



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UMA
ÓRTESE DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO
COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)**

HELOISA BARBARA ROZARIO AZEVEDO

FEIRA DE SANTANA, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UMA
ÓRTESE DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO
COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Energia e
Sustentabilidade

Orientador: Prof. Prof. Dr. Bruno Souza Fernandes

Coorientador (a): Profa. Msc. Menilde Araújo Silva Bião

HELOISA BARBARA ROZARIO AZEVEDO

FEIRA DE SANTANA, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UMA ÓRTESE DE MEMBRO
INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)

Aprovada em: 21/08/2018

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Bruno Souza Fernandes – UFRB

ASS: Bruno Souza Fernandes

Prof. Dra. Joyce Batista Azevedo – UFRB

ASS: Joyce Batista Azevedo

Prof. Dr. Fábio André Lora - UFRB

ASS: Fábio A Lora

HELOÍSA BÁRBARA ROZÁRIO AZEVEDO

FEIRA DE SANTANA, 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me concedido a chance e a força necessária para entrar e concluir o curso do BES.

A minha família, principalmente minha mãe Sílvia do Rozario e minha avó Eloíza do Rozario pelo apoio, tolerância, conforto nas horas mais difíceis e por terem contribuído de forma concreta para a pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu futuro esposo e amigo de todas as horas Raoni Sol S. Nunes, agradeço pelo seu amor, paciência e compreensão durante esta jornada.

Aos meus amigos pela ajuda permanente durante toda a minha trajetória, principalmente Maria Karoline, Katylla Beatriz, Brenda Melo, Carla de Melo e Bruna Maya Ribeiro.

Agradeço a Paula Hortência Santos Magalhães, Caio Cezar Neves Kunrath e Franco Dani Rico Amado pelo apoio quanto à confecção do protótipo e pela colaboração quanto aos testes mecânicos.

Aos mestres, pois esse caminho não poderia ser trilhado com o auxílio destes, principalmente meu orientador Bruno Souza Fernandes, minha coorientadora Menilde Araújo Silva Bião.

RESUMO

Pessoas que apresentam disfunções musculoesqueléticas e do movimento são frequentes usuárias de órteses para membros inferiores. As órteses suropodálicas ou órteses tornozelo-pé são utilizadas por pessoas com paralisia cerebral tipo espástica com o objetivo de impedir a deformidade do pé equino. Atualmente o polipropileno (PP) dentre outros materiais é o mais utilizado para confecção destas órteses, porém existe um material que possui características semelhantes ao do PP, plástico, termomoldável e mais barato, o policloreto de vinila (PVC). Partindo disto este trabalho teve como objetivo um protótipo de órtese suropodálica rígida utilizando PVC, avaliar suas propriedades mecânicas e comparar com o PVC comercial. Este trabalho é de abordagem qualitativa de caráter exploratório e a metodologia aplicada foi à produção de uma órtese de PVC utilizando a técnica de moldagem com soprador térmico e a realização de ensaios de tração e flexão da órtese produzida e do PVC comercial. Os resultados encontrados demonstram que houve um aumento do limite de resistência à tração e de resistência à flexão da dos corpos de prova da órtese de PVC comparado com os corpos de prova do PVC comercial da forma tubular. Conclui-se que o processo de fabricação alterou as propriedades mecânicas do PVC comercial e a órtese de PVC apresentou propriedades interessantes.

Palavras-Chaves: Órtese, policloreto de vinila, ensaio de tração, ensaio de flexão.

ABSTRACT

People with musculoskeletal and movement disorders are often users of lower limb orthosis. The supralodal orthosis or ankle-foot orthosis are used by people with spastic cerebral palsy in order to prevent deformity of the equine foot. Currently polypropylene (PP) among other materials is the most used for making these bracing, but there is a material that has similar characteristics to PP, plastic, thermomoldable and cheaper, polyvinyl chloride (PVC). From this, this work aimed at a prototype of rigid suropodalic orthosis using PVC, evaluate its mechanical properties and compare with commercial PVC. This work is a qualitative exploratory approach and the applied methodology was the production of a PVC orthosis using the technique of molding with thermal blower and the accomplishment of tensile and flexion tests of the produced bracing and the commercial PVC. The results showed that there was an increase in the tensile strength and flexural strength of PVC orthosis specimens compared to commercial PVC tube specimens. It is concluded that the manufacturing process altered the mechanical properties of commercial PVC and PVC orthosis presented interesting properties.

Keywords: Orthosis, polyvinyl chloride, tensile test, flexural test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Órteses Suropodálicas	12
Figura 2- Criança com pé equino.....	13
Figura 3- Unidade repetitiva do PP.....	16
Figura 4- Termoformagem a vácuo.	18
Figura 5- Unidade repetitiva do PVC.	19
Figura 6- Diagrama Esquemático de uma Extrusora.....	21
Figura 7- Processos de Extrusão de Tubos PVC.	21
Figura 8- Dispositivo usado nos ensaios de tração.	24
Figura 9- Curva tensão-deformação.....	25
Figura 10- Ensaio de flexão pelo método de três pontos.....	26
Figura 11- Soprador Térmico.....	28
Figura 12- Órtese suropodálica de membro inferior produzido com PVC.....	28
Figura 13- Corpos de prova.....	29
Figura 14- Ensaio de Tração	30
Figura 15- Ensaio de Flexão.....	30
Figura 16- Curvas de ensaio de tração da órtese de PVC e do PVC comercial.....	31
Figura 17- Curvas de ensaio de flexão.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados do ensaio de tração para todos os corpos de prova da órtese de PVC e do PVC comercial.	32
Tabela 2- Resultados do ensaio de flexão para todos os corpos de prova da órtese de PVC e do tubo de PVC comercial.	34

LISTA DE SIGLAS

ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
ISO	Organização Internacional de Normalização
LRT	Limite de Resistência à Tração
MVC	Monômero Cloreto de Vinila
PC	Paralisia Cerebral
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	11
2.1 ÓRTESES DE MEMBRO INFERIOR: TIPO SUROPODÁLICA.....	11
2.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS ÓRTESES SUROPODÁLICA	14
2.2.1 Polipropileno (PP)	15
2.3 POLICLORETO DE VINILA (PVC)	18
2.3.1 Características propriedades e aspectos históricos	18
2.3.2 Processo de Polimerização	20
2.3.3. Processamento do PVC por extrusão	20
2.3.4 Processo de obtenção de órtese de PVC	22
2.4 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA	22
2.4.1 Ensaio de Tração	23
.....	24
2.4.2 Ensaio de Flexão	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	27
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.2.1 Confecção da órtese	27
3.2.2 Ensaio de Tração e Flexão (por três pontos)	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 RESULTADOS DO TESTE DE TRAÇÃO	31
4. 2 RESULTADOS TESTE DE FLEXÃO	33
5 CONCLUSÃO	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Em 2013, 6,2% da população têm algum tipo de deficiência dentre estes 1,3% da população apresentam alguma deficiência relacionada a limitações motoras. Segundo o relatório do Conselho Nacional de Saúde de 2010, o Sistema Único de Saúde (SUS) disponibiliza alguns modelos de órteses para a população, mas os municípios desconhecem procedimentos para aquisição dos mesmos. Além disso, as licitações causam atraso na entrega e a qualidade do produto fica comprometida pela falta de um procedimento padrão de ensaios. (VILLELA, 2015; BRASIL, 2013).

Atualmente o polipropileno (PP) é o material mais utilizado para a confecção de órteses, que são todos os dispositivos que auxiliam o funcionamento de quaisquer partes do corpo. Por outro lado, o policloreto de vinila (PVC) é uma alternativa de material para a fabricação, por ser um polímero termoplástico rígido, mais barato e que apresenta propriedades semelhantes ao polipropileno.

Pensando nisso, realizou-se a fabricação de um protótipo de uma órtese de membro inferior do tipo suropodálica rígida utilizando a Técnica de Rodrigues, 2005, onde um tubo PVC foi convertido em placa, dando origem a órtese. A criação desta técnica pelo professor Jorge Lopes Rodrigues Júnior teve como principal objetivo reduzir os custos com equipamentos ortopédicos, contribuindo com a funcionalidade para pessoas com deficiência.

Esta monografia teve como objetivo geral, analisar por meio de ensaios mecânicos a possibilidade de uso do material polimérico PVC como uma alternativa na confecção de órteses de membro inferior. Partindo disto os objetivos específicos foram: Realizar estudo bibliográfico do PVC e de órteses de membro inferior, produzidas ou não com esse material; Produzir um protótipo de órtese de membro inferior utilizando PVC; Avaliar as propriedades e características da órtese desenvolvida e do tudo de PVC comercial por meio de ensaio de tração e flexão.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 ÓRTESES DE MEMBRO INFERIOR: TIPO SUROPODÁLICA

As órteses são todos os dispositivos destinados a quaisquer partes do corpo, que tem como função imobilizar ou estabilizar, prevenir ou corrigir deformidades, proteger contra lesões, auxiliar na cura ou maximizar a função (FONSECA et al., 2015).

Órtese pode ser também definida como um aparelho externo projetado para compensar a fraqueza ou ausência de função muscular ou para impedir a ação direta dos músculos espásticos. A finalidade preliminar de uma órtese é melhorar funcionalidades como: aplicar ou subtrair forças do corpo de maneira controlada e proteger uma determinada parte do corpo restringindo ou até mesmo impedindo um movimento, permitindo que pessoas sem movimentos ou com mobilidade reduzida nas pernas possam se locomover com um padrão de marcha semelhante a um indivíduo saudável (ARAÚJO, 2010, p. 30).

Uma órtese pode ser simples ou complexa, dinâmicas ou estáticas, pré-fabricada sob medida para o cliente produzida com diversos materiais. Nestes casos utiliza-se o polipropileno, gesso sintético e o neoprene (LINDEMAYER, 2004).

As órteses suropodálicas também conhecidas como ankle-foot orthoses (AFO), órtese tornozelo-pé, têm a função de corrigir a perda de função fisiológica de movimentação e estabilização da articulação e musculatura da perna. Dessa forma, impedem deformidades dos pés e possibilitam o controle e estabilidade durante a marcha (LEHMANN, apud LOIOLA; SILVA, 2017).

Esses tipos de órteses podem ser articuladas como mostra a Figura 1a, permitindo então o movimento em que os dedos do pé são movidos em direção à perna, e podem ser fixas ou rígidas conforme a Figura 1b, não permitindo movimento da articulação do tornozelo (BRASIL, 2014; ANDRADE; CAMPOS; LUSTOSA, 2013).

Uma órtese deve ser prescrita por um médico ou fisioterapeuta e o processo de fabricação delas sob medida é extremamente complexo. A simples alteração no tipo de produto é capaz de acarretar maléficas consequências aos usuários (SILVA et al., 2014).

Compete ao terapeuta ocupacional o uso da Tecnologia Assistiva para prescrever, desenvolver e confeccionar órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção, visando maximizar o processo de recuperação do paciente, minimizar sequelas e prevenir deformidades. O início da produção de uma órtese se dá com o histórico do cliente e depois se utiliza técnicas específicas como, por exemplo, avaliação da força, do movimento presente e do movimento passivo, da condição da pele e ósteo-articular, avaliação da sensibilidade, da percepção da dor, entre outros. Para a descrição deve-se ser ciente a patologia e suas alterações em questão, estrutura articular e muscular e sua relação com o movimento (BRASIL, 2015; LINDEMAYER, 2004).



Figura 1- Órteses Suropodálicas

a) Suropodálica articulada e b) Suropodálica fixa

Fonte: Andrade (2013)

Nos estágios iniciais após alguma lesão neurológica ou ortopédica, do ponto de vista funcional, as órteses suropodálicas não articuladas rígidas podem ser prescritas com a finalidade de manter a articulação do tornozelo em ângulo neutro, evitando assim a deformidade do pé em equino – “pé de bailarina” – (Figura 2), situação que pode causar dores e/ou desconforto, além da impossibilidade do apoio do pé na cadeira de rodas (BRASIL, 2013).



Figura 2- Criança com pé equino

Fonte: Lupmed (2018)

O pé em equino tem maior frequência nos pacientes com paralisia cerebral (PC) do tipo espástico e existem várias técnicas cirúrgicas propostas para sua correção. A utilização de órteses para membros inferiores nesses casos tem como objetivo proporcionar melhora funcional da postura ortostática (posição em pé) e durante a marcha, sendo um recurso importante no processo de reabilitação (SVARTMAN et al., 1994; ROQUE et al., 2012; SILVA et al., 2015).

Uma órtese suropodálica é confeccionada seguindo alguns passos. Primeiramente, deve-se registrar todas as medidas do membro da pessoa para proceder à moldagem da órtese. Em seguida, coloca-se na região anterior uma tala de polipropileno de 2 ou 3 cm de espessura e de largura com comprimento do joelho até a ponta dos dedos, com sobra. Esta tala servirá para proteger a pessoa durante o corte e retirada do molde negativo. Deve-se posicionar o membro geralmente 90° (ângulo medido entre o pé e a perna). Então o membro é envolvido com a atadura gessada (molhada), começando no nível do bordo inferior da cabeça da fíbula e finalizando cobrindo todas as pontas dos dedos. Com o molde já seco é traçado linhas horizontais ao longo da tira de corte. Essas linhas servem de guia quando do fechamento do molde. Utilizando uma caneta, é feito a marcação das linhas de corte. Com estilete, faca ou tesoura é realizado o corte, sempre em cima da placa de proteção de maneira a abrir toda a parte anterior do molde negativo para a remoção. Após a finalização do molde negativo, inicia-se a confecção do molde positivo. Para isso, é unido os traços horizontais do molde negativo e passar uma atadura para fechar. Termo moldagem é o processo de moldagem do polipropileno a temperatura quente. O polipropileno é fundido e fica com maleabilidade fácil, o que permite sua

aderência a toda a superfície do molde, copiando suas formas e originando a órtese (BRASIL, 2014).

A fabricação de uma órtese e a adaptação de meios auxiliares de locomoção, assim como funciona com as próteses agrega diversos processos, ações e requer conhecimentos de anatomia, fisiologia, patologias, cinesiologia (ciência que estuda os movimentos do corpo), engenharia, assim como a avaliação das condições de saúde da pessoa para quem o dispositivo está prescrito. Conhecer os materiais, bem como suas propriedades e seus resultantes dos processos de transformação físicos, térmicos, químicos e termoquímicos são de extrema importância quando se pensa em um processo de fabricação. Estes conhecimentos apresentam enorme relevância para a confiabilidade, funcionalidade e desempenho do dispositivo produzido, conseqüentemente, para a qualidade de vida do usuário (BRASIL, 2014; ZILIO, 2005).

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS ÓRTESES SUROPODÁLICA

Tanto o PP quanto o PVC são materiais sólidos e são classificados na categoria dos polímeros. Os polímeros podem ocorrer naturalmente, derivados de plantas ou animais, ou podem ser sintéticos, onde estes podem ser produzidos de baixo custo e suas propriedades podem ser modelados a valores que tornam muitos deles superiores aos seus análogos naturais (CALLISTER, 2013).

A síntese dos polímeros se dá pelo conjunto de reações químicas que provoca a união de pequenas moléculas unitárias, denominadas monômeros, ou com poucas unidades, denominadas oligômeros. A descrição dos polímeros pode ser feita em termos de seu comportamento mecânico e térmico. As três principais categorias principais de polímeros se subdividem em, termofixo, elastômeros e termoplásticos (ASKELAND, 2013).

Tanto o PP quanto o PVC são materiais poliméricos, plásticos e classificados como termoplásticos. A maioria dos termoplásticos são polímeros lineares, apresentando estruturas em unidades repetidas unidas entre si, extremidade a extremidade. Os termoplásticos são materiais que quando aquecidos, amolecem,

podendo ser moldados para diversos fins e, quando resfriados, endurecem (CALLISTER, 2013).

A criação de um polímero se dá por meio da polimerização, um conjunto de reações químicas que provoca a união de pequenas moléculas unitárias ou com poucas unidades para criar moléculas gigantes. Normalmente a polimerização inicia com a produção de grandes cadeias nas quais os átomos estão fortemente unidos por meio de ligações covalentes (ASKELAND, 2013).

2.2.1 Polipropileno (PP)

O PP é um material termoplástico contendo tanto a fase cristalina quanto a fase amorfa. A quantidade relativa de cada fase depende das características estruturais e estereoquímicas das cadeias poliméricas e das condições sob as quais a resina é convertida em produtos finais, tais como fibras, películas e várias outras formas geométricas durante a fabricação por extrusão, termoformagem ou moldagem (KARIAN, 2003).

2.2.1.1 Processo de Polimerização

O polipropileno é obtido através da polimerização do propileno (que é o monômero) e tal gás tem sua fonte predominante a partir do craqueamento da nafta e as tecnologias de produção de polipropileno constituem uma combinação da tecnologia de processo com a tecnologia de um catalisador. Com ampla faixa de características e grande facilidade de processamento, o polipropileno é uma das resinas termoplásticas pertencentes ao nicho das poliolefinas que inclui os polietilenos e polibutenos (MONTENEGRO; ZAPORSKI, 1996; BHERING; BARBOSA, 2017).

A síntese do PP se dá pela polimerização por adição e a Figura 3 representa sua unidade repetitiva. Tal termoplástico pode ser utilizado em tanques, fibras de tapete, embalagens, cordas, entre outros (ASKELAND, 2013).

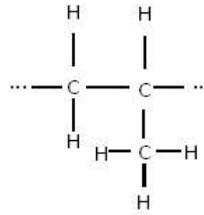


Figura 3- Unidade repetitiva do PP.

Fonte: Askeland (2013)

A polimerização por adição ou poliadição é um processo, em geral, em que as unidades monoméricas são ligadas, uma de cada vez, na forma de uma cadeia, para assim compor uma macromolécula linear. A composição produto molecular obtida é um múltiplo exato do monômero reagente original. Esta polimerização acontece em três etapas distintas: Iniciação, propagação e terminação. Na etapa de iniciação, um centro ativo capaz da propagação é formado por uma reação entre um iniciador ou um catalisador e uma unidade monomérica. Na etapa de propagação envolve o crescimento linear da cadeia polimérica pela adição sequencial de unidades do monômero a essa cadeia molecular com crescimento ativo. A terminação pode acontecer de formas diferentes. Uma delas é chamada de combinação e nela as extremidades ativas de duas cadeias que se propagam podem se ligar para formar uma molécula. A outra possibilidade de terminação chamada de desproporcionamento envolve duas moléculas que estão em crescimento e que reagem para formar duas "cadeias mortas", encerrando assim, o crescimento de cada uma das cadeias (CALLISTER, 2013).

No processo de polimerização do propileno para formar o polipropileno, vários arranjos são possíveis devido à simetria do monômero. A regularidade dessa repetição leva a um alto grau de cristalinidade e torna o polímero forte, resistente e capaz de suportar temperaturas elevadas, sendo essas propriedades responsáveis pelas diversas aplicações (AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 2016).

2.2.1.1 Propriedades e Processos de obtenção de órtese de PP

O PP é o material mais utilizado na confecção de órteses. As propriedades mecânicas mais importantes para a engenharia do produto PP são sua rigidez, força e resistência ao impacto. A rigidez é medida como o módulo de flexão, determinado

por um teste de flexão, e a resistência ao impacto por vários testes de impacto diferentes, sendo o mais utilizado o teste de impacto tipo Izod nas temperaturas ambiente. Essas propriedades mecânicas são usadas principalmente para prever as propriedades dos artigos moldados (BRASIL, 2014; KARIAN, 2003).

Mesmo podendo aplicar diversos termoplásticos na produção de órteses e próteses, o PP é o mais utilizado pelas características que apresentam de resistência, ductilidade e conformabilidade, favorecendo sua aplicação. Sua resistência à deformação plástica em temperatura ambiente e a capacidade de deformação elástica conferem versatilidade, permitindo produzir uma órtese com estruturas mais rígidas ou mais flexíveis pela variação da espessura, adicionando camadas de reforços com o próprio PP e por meio de recortes anatômicos. A termoformagem ou termoformação é o principal processo de transformação deste material em dispositivo ortopédico (BRASIL, 2014).

No processo de termoformagem o PP é aquecido a uma temperatura acima da temperatura de transição vítrea para amolecer, apresentando alta viscosidade e, em seguida, é forçado a se conformar dentro de um molde frio por aplicação de pressão ou de vácuo (ORÉFICE, 2012).

A principal diferença entre termoformagem a vácuo e por pressão, é que no processo a vácuo chapa aquecida é forçada pelo vácuo contra o molde ou contra a caixa de moldagem. Na termoformagem por pressão, a chapa termoplástica é aquecida, pressionada por uma pressão ou “sopro” contra o molde ou cavidade para moldagem. O mesmo princípio se aplica para as duas técnicas: a lâmina é aquecida antes ou em contato com o molde e o vácuo (ou pressão) é aplicado em sentido contrário (uma suga o material em direção ao molde enquanto a outra empurra) (BRASIL, 2014).

A produção de dispositivos ortopédicos sob medida com moldes gessados, tem no processo de termoformagem a vácuo o principal meio de produção tendo como exemplo a Figura 4.

As vantagens do processo de termoformagem são o menor investimento em equipamentos e moldes e a produção de peças de diferentes espessuras com o mesmo molde. As desvantagens são o custo das lâminas, sendo mais alto que o de resinas, além da alta perda de material devido ao recorte posterior e a dificuldade em controlar a uniformidade de espessura das paredes (BRASIL, 2014).

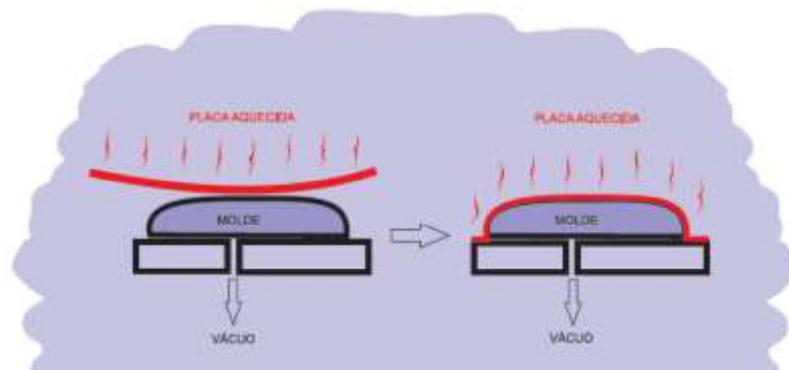


Figura 4- Termoformagem a vácuo.

Fonte: Brasil (2014)

2.3 POLICLORETO DE VINILA (PVC)

2.3.1 Características propriedades e aspectos históricos

O PVC é um material termoplástico, possui elevadas propriedades mecânicas, elevada rigidez, é plastificável em ampla faixa e é resistente à chama elevada (MANO, 1999).

A produção das resinas de PVC teve início no ano de 1835, quando Justus von Liebig descobriu o monômero cloreto de vinila (MVC), um gás à temperatura ambiente com ponto de ebulição igual a $-13,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. A descoberta de Liebig fez-se por meio da reação do dicloroetileno com hidróxido de potássio em solução alcoólica. Em 1872, tem-se o primeiro registro da polimerização do MVC e obtenção do PVC. E. Baumann detalhou a mudança do MVC induzida pela luz para um produto sólido branco, que imaginou ser um isômero do monômero. As propriedades dessa substância, descritas por ele, coincidem com as propriedades apresentadas pelo PVC (JR; NUNES, 2006).

Em 1920 ocorreu nos Estados Unidos a primeira produção comercial do PVC. A produção no Brasil teve início em 1954, em uma planta construída por meio da associação da B. F. Goodrich (EUA) e das indústrias químicas Matarazzo. Hoje essa planta foi modernizada sendo atualmente subsidiária da Braskem (SENAI, 2017).

O polímero PVC é representado por meio de sua unidade repetitiva, como mostra a Figura 5. A estrutura entre colchetes (unidade repetitiva ou mero) repete-se n vezes ao longo da molécula. O parâmetro n representa o grau de polimerização da molécula (JR; NUNES, 2006).

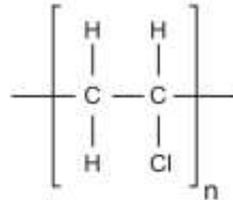


Figura 5- Unidade repetitiva do PVC.

Fonte: Jr; Nunes (2006).

O átomo de cloro no PVC é fortemente ligado pelos átomos de hidrogênio das cadeias vizinhas por ligações intermoleculares do tipo ligação por hidrogênio. Por esse motivo, os componentes feitos de PVC são mais rígidos do que de outros polímeros (ASKELAND, 2013).

O PVC é o mais versátil dentre os plásticos. Uma vez que sua resina é totalmente atóxica e inerte, a escolha de aditivos com essas mesmas características permite a fabricação de filmes, lacres e laminados para embalagens, brinquedos e acessórios médico-hospitalares, tais como mangueiras para sorologia e cateteres. E sua grande versatilidade deve-se, em parte, também à sua adequação aos mais variados processos de moldagem, podendo ser injetado, extrudado, calandrado, espalmado, por exemplo, (JR; NUNES, 2006).

Um dos fatores que afetam a flexibilidade do polímero é o arranjo dos monômeros na cadeia. Dentre os tipos de PVC, tem-se o rígido e o flexível. Para o tipo rígido, há necessidade de um controle rigoroso de temperatura e escolha de lubrificantes, ficando excluída a adição de plastificante, pois gera calor durante o atrito entre o polímero e o equipamento. O tipo flexível há adição de plastificantes e a quantidade depende da finalidade de utilização. O PVC mais rígido é utilizado, por exemplo, em tubos de dreno e esgoto (SENAI, 2017; AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 2016).

Cerca de 70% da demanda mundial de PVC é destinada a arquitetura e construção civil, tendo sua principal aplicação na fabricação de tubos e conexões, pois não sofrem corrosão e possuem alta durabilidade, evitando assim a perda de água (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC).

2.3.2 Processo de Polimerização

A produção do PVC na indústria são utilizados três processos principais de preparação (polimerização): poliadição em suspensão (incluindo microssuspensão) e poliadição em emulsão (MANO, 1999).

A polimerização por suspensão consiste em dispersar gotas do monômero em água. Esse estado é mantido adicionando-se um coloide protetor ou de 0,1% a 0,5% de um agente de dispersão. Utiliza-se normalmente produtos solúveis em água como gelatina e derivados de celulose. Há necessidade de forte agitação, para os reagentes serem mantidos em suspensão.

A polimerização do cloreto de vinila ocorre à temperatura de aproximadamente 50 °C. Já na polimerização em emulsão, o MVC liquefeito é disperso na forma de gotas extremamente pequenas, em meio a uma fase aquosa contínua, por meio de agitação vigorosa e da presença de um agente emulsificante. Um iniciador solúvel em água é utilizado, de modo que a reação de polimerização ocorra preferencialmente no monômero emulsificado (SENAI, 2017).

2.3.3. Processamento do PVC por extrusão

A fabricação de tubos rígidos de PVC se origina no processo de extrusão. A extrusão é o processo no qual um termoplástico viscoso é moldado sob pressão por meio de uma matriz com extremidade aberta, e é semelhante à extrusão de metais. Uma rosca ou parafuso sem fim transporta o material granulado através de uma câmara, onde ele é compactado, fundido e conformado sucessivamente, como uma carga contínua de um fluido viscoso, como mostra a Figura 6.

A extrusão ocorre quando essa massa fundida é forçada através de um orifício na matriz. A solidificação do segmento extrudado é acelerada por sopradores de ar, por um banho ou por um borrifo de água (JR; NUNES, 2006; CALLISTER, 2013).

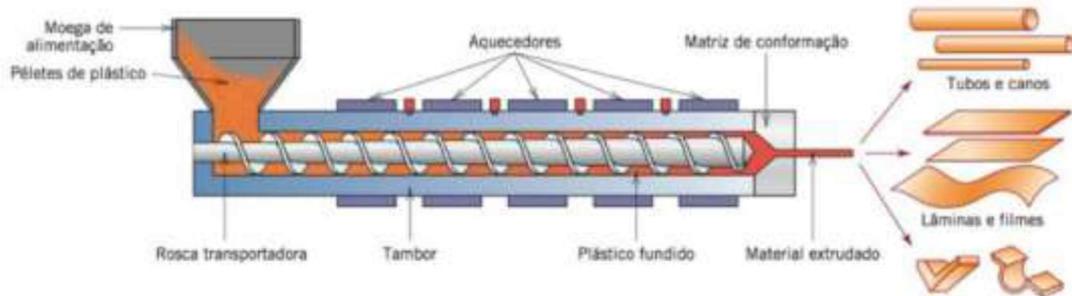


Figura 6- Diagrama Esquemático de uma Extrusora.

Fonte: Callister (2013).

Na fabricação dos canos de PVC, a extrusora é a responsável pela gelificação, plastificação e homogeneização do composto originalmente na forma de pó. Quando fundido, o composto alimenta a matriz, responsável pela conformação do material na forma do produto final. À saída da matriz se encontra um calibrador a vácuo, o qual resfria o material fundido e dá dimensões ao produto final. É comum a utilização de água gelada no resfriamento do calibrador em linhas de maior produtividade ou em tubos de maiores espessuras. Na sequência, o tubo passa por uma série de jatos de água para resfriamento adicional dentro da própria câmara de vácuo. À frente da linha, encontram-se o puxador e o dispositivo de corte e recepção das barras cortadas. As barras já cortadas passam por um dispositivo de formação da bolsa: por meio de aquecimento de uma de suas pontas, o tubo recebe um macho que ajusta o diâmetro interno do tubo para perfeito acoplamento entre as barras, a Figura 7 ilustra este processo (JR; NUNES, 2006).

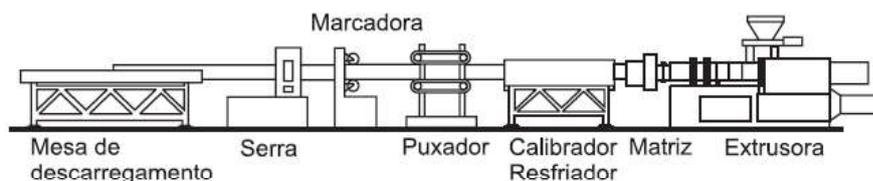


Figura 7- Processos de Extrusão de Tubos PVC.

Fonte: Jr; Nunes (2006)

2.3.4 Processo de obtenção de órtese de PVC

Uma órtese pode ser produzida utilizando como matéria-prima o PVC adquirido comercialmente de forma tubular. O que difere esta técnica das demais é o processo de transformação de uma matéria-prima bruta, no caso o tubo/cano PVC, que é aberto e transformado em uma placa para ser posteriormente convertido em uma órtese (SILVA, 2014).

A técnica em que utiliza PVC para criação de órteses é conhecida como Técnica de Rodrigues. Esta técnica foi criada pelo professor Jorge Lopes Rodrigues Júnior quando ainda era estudante de terapia ocupacional com objetivo de reduzir os custos para o acesso a equipamentos ortopédicos e de tecnologia assistiva, favorecendo funcionalidade para pessoas com deficiência. Jorge Rodrigues foi premiado duas vezes pela importância da técnica. A primeira vez em 2005, pela Organização das Nações Unidas para a educação, ciência e cultura (UNESCO) e Fundação Banco do Brasil de Tecnologia Social. Em 2006, o professor recebeu Medalha de Honra ao mérito Evandro Chagas, pela Câmara Municipal de Belém (ROOIJEN, 2017).

Segundo Rodrigues (2005 apud SILVA, 2014) visando à moldagem de uma órtese, a técnica de Rodrigues consiste na aferição das medidas antropométricas, coletando marcações anatômicas sobre as proeminências ósseas, contornos de membros, articulações, alinhamentos articulares, diâmetro ósseo e condições de pele. Com base nestes dados, o dispositivo é modelado diretamente na fonte de calor a 90 ou 100 °C, obedecendo às marcações feitas na placa e seus ajustes feitos com a utilização do soprador térmico.

2.4 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Para entender o uso e a comparação dos dados de propriedades mecânicas dos materiais, é preciso saber que as propriedades mecânicas não são medidas nas

próprias resinas, mas sim nos produtos fabricados a partir da resina, e são dos processos que governam a fabricação e os procedimentos dos testes mecânicos que as propriedades mecânicas são obtidas. Na seleção de um material para uma determinada aplicação, o comportamento mecânico deles é de suma importância (KARIAN, 2003; ORÉFICE, 2012).

Como existem muitas variáveis que afetam as propriedades mecânicas, foram formadas organizações de testes de materiais, como a American Society for Testing and Materials (ASTM) e a Organização Internacional de Normalização (ISO), para trazer alguma uniformidade e consistência ao preparo dos corpos de prova e aos testes mecânicos. Como os métodos de fabricação e teste da ASTM e da ISO permitem alguma liberdade com suas diretrizes, quando é perguntado quais são as propriedades mecânicas de um material, a primeira resposta deve ser perguntar por quais testes, quais corpos de prova e sob quais condições. Este último inclui fatores como o tipo exato de corpos de prova, a idade e o espectro, como a amostra foi condicionada, a velocidade de teste, a temperatura de teste, o procedimento de aquisição de dados e o método de cálculo (KARIAN, 2003).

Tensões é a resposta interna aos esforços externos que atuam sobre uma determinada área em um corpo. Os ensaios mecânicos viabilizam a determinação de propriedades mecânicas no que concerne ao comportamento do material quando sob a ação de esforços e que são expressas em função de tensões e/ou deformações (GARCIA, 2012).

Para muitos materiais poliméricos, o ensaio tração-deformação é utilizado para caracterizar alguns parâmetros mecânicos, como o módulo de elasticidade, limite de escoamento e limite de resistência à tração, e isto acontece por que as propriedades dos polímeros são especificadas por muitos dos mesmos parâmetros que são usados para os metais (CALLISTER, 2013).

2.4.1 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração têm como objetivo verificar o comportamento do material sob carga de tração estática ou lentamente aplicada. O que se mede é a mudança de comprimento do corpo de prova em relação a um comprimento inicial.

Este teste fornece dados do limite de escoamento, do limite a resistência à tração, do módulo de elasticidade (Young) e da ductibilidade dos materiais. O limite de escoamento é tensão referente a uma deformação plástica convencional, limite de resistência à tração é a tensão referente á carga máxima suportada por um corpo de prova, o módulo de Young é uma medida da dificuldade de se deformar um material e ductibilidade diz respeito à capacidade do material se deformar permanentemente sem se quebrar (ORÉFICE, 2012; ASKELAND, 2013).

As deformações elásticas são aquelas reversíveis, ou seja, desaparecem ao se remover a carga aplicada. Já as deformações plásticas são aquelas irreversíveis ou permanente de um material depois da remoção de uma carga (ASKELAND, 2013).

Durante este ensaio, uma amostra é deformada normalmente até sua fratura, por uma carga de tração que é aumentada gradativamente, sendo aplicada uniaxialmente ao longo do eixo do corpo de prova. O corpo de prova é alongado pelo travessão móvel, como mostra a Figura 8, e uma célula de carga e um extensômetro medem, respectivamente, a magnitude da carga aplicada e o alongamento. O resultado obtido é registrado por um computador como carga ou força em função do alongamento (Figura 9) (CALLISTER, 2013).

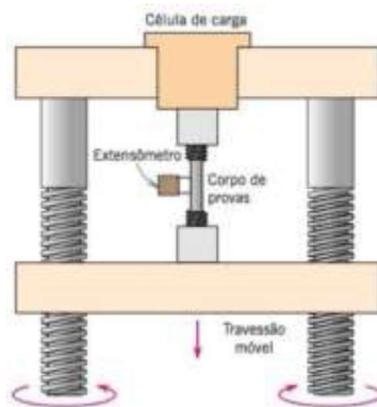


Figura 8- Dispositivo usado nos ensaios de tração.

Fonte: Callister (2013)

A Figura 9 representa o comportamento da curva tensão-deformação até a fratura, ponto F. O limite de resistência à tração (LRT) está apontado pelo ponto M.

Os círculos representam os detalhes da geometria dos corpos de prova ao longo da curva.

O comportamento elástico dos termoplásticos se dá quando a tensão é retirada e a recuperação do material é quase instantânea. Os termoplásticos se deformam plasticamente quando a tensão ultrapassa o limite de escoamento (ASKELAND, 2013).

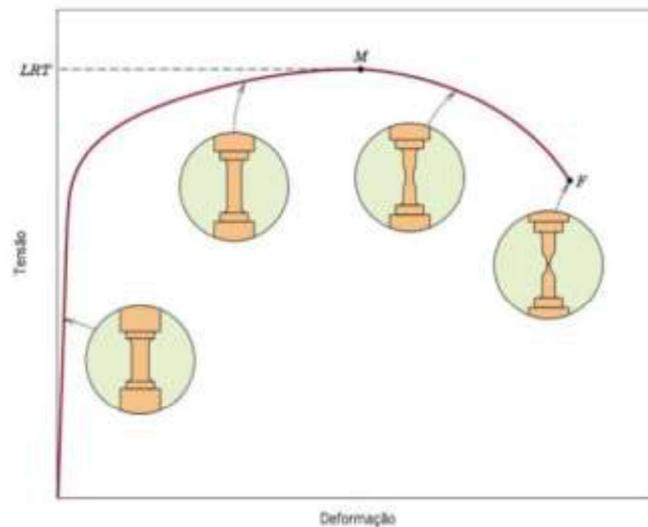


Figura 9- Curva tensão-deformação.

Fonte: Callister (2013)

2.4.2 Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão se dá por meio da aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra de geometria padronizada, a qual pode estar na condição biapoíada ou engastada em uma das extremidades. Mede-se o valor da carga versus a deformação máxima, ou a flecha (v), deslocamento dos pontos de aplicação de carga, atingida na flexão. Trata-se de um ensaio bastante utilizado em materiais frágeis, ou de elevada dureza. Os principais parâmetros obtidos no ensaio de flexão são a tensão de ruptura (valor da tensão que levará o corpo de prova a fratura total) e o módulo de elasticidade, que representa o coeficiente de elasticidade

do corpo de prova (GARCIA, 2012). Um esquema do ensaio de flexão pelo método de três pontos pode ser visto na Figura 10.

Os módulos de elasticidades encontrados neste tipo de ensaio são geralmente próximos aos encontrados nos ensaios de tração do mesmo material (DOWLING, 2017).

O ensaio consiste na aplicação de cargas em um corpo de prova com configuração regular sujeito a 3 pontos de apoio ou contato. O equipamento é dotado de dois suportes ajustáveis, um dispositivo de aplicação da carga e um medidor da deflexão ou curvatura. Os corpos de prova apresentam espessuras que variam de 0,25 mm a 1,3 mm. A distância entre apoios é 150 vezes maior que o valor da espessura para a faixa de espessura de 0,25 a 0,51 mm e 100 vezes para espessuras maiores que 0,51 mm. Quanto à largura e ao comprimento dos corpos de prova, estes devem ter larguras de 3,81 mm e comprimento de 250 vezes a espessura para valores de espessura entre 0,25 e 0,51 mm e 12,7 mm de largura e comprimento de 165 vezes a espessura para espessuras maiores que 0,51 mm (GARCIA, 2012, p. 172-173).

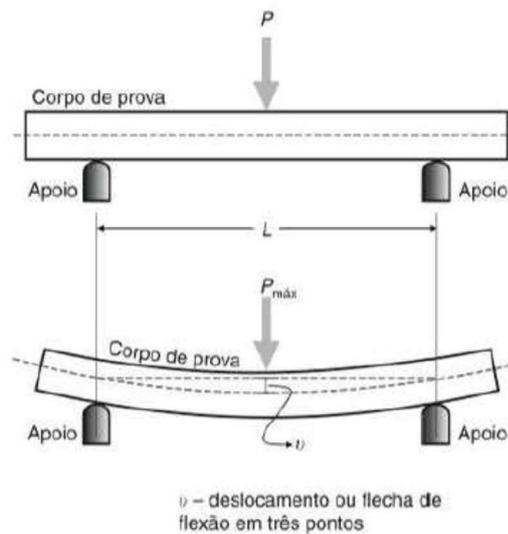


Figura 10- Ensaio de flexão pelo método de três pontos.

Fonte: Garcia (2012)

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho apresenta uma abordagem qualitativa com alcance exploratório, procurando proporcionar informações sobre o assunto para facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses (PRODANOV, 2013).

Para o desenvolvimento da perspectiva teórica foi realizada uma Revisão de literatura onde se procurou detectar, obter e consultar a bibliografia útil para os propósitos de estudo, do qual foram extraídas e sintetizadas as informações relevantes e necessárias. Para isso foram utilizados livros didáticos e as seguintes plataformas de buscas de artigos científicos, artigos, dissertações, teses, monografias, revistas entre outros: Portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Google acadêmico; Google livros e sites.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1 Confeção da órtese

Um protótipo de órtese tornozelo-pé ou suropodálica rígida foi desenvolvido por uma aluna do programa de Iniciação da Faculdade Estácio de Feira de Santana parceira deste estudo. A órtese foi produzida por meio da moldagem da forma original de um tubo/cano de PVC branco de 3 m e de 100 mm de diâmetro utilizando um soprador térmico, como a Figura 11 exemplifica, com variação de temperatura de 80 °C a 120 °C, transformando-o em uma placa.

Essa moldagem foi realizada respeitando as dimensões antropométricas de uma pessoa, através de molde negativo em gesso. A Figura 12 apresenta imagens da órtese suropodálica de membro inferior produzida com PVC.



Figura 11- Soprador Térmico

Fonte: Gamma Ferramentas



Figura 12- Órtese suropodálica de membro inferior produzido com PVC.

Fonte: Pesquisa (2018)

3.2.2 Ensaio de Tração e Flexão (por três pontos)

O protótipo pronto foi enviado ao Laboratório de Materiais e Meio Ambiente (LAMMA) da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), onde foram realizados os ensaios mecânicos de tração e flexão.

O ensaio de tração foi realizado seguindo a norma ASTM D 638 – 03¹¹ para quatro corpos de prova extraídos tanto da órtese de PVC quanto do tubo de PVC comercial. A confecção dos quatro corpos de prova no formato de gravata borboleta foi feita com auxílio de uma serra tico-tico. Os corpos de prova foram lixados e medidos com paquímetro para garantir as dimensões conforme norma técnica e suas dimensões foram de (110 x 12 x 3) mm como mostra a Figura 13. A velocidade

de aplicação da carga foi de 5 mm/min. Para isso, utilizou-se a máquina de ensaios estática servo-elétrica AG-X da shimadzu com capacidade máxima de 100 kN.

O ensaio de flexão em três pontos foi realizado seguindo a norma ASTM D 790 – 03¹² para cinco corpos de prova extraídos tanto da órtese de PVC quanto do tudo de PVC comercial. A confecção dos corpos de prova no formato retangular foi feita com auxílio de uma serra tico- tico. Os corpos de prova foram lixados e medidos com paquímetro para garantir as dimensões conforme norma técnica. As dimensões dos corpos de prova foram de (100 x 12 x 3) mm. A velocidade de aplicação da carga foi de 5 mm/min. Para isso, utilizou-se a máquina de ensaios estática servo-elétrica AG-X da shimadzu, com capacidade máxima de 100 kN.



Figura 13- Corpos de prova

Fonte: Pesquisa (2018)



Figura 14- Ensaio de Tração

Fonte: Pesquisa (2018)



Figura 15- Ensaio de Flexão

Fonte: Pesquisa (2018)

Para plotar os gráficos referentes aos dados obtidos dos ensaios foi utilizado o software Origin 9 distribuído pela empresa OriginLab Corporation uma editora de software de análise de dados e gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DO TESTE DE TRAÇÃO

A Figura 16 mostra as curvas do ensaio de tração para todos os corpos de prova desenvolvidos por meio da órtese de PVC e do tudo de PVC comercial. Percebe-se que as curvas da órtese de PVC apresentaram características semelhantes, sendo diferentes das curvas do PVC comercial.

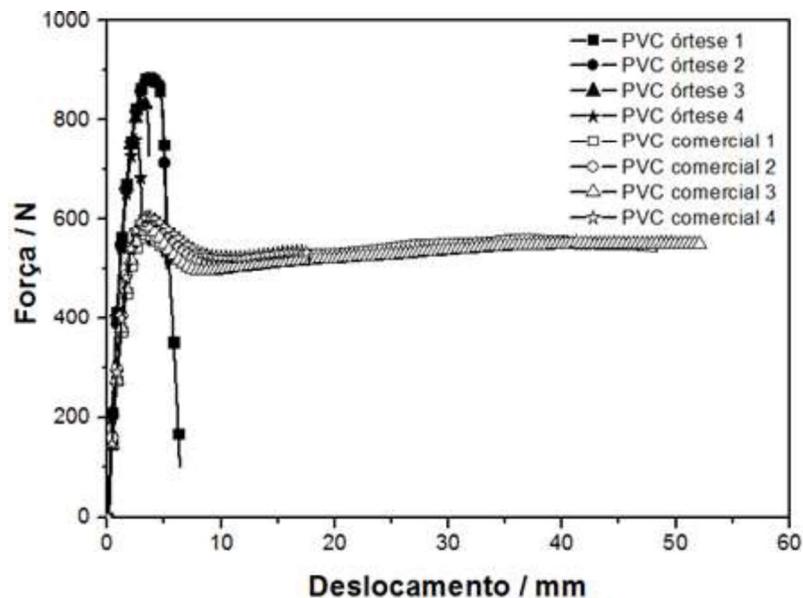


Figura 16- Curvas de ensaio de tração da órtese de PVC e do PVC comercial.

Fonte: Pesquisa (2018)

As curvas deixam claro que o limite de resistência à tração da órtese de PVC é superior ao do PVC comercial. Enquanto isso, a deformação plástica e tenacidade da órtese de PVC são inferiores ao do PVC comercial. Isso acontece devido ao processo de fabricação, onde a órtese de PVC é moldado numa temperatura abaixo da fusão do PVC (cerca de 180 °C), havendo um alinhamento das cadeias poliméricas, aumentando a resistência mecânica e perdendo a ductilidade. Essas propriedades adquiridas são esperadas para materiais termoplásticos, como o PVC.

A Tabela 1 mostra os resultados do ensaio de tração para todos os corpos de prova da órtese de PVC e do PVC comercial auxiliando na interpretação da Figura 16. Percebe-se uma grande variação dos valores de limite elástico da órtese de PVC e do PVC comercial e também do limite de ruptura do PVC da órtese, gerando alto desvio padrão e amplitude. Isso acontece porque é difícil definir precisamente o ponto do limite elástico para polímeros termoplásticos, assim como o processo de moldagem com assoprador térmico gera possíveis regiões com baixa uniformidade, gerando limites de rupturas diferentes. Mesmo assim, as médias dos valores mostram que o limite elástico da órtese de PVC é superior que do PVC comercial. Já os limites de resistência à tração da órtese de PVC e do PVC comercial, além do limite de ruptura do PVC comercial, obtiveram resultados com baixo desvio padrão e baixa amplitude. A média do limite de resistência à tração da órtese de PVC foi de (842, 21 ± 58, 99) N, enquanto do PVC comercial foi de (588, 65 ± 15, 47) N, representando um aumento de cerca de 43%.

Tabela 1- Resultados do ensaio de tração para todos os corpos de prova da órtese de PVC e do PVC comercial.

Corpos de Prova	PVC órtese			PVC comercial		
	Limite elástico (N)	Limite de resistência à tração (N)	Limite de ruptura (N)	Limite elástico (N)	Limite de resistência à tração (N)	Limite de ruptura (N)
Corpo de prova 1	761,63	887,81	102,14	318,51	569,71	544,05
Corpo de prova 2	453,45	885,26	501,79	251,37	594,55	543,21
Corpo de prova 3	549,54	833,80	743,90	472,27	584,22	546,95
Corpo de prova 4	334,23	761,97	585,75	507,75	606,11	531,32
Média	524,71	842,21	483,39	387,48	588,65	541,38
Desvio Padrão	180,84	58,99	273,27	122,39	15,47	6,89
Amplitude	427,40	125,84	641,76	256,38	36,40	15,62

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

4. 2 RESULTADOS TESTE DE FLEXÃO

A Figura 17 mostra as curvas do ensaio de flexão para todos os corpos de prova desenvolvidos por meio da órtese de PVC e do tudo de PVC comercial. Percebe-se que as curvas da órtese de PVC apresentaram características semelhantes, sendo diferentes das curvas do PVC comercial. As curvas deixam claro que o limite elástico a flexão e o limite de resistência a flexão da órtese de PVC são superiores à do PVC comercial. Esses resultados tem relação direta com os resultados do limite elástico e do limite de resistência a tração, onde da órtese de PVC também foram superiores que do PVC comercial. Isso significa que a órtese de PVC apresenta maior resistência ao dobramento, onde é necessária uma força maior para deslocar o material num ponto, considerando outros dois pontos fixos. Essas características também tem relação direta com o processo de fabricação da órtese, sendo esperada para termoplásticos.

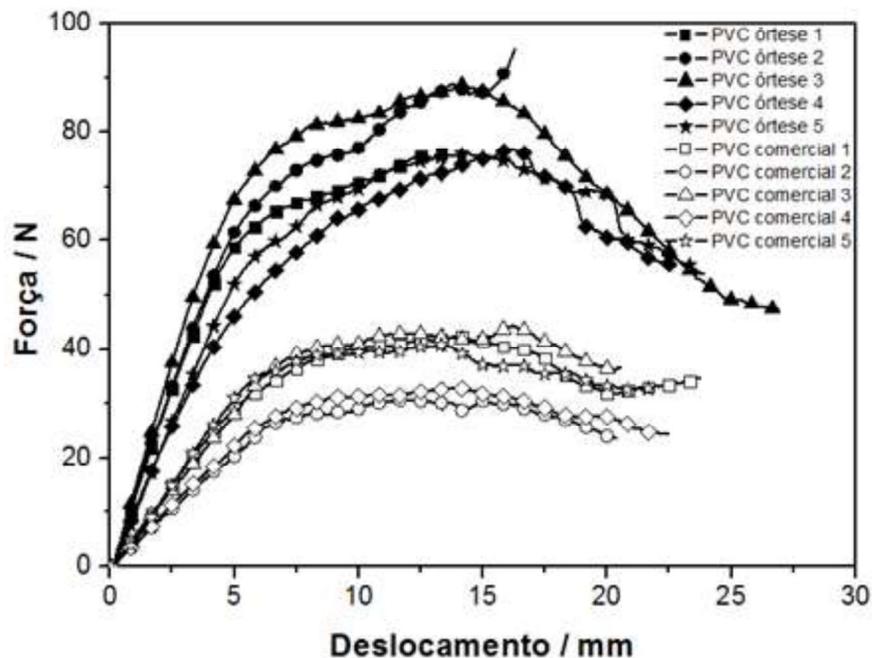


Figura 17- Curvas de ensaio de flexão.

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

A Tabela 2 mostra os resultados do ensaio de flexão para todos os corpos de prova da órtese de PVC e do PVC comercial, auxiliando na interpretação da Figura 17. Percebe-se que os valores de limite elástico a flexão e limite de resistência à flexão tanto da órtese de PVC quanto do PVC comercial não apresentaram variações consideráveis, apresentando desvio padrão e amplitude aceitáveis para esses materiais no ensaio de flexão. As variações ocorridas tem relação com o comportamento das deformações plástica no caso do PVC comercial e com a uniformidade após o processo de moldagem no caso da órtese de PVC. Além disso, o processo de corte dos corpos de prova pode gerar diferenças nas laterais dos mesmos. As médias dos valores mostram que tanto o limite elástico a flexão quanto o limite de resistência à flexão da órtese de PVC são superiores ao do PVC comercial. Esses resultados tem relação direta com os resultados do limite elástico e do limite de resistência à tração, onde da órtese de PVC também foram superiores que do PVC comercial. Isso significa que a órtese de PVC apresenta maior resistência ao dobramento, onde é necessária uma força maior para deslocar o material num ponto, considerando outros dois pontos fixos. Essas características também tem relação direta com o processo de fabricação da órtese, sendo esperada para termoplásticos.

Tabela 2- Resultados do ensaio de flexão para todos os corpos de prova da órtese de PVC e do tubo de PVC comercial.

	PVC órtese		PVC comercial	
	Limite elástico/ escoamento (N)	Limite de resistência à flexão (N)	Limite elástico/ escoamento (N)	Limite de resistência à flexão (N)
Corpo de prova 1	49,65	75,99	22,32	42,33
Corpo de prova 2	38,76	88,75	24,35	30,77
Corpo de prova 3	47,65	88,72	28,19	44,28
Corpo de prova 4	39,23	76,72	25,72	32,95
Corpo de prova 5	52,37	75,99	24,91	40,83
Média	45,53	81,24	25,10	38,23

Desvio Padrão	6,20	6,85	2,14	5,99
Amplitude	13,60	12,76	5,88	13,51

Fonte: Dados da Pesquisa (2018)

A média do limite elástico à flexão da órtese de PVC foi de (45; 53 ± 6; 20) N, enquanto do PVC comercial foi de (25; 10 ± 2; 14) N, representando um aumento de cerca de 81%. Já o limite de resistência à flexão da órtese de PVC foi de (81; 24 ± 6; 85) N, enquanto do PVC comercial foi de (38; 23 ± 5; 99) N, representando um aumento de certa de 112%.

Para a confecção de órteses de polipropileno utilizam-se placas do material de 3 mm a 6 mm (BRASIL, 2013). Em média os preços dessas placas variam de R\$ 428,00 a R\$ 1.317,59 segundo o site Mercado Livre. O preço de 3 metros de tubo PVC de 100 mm no mesmo site é encontrado a partir de R\$ 40,90 apresentando uma grande diferença de preços e conseqüentemente reflete no preço final das órteses. O PVC é um material acessível, barato, possui características semelhantes ao PP, sua conversão em órtese é simples e quando transformado em órtese apresenta características superiores à sua versão comercial confirmando a hipótese que ele pode ser sim um material alternativo na confecção desse tipo de órteses.

5 CONCLUSÃO

Órteses são dispositivos aplicados externamente ao segmento corpóreo, utilizadas para modificar as características estruturais ou funcionais dos sistemas esquelético e neuromuscular. Dentre os tipos de órteses de membro inferior estão as órteses surópodálicas, ou órteses de tornozelo- pé podendo ser fixas ou móveis. Essas órteses são geralmente indicadas a pacientes com paralisia cerebral para evitar a deformidade do pé em equino e são confeccionadas na maioria das vezes a partir do polipropileno.

Visando estudar a possibilidade da utilização do material Policloreto de Vinila (PVC) na fabricação desse tipo de órtese, foi produzido um protótipo de órtese suropodálica rígida. Utilizando medidas antropométricas de uma pessoa, esta órtese foi produzida por meio da moldagem de um tubo branco de PVC, segundo a Técnica de Rodrigues. Visando a caracterização mecânica, tanto a órtese quanto o tubo de PVC comercial foram ensaiados por tração e flexão.

O limite de resistência à tração da órtese de PVC foi 43% maior que do PVC comercial e o limite de resistência à flexão da órtese de PVC foi 112% maior que do PVC comercial. Porém, a plasticidade e tenacidade da órtese de PVC foram inferiores comparados ao PVC comercial. Portanto, o processo de fabricação utilizado alterou as propriedades do PVC comercial e a órtese de PVC apresentou maior limite elástico e maior resistência ao dobramento,

Testes de compressão, fadiga, degradação e reprodutibilidade de uma órtese suropodálica de PVC são exemplos de estudos que podem ser desenvolvidos posteriormente para uma compreensão mais abrangente do comportamento do PVC em órteses suropodálicas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. Mc Graw- Hill Global Education Holdings. **Química para um Futuro Sustentável**. [S.l.]: AMGH Editora Ltda, 2016.

ANDRADE, M. A. P. d.; CAMPOS, T. V. d. O.; LUSTOSA, L. P. **Unidade 2 Tecnologias assistivas: habilidade física e autonomia motora**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://ares.unasus.gov.br/acervo/handle/ARES/2103>>. Acesso em: julho de 2018.

ARAÚJO, M. V. d. **Desenvolvimento de uma órtese ativa para os membros inferiores com sistema eletrônico embarcado**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2010.

ASKELAND, D. R. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2013.

BHERING, V. P. C. C.; BARBOSA, L. G. P. **Análise experimental do polipropileno em ensaio de tração à diferentes taxas de deformação e temperaturas**. Rio de Janeiro, Niterói, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. **Confecção e Manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2015/fevereiro/12/ortese-protese-impressao.pdf>>. Acesso em: junho de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. **Técnico em órteses e próteses**. [S.l.], 2014. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/tecnico_orteses_protases_livro_texto.pdf>. Acesso em: junho de 2018.

BRASIL. Resolução do conselho Federal de fisioterapia e terapia Ocupacional-COFFITO. **Dispõe sobre o uso da Tecnologia Assistiva pelo terapeuta ocupacional e dá outras providências**. Resolução Nº 458 de 20 de novembro de 2015

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

DOWLING, N. **Comportamento Mecânico dos Materiais**. 4. ed. Elsevier Editora Ltda., 2017. ISBN 9788535287882. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=0mhaDwAAQBAJ>>. Acesso em: julho de 2018.

FONSECA, M. C. et al. **Órteses e próteses: Indicação e tratamento**. Rio de Janeiro: Águia Dourada, 2015. Citado na página 19.

GARCIA, A. **Ensaio dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GAMMA FERRAMENTAS. Soprador Térmico. Disponível em: <<https://gammaferramentas.com.br/produto/soprador-termico/>>. Acesso em: julho de 2018

HEBERT, S. K. et al. **Ortopedia e Traumatologia: Princípios e Prática**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017..

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **PVC: Arquitetura e Construção**. 20—. Disponível em: <<http://pvc.org.br/aplicacoes/arquitetura-e-construcao>>. Acesso em: julho de 2018.

JR, A. R.; NUNES, L. R. **Tecnologia do PVC**. Proeditores/Braskem, São Paulo, v. 2, p. 450, 2006.

KARIAN, H. **Handbook of polypropylene and polypropylene composites, revised and expanded**. [S.l.]: CRC press, 2003.

LEHMANN, F. J. **Orthotics for the wounded combatant**. BELANDRES, Praxedes V.

LINDEMAYER, C. K. **Estudo e avaliação de termoplásticos utilizados na confecção de órteses**. São José dos Campos: UniVap, 2004.

LOIOLA, F. D.; SILVA, E. R. da. **Otimização de órtese de membros inferiores para utilização no acometimento de pé caído**. Universidade de Rio Verde. Rio Verde. Goiás, 2017

MANO, E. B. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1999.

MONTENEGRO, R. S. P.; ZAPORSKI, J. **A situação atual e futura da indústria de polipropileno**. 1996.

ORÉFICE, R. L. **Bio materiais: Fundamentos e Aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2012.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico**. 2. ed. Rio Grande do Sul: Feevale, 2013.

RODRIGUES, J. L. J. **Órteses e adaptações em PVC tubular e materiais de baixo custo**. Belém, Pará, 2005.

ROOIJEN, V. V. **Confecções de Órteses em PVC é tema de evento na UNAMA**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.unama.br/noticias/confecoes-de-orteses-em-pvc-e-tema-de-evento-na-unama>>. Acesso em: julho de 2018.

ROQUE, A. H. et al. **Analysis of static balance in children with cerebral palsy spastic diparetic type with and without the use of orthoses.** *Fisioterapia em Movimento*, SciELO Brasil, v. 25, n. 2, p. 311–316, 2012.

SAMPIERI, R. H. **Metodologia de Pesquisa.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Ciência e caracterização dos materiais plásticos.** [S.l.], 2017. 312 p.

SILVA, D. O. et al. **Caracterização das órteses utilizadas por crianças com paralisia cerebral atendidas no centro de reabilitação física em cascavel-pr.** *Revista de Atenção à Saúde (antiga Rev. Bras. Ciên. Saúde)*, v. 13, n. 43, 2015.

SILVA, G. G. da et al. **Análise ergonômica do posto de trabalho de uma oficina de órteses e próteses para reabilitação de pessoas com deficiência.** *soas com deficiência. DAPesquisa*, v. 9, n. 12, p. 163–181, 2014.

SILVA, L. G. **Órteses em PVC para membro superior: utilização por terapeutas ocupacionais brasileiros, propriedades físico-mecânicas e de toxicidade e desempenhos funcional e mioelétrico.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

SVARTMAN, C. et al. **Pé equino na paralisia cerebral: análise do tratamento.** *Rev Bras Ortop*, v. 29, n. 1/2, p. 33–6, 1994.

VILLELA, F. IBGE: **6,2% da população têm algum tipo de deficiência.** [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-08/ibge-62-da-populacao-tem-algum-tipo-de-deficiencia>>. Acesso em: julho de 2018.

ZILIO, A. **Treinamento Físico: Terminologia.** 2. ed. Rio Grande do Sul: ULBRA, 2005.