x800mm
- ② Armário Diretiva Work Pro Lado Esquerdo 2000x500mm
- ③ Gaveteiro 2 gavetas + pasta Diretiva Work Pro
- ④ Caixa de Tomada Basic "M"



# MESAS TUBULARES

## Sumário

Mesas Tubulares - Visão geral.....	26
Tampo Mesa Tubular.....	26
Tampo Mesa Tubular c/ Rasgo p/ Cx de Tomada Centralizado.....	26
Tampo Mesa Tubular c/ Rasgo p/ Cx de Tomada Face Superior.....	26
Estrutura para Mesa Tubular.....	26

Mesas Tubulares - Visão geral

Tampo Mesa Tubular



Tampo Mesa Tubular com Rasgo p/ Cx de Tomada Centralizado

Rasgo para Cx de Tomada Basic "M"

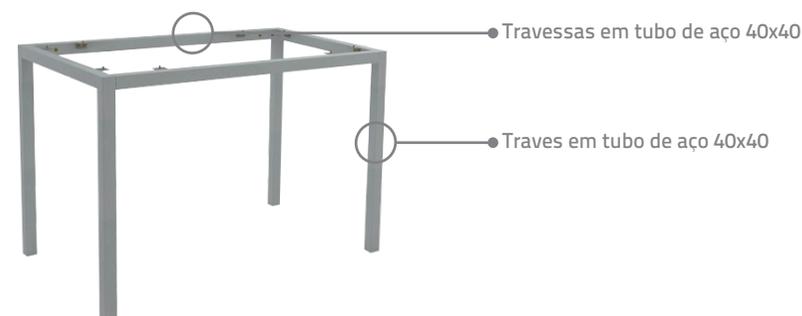


Tampo Mesa Tubular com Rasgo p/ Cx de Tomada Face Superior

Rasgo para Cx de Tomada Basic "M"



Estrutura para Mesa Tubular



Exemplos de montagens



\*Caixa de tomadas vendida separadamente

- ① Estrutura Mesa Tubular 1600x800mm
- ② Tampo Mesa Tubular c/ rasgo face superior 1600x800mm
- ③ Caixa de Tomada Basic "M"
- ④ Gaveteiro Volante 1 Gaveta + Pasta c/ Puxador Lateral IP
- ⑤ Painel Frontal Work Pro 1450mm

 Para utilização de Gaveteiros Volante com as Mesas Tubulares, recomenda-se gaveteiros com até 600mm de altura.



# ARMÁRIOS

## Sumário

Armários - Visão geral.....	29
Armários Teto, Alto, Médio e Baixo.....	29
Armário com Porta PVC.....	30
Armário Futon.....	32

Work Pro

[www.marzovitorino.com.br](http://www.marzovitorino.com.br)

 VOLTAR AO INÍCIO

Armários - Visão geral

Armários Teto, Alto, Médio e Baixo



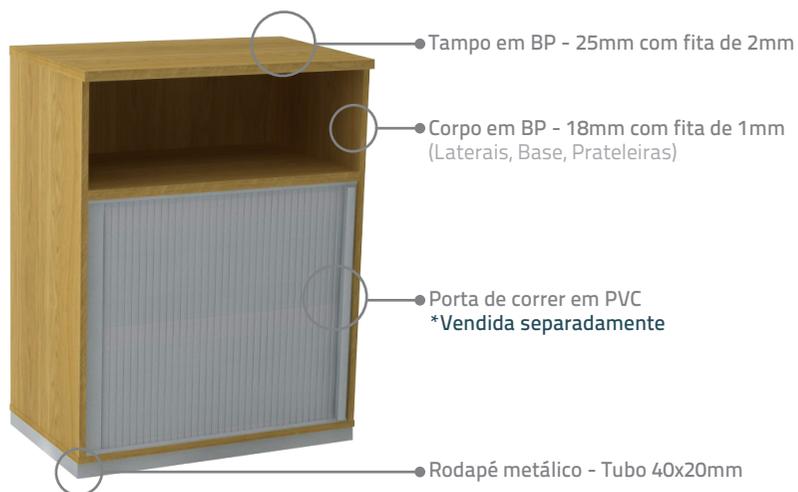
**i** Todos os Armários da linha Work Pro possuem fechadura do tipo tambor e dobradiças 110°

Modelos:



Armários - Visão geral

Armário com Porta em PVC



Portas em PVC

Portas de correr em PVC vendidas separadamente



**i** As portas em PVC estão disponíveis nas cores Branco, Alumínio, Azul Claro, Laranja, Lilas, Verde, Vermelho e Amarelo.

Modelos:



Armário Baixo Porta PVC



Armário Baixo Plataforma Porta PVC



Armário Médio Porta PVC



Armário Médio Plataforma Porta PVC

Exemplos de montagens



\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

\*Acessórios vendidos separadamente

- ① Módulo Central Duplo Work Pro 1350x1400mm
- ② Módulo Auxiliar DuploWork Pro 1350x1400mm
- ③ Biombo com Friso Work Pro 1300mm
- ④ Armário Baixo Plataforma Porta PVC Esq Work Pro 1400mm
- ⑤ Porta PVC para Armário 1400mm

### Armários - Visão geral

#### Armário Futon



Para informações sobre cores disponíveis para o Futon, consulte a cartela de cores em tecido.

**Obs:** O tampo Futon deve ser adquirido separadamente

#### Modelos:



Armário Futon lado Esquerdo



Armário Futon lado Direito

Exemplos de montagens



\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

\*Acessórios vendidos separadamente

- ① Módulo Central Duplo Work Pro 1350x1200mm
- ② Módulo Auxiliar Duplo Work Pro 1350x1200mm
- ③ Prateleira c/ Torre Plataforma Dupla 1300mm
- ④ Armário Futon Work Pro Porta Lado Direito
- ⑤ Armário Futon Work Pro Porta Lado Esquerdo
- ⑥ Futon para Armário Futon



## COMPLEMENTOS

### Sumário

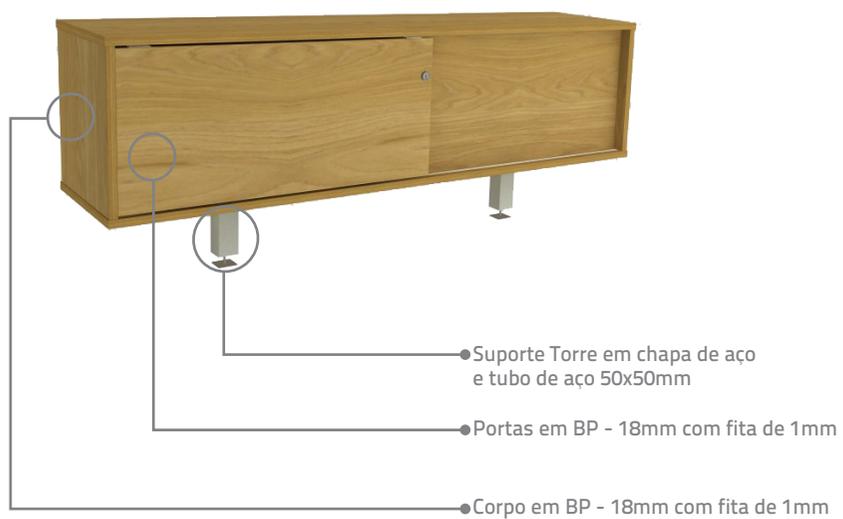
Complementos - Visão geral .....	35
Armário Nicho .....	35
Pé 50x50 para Armário Nicho .....	36
Suporte de acessórios para Armário Nicho .....	37
Biombo Divisor com Friso .....	40
Biombo Divisor de Vidro .....	40
Biombo Divisor Lateral para Plataforma .....	41
Biombo para Diretiva .....	41
Biombo com Friso para Armário .....	42
Painel Frontal .....	43
Prateleira com Torre Plataforma Simples/Dupla .....	43
Sofá .....	44
Tampo Futon para Armário Futon .....	45
Tampo Futon para Gaveteiro Volante .....	46
Tampo Futon para Armário Complemento Diretiva 1 Módulo .....	46
Mesa Auxiliar Laptop .....	47
Vértebra para fixação .....	48
Suporte Gabinete Simples .....	49
Adaptador Suporte Gabinete Simples .....	50
Suporte Gabinete Duplo .....	51
Painéis de Fechamento .....	52

**Work Pro**

[www.marzovitorino.com.br](http://www.marzovitorino.com.br)

Complementos - Visão geral

Armário Nicho



Modelos:



Armário Nicho Aberto

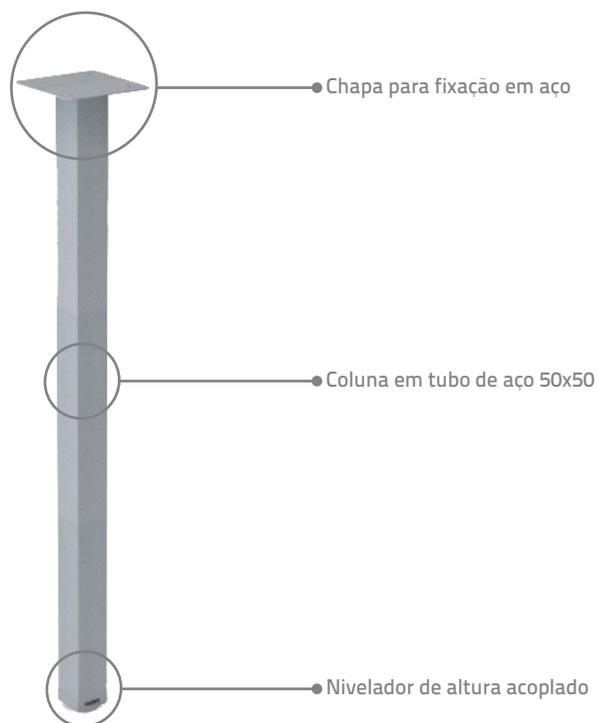


Armário Nicho Porta BP



Armário Nicho para Porta PVC  
(Porta PVC vendida separadamente)

Pé 50x50 para Armário Nicho



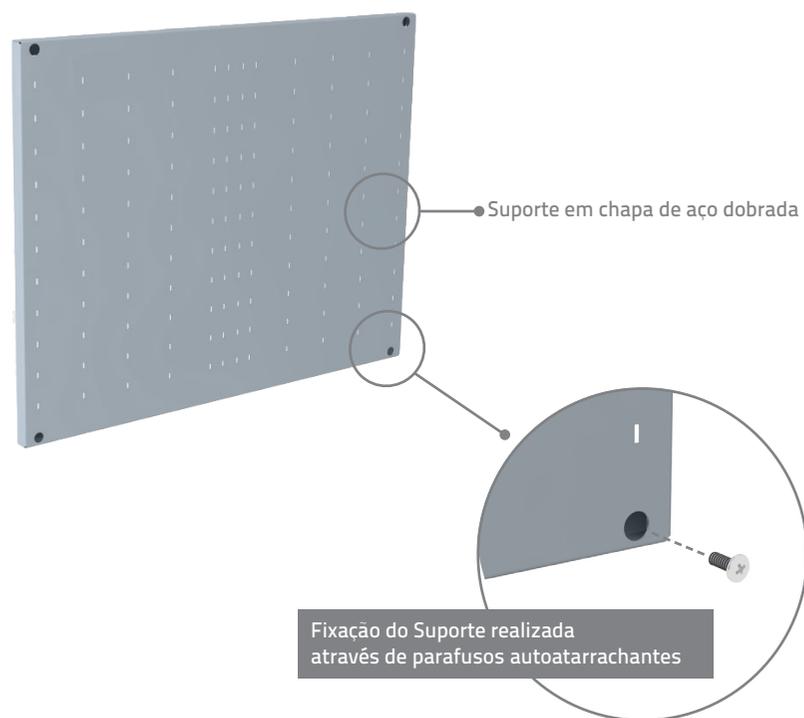
Exemplos de montagens

**i** Os Armários Nicho podem ser utilizados lateralmente utilizando o Pé 50x50 de apoio



- ① Módulo Central Simples Work Pro Largura de 1200mm
- ② Módulo Auxiliar Simples Work Pro Largura de 1200mm
- ③ Biombo com Friso para Plataforma com Largura de 1200mm
- ④ Armário Nicho Porta PVC Work Pro 1000x350mm
- ⑤ Pé 50x50 para Armário Nicho
- ⑥ Porta PVC p/ Armário Nicho 1000L

#### Suporte de acessórios para Armário Nicho



#### Exemplos de montagens

**i** Com o Suporte de acessórios para Armário Nicho, é possível a utilização dos acessórios "EasyFIX".



Exemplos de montagens



\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

\*Acessórios vendidos separadamente

- ① Módulo Central Duplo Work Pro 1350x1200mm
- ② Módulo Auxiliar DuploWork Pro 1350x1200mm
- ③ Biombo Lateral J Plataforma Work Pro
- ④ Armário Nicho Porta PVC Work Pro 1300x350mm
- ⑤ Suporte Acessórios Armário Nicho Work Pro 1000mm
- ⑥ Porta PVC p/ Armário Nicho 1300L

Exemplos de montagens



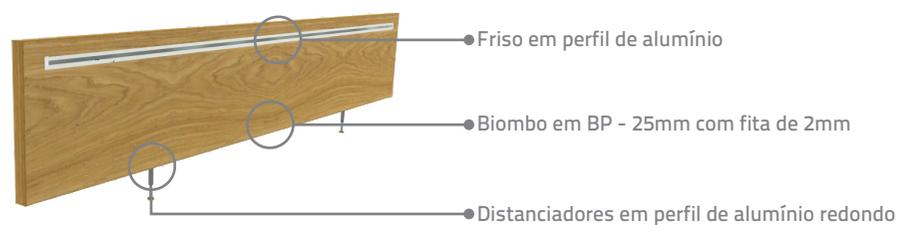
\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

\*Acessórios vendidos separadamente

- ① Módulo Central Duplo Work Pro 1350x1200mm
- ② Módulo Auxiliar DuploWork Pro 1350x1200mm
- ③ Biombo com Friso Work Pro 1300mm
- ④ Armário Nicho Porta PVC Work Pro 1000x350mm
- ⑤ Suporte Acessórios Armário Nicho Work Pro 1000mm
- ⑥ Pé 50x50 para Armário Nicho
- ⑦ Porta PVC p/ Armário Nicho 1000L

### Complementos - Visão geral

#### Biombo Divisor com Friso

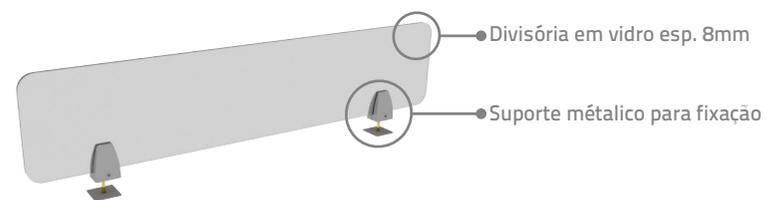


Detalhe Aplicação



Work Pro

#### Biombo Divisor de Vidro

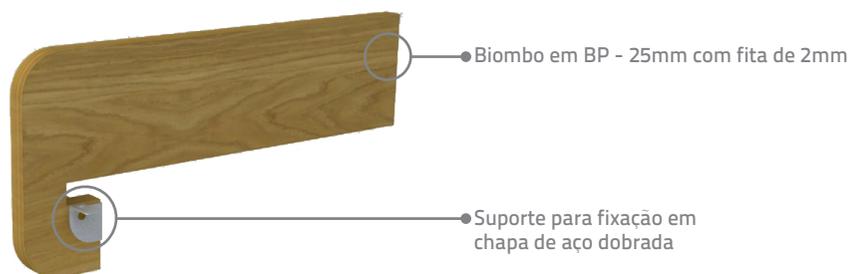


Detalhe Aplicação



### Complementos - Visão geral

#### Biombo Divisor Lateral para Plataforma

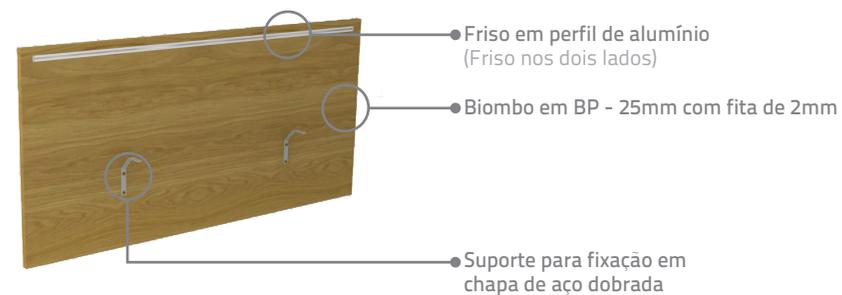


Detalhe Aplicação



Work Pro

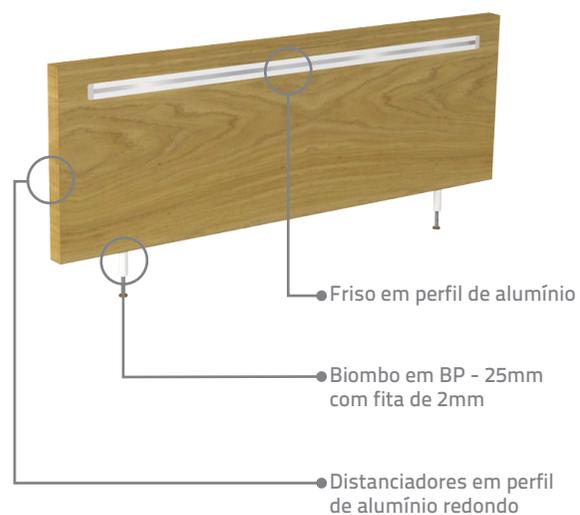
#### Biombo para Diretiva



Detalhe Aplicação



**Biombo com Friso para Armário**



**Exemplos de montagens**

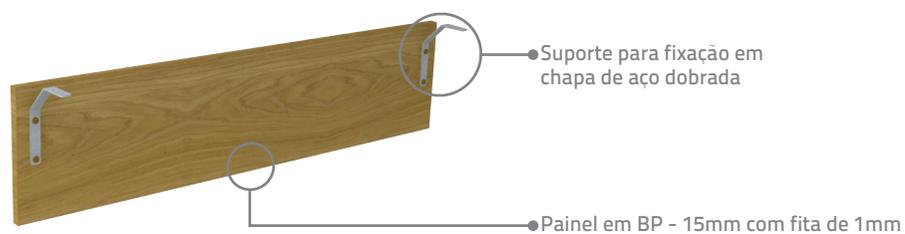
- ① Mesa Diretiva Work Pro c/ recorte p/ Cx de tomada 1600x800mm
- ② Armário Diretiva Work Pro Lado Esquerdo 2000x500mm
- ③ Biombo com Friso 750mm de largura para Armário
- ④ Gaveteiro 2 gavetas + pasta Diretiva Work Pro
- ⑤ Caixa de Tomada Basic "M"



### Complementos - Visão geral

#### Painel Frontal

Aplicável em Plataforma Simples, Mesa Diretiva, Mesa Diretiva 4 pés e Mesas Tubulares

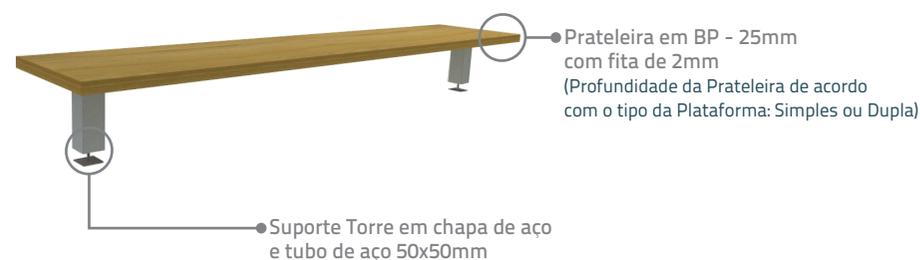


Detalhe Aplicação



Work Pro

#### Prateleira com Torre Plataforma Simples/Dupla



Detalhe Aplicação



#### Sofá



Sofá revestido em tecido\* com estrutura em madeira

\* Consultar cartela de cores para tecido

#### Exemplos de montagens

- 1 Módulo Central Duplo Work Pro 1350x1400mm
- 2 Módulo Central Simples Work Pro 1350mm de Largura
- 3 Biombo de vidro Work Pro 1300mm
- 4 Sofá Work Pro 1350 de Largura
- 5 Gaveteiro Volante 3 Gavetas 300L c/ Puxador Lateral IP
- 6 Futon para Gaveteiro Volante 480x300mm



\*Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

### Complementos - Visão geral

#### Tampo Futon para Armário Futon



\* Consultar cartela de cores para tecido

#### Exemplos de montagens

- 1 Módulo Central Simples Work Pro 1600mm de Largura
- 2 Armário Futon Work Pro Porta Lado Direito
- 3 Futon para Armário Futon
- 4 Biombo de Vidro p/ Plataforma 1600mm de Largura Work Pro



\* Molduras para Caixa de tomadas vendidas separadamente

### Complementos - Visão geral

#### Tampo Futon para Gaveteiro Volante



Futon revestido em tecido\* com base em madeira

\* Consultar cartela de cores para tecido

#### Detalhe Aplicação



Work Pro

#### Tampo Futon para Armário Complemento Diretiva 1 Módulo



Futon revestido em tecido\* com base em madeira

\* Consultar cartela de cores para tecido

#### Detalhe Aplicação



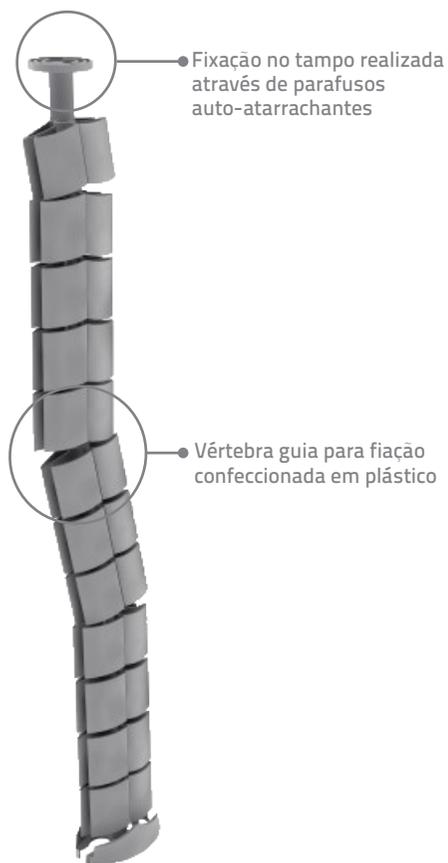
### Mesa Auxiliar Laptop



### Exemplos de montagens



#### Vértebra para Fiação



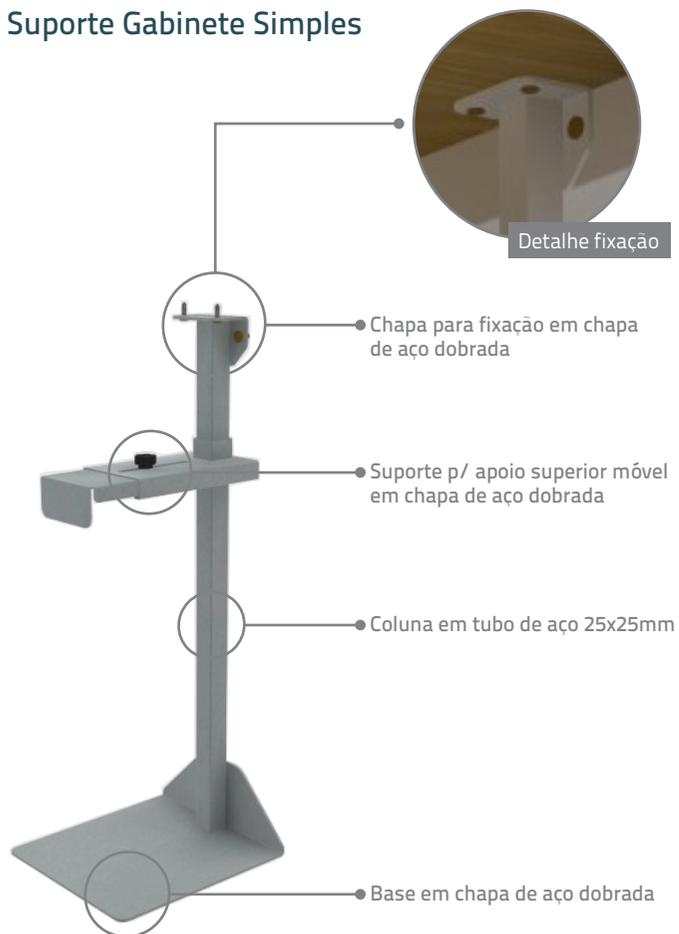
#### Exemplos de montagens



**i** A Vértebra é fixada diretamente no tampo, conduzindo a fiação até a calha central

### Complementos - Visão geral

#### Suporte Gabinete Simples



#### Exemplos de montagens

Detalhe por cima do tampo



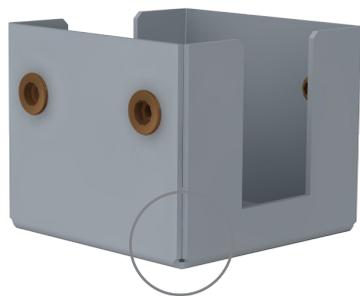
Detalhe por baixo do tampo



 O Suporte para Gabinete Simples pode ser fixado no Pé e no Tampo.

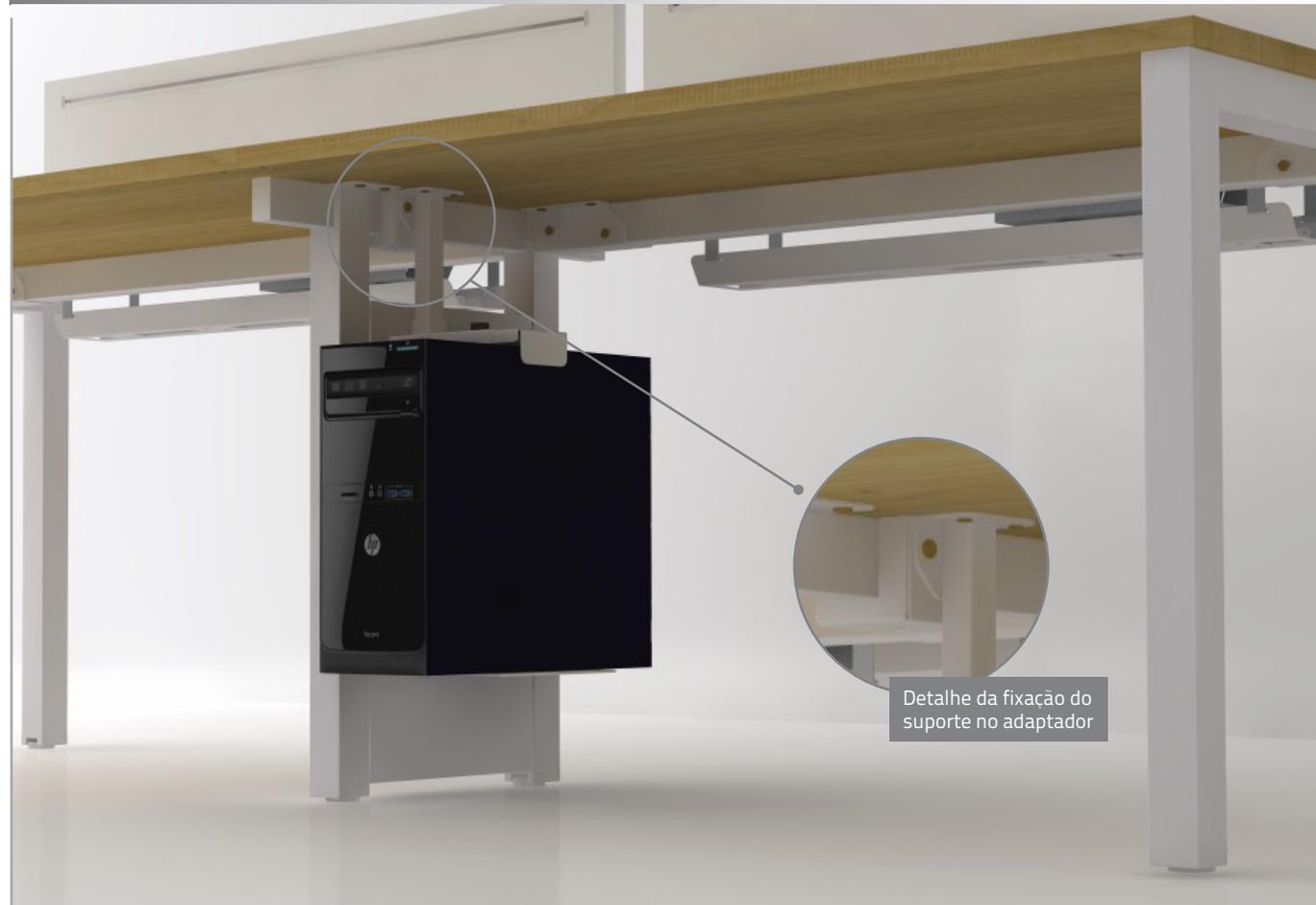
### Adaptador Suporte Gabinete Simples

Para aplicação no Pé Central de Plataforma Simples



● Adaptador em chapa de aço dobrada

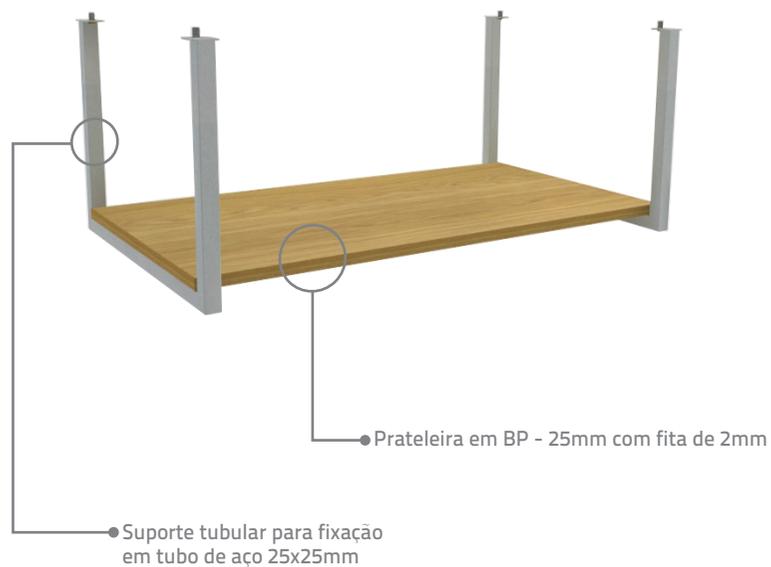
### Exemplos de montagens



● Detalhe da fixação do suporte no adaptador

### Complementos - Visão geral

#### Suporte Gabinete Duplo



#### Exemplos de montagens

Capacidade para dois Gabinetes de Computador na posição horizontal

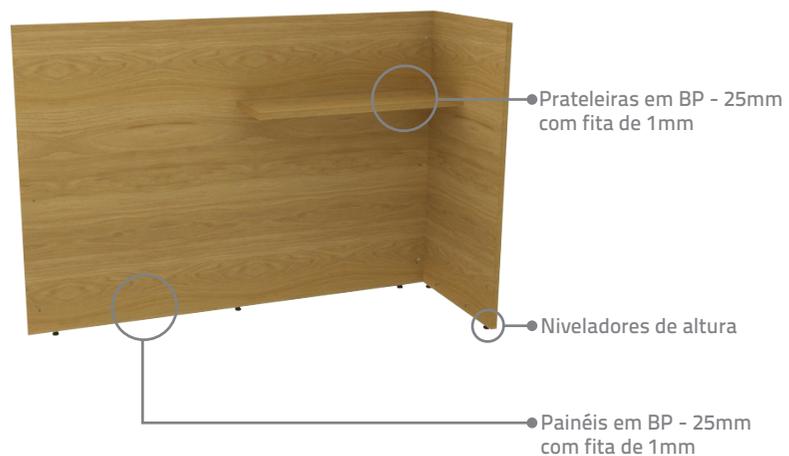
Obs: Para a utilização de dois Gabinetes, os mesmos devem ter altura máxima de 400mm.



 O Suporte para Gabinete de Computador tem capacidade para alojar dois gabinetes na posição horizontal.

Complementos - Visão geral

Painéis de Fechamento



Modelos:



Módulo Painel de Fechamento sem Prateleira  
- Disponível para Armários 3 ou 4 módulos  
- Disponível para lado Esquerdo ou Direito



Módulo Painel de Fechamento com Prateleira  
- Disponível para Armários 3 ou 4 módulos  
- Disponível para lado Esquerdo ou Direito



Módulo Painel de Fechamento Central Fundo p/ Armário 1 módulo

Exemplos de montagens

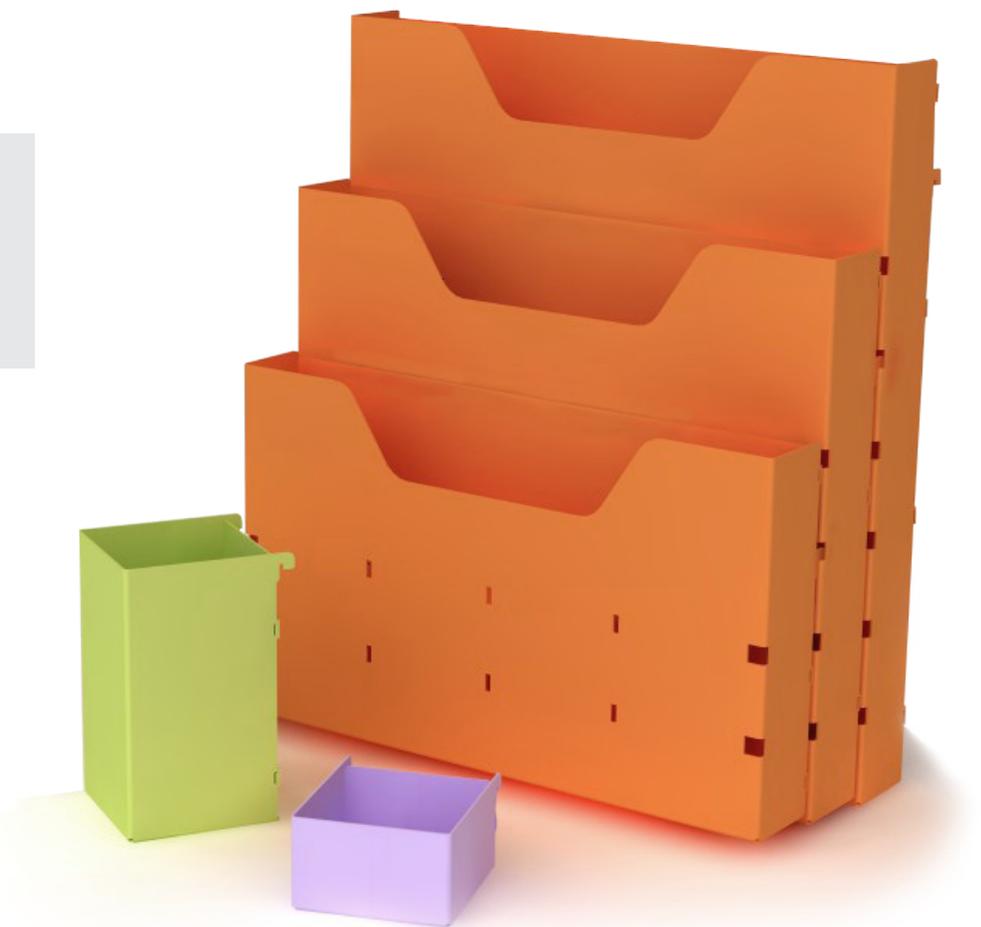


- ① Mesa Diretiva Work Pro c/ rec. p/ Cx de tom. 1800x800mm
- ② Armário Diretiva Work Pro Lado Esquerdo 1600x500mm
- ③ Armário Diretiva Work Pro Lado Direito 1600x500mm
- ④ Gaveteiro 4 gavetas Diretiva Work Pro
- ⑤ Biombo com Friso para Diretiva Work Pro
- ⑥ Painel de Fechamento c/ Prat. Esquerdo p/ Arm. 3 Módulos
- ⑦ Painel de Fechamento c/ Prat. Direito p/ Arm. 3 Módulos
- ⑧ Caixa de Tomada Basic "M"

# EasyFIX

Veja também o e-book  
de nossa linha de **Acessórios**

**marzo** vitorino





# Work Pro Advanced

**marzo** vitorino

[www.marzovitorino.com.br](http://www.marzovitorino.com.br)



A marca do manejo  
florestal responsável