



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Engenharia de Materiais



ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

**RECICLAGEM MECÂNICA DE BLISTER PÓS-INDUSTRIAL DE
EMBALAGENS DE MEDICAMENTOS**

Luísa Plentz de Oliveira
00281627

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ruth Marlene Campomanes Santana

Outubro de 2021

Luísa Plentz de Oliveira

**RECICLAGEM MECÂNICA DE BLISTER PÓS-INDUSTRIAL DE
EMBALAGENS DE MEDICAMENTOS**

Trabalho de Diplomação apresentado para o Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira de Materiais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ruth Marlene Campomanes Santana

Porto Alegre, outubro de 2021

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Blister no setor farmacêutico	12
3.1.1 Processamento de blister	13
3.2 Tipos de materiais comumente utilizados em blister	15
3.2.1 Cloreto de Polivinila (PVC)	15
3.2.2 Cloreto de Polivinilideno (PVDC)	16
3.2.3 Polietileno (PE)	18
3.2.4 Alumínio	20
3.3 Degradação de Polímeros	20
3.3.1 Degradação Térmica	21
3.3.2 Degradação Química	21
3.3.3 Degradação Oxidativa	22
3.3.4 Fotodegradação	22
3.4 Aditivos estabilizantes	22
3.5 Resíduos de blister e sua problemática	23
3.6 Reciclagem	25
3.6.1 Reciclagem Mecânica	25
3.7 Aplicações: telhas	26
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	28
4.1 Materiais	29
4.1.1 Blister de PVC e blister de PVC/PE/PVDC	29
4.1.2 Aditivos	30
4.2 Formulação e preparação dos corpos de prova	30
4.2.1 Moagem	30
4.2.2 Processamento das placas: conformação	30
4.2.3 Determinação dos parâmetros ótimos de processo	32

4.2.4	Obtenção dos corpos de prova.....	33
4.2.5	Envelhecimento natural.....	34
4.3	Caracterização	35
4.3.1	Testes físicos	35
4.3.2	Testes mecânicos	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5.1	Etapa 1 – Determinação dos parâmetros de processo	39
5.2	Etapa 2 e 3: Caracterização das amostras	42
5.2.1	Propriedades físicas	43
5.2.2	Propriedades mecânicas	47
6.	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS.....	53

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, ao meu pai e a minha mãe por nunca medirem esforços para me ajudar a realizar esse sonho. Agradeço por nunca terem me deixado desistir e por sempre acreditarem em mim e no meu potencial.

Agradeço ao Júnior, meu namorado, por ser minha força, meu amparo e estar ao meu lado em absolutamente todos os momentos, sempre me encorajando a ser uma pessoa e uma profissional melhor.

Agradeço à professora Ruth Marlene Campomanes Santana por todo apoio e aprendizado. Por sempre me desafiar a manter minha dedicação. Agradeço por ter apoiado meu projeto de TCC e por todos os ensinamentos não apenas no TCC e sim ao longo da graduação.

Agradeço à Ludmilla, bolsista IC do Lapol por todo apoio prestado na execução deste trabalho.

Agradeço à UFRGS, ao Lapol e ao Núcleo de Sustentabilidade pela oportunidade de realizar meu estudo.

Agradeço à Kley Hertz S.A por conceder o material que utilizei na realização desse trabalho.

RESUMO

O setor farmacêutico vem crescendo cada vez mais ao longo dos anos. E esse aumento vem acompanhado de um crescimento na produção de resíduos de blisters. Geralmente, os materiais dos blisters de medicamento e vitaminas são compostos por PVC e PVDC. Ambos os materiais possuem cloro em sua composição e há uma dificuldade de reciclagem dos mesmos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é reciclar mecanicamente os blisters de base PVC e PVDC, para que se possa analisar a viabilidade da reciclagem mecânica, o material é conformado no formato de placas para que posteriormente sejam obtidos corpos de prova e realizada então a caracterização das amostras. A primeira etapa do trabalho avaliou os parâmetros de processamento das amostras de blister reciclado como temperatura, pressão e tempo. Duas amostras de blisters foram utilizadas neste trabalho a primeira, composta por alumínio e PVC e a segunda por alumínio e um filme de tripla camada de PVC/PE/PVDC, que proporciona maior propriedade de barreira para o blister. A segunda etapa do trabalho visou caracterizar as amostras após a conformação das placas sem e com a incorporação de antioxidantes, antes e após o envelhecimento natural, durante aproximadamente dois meses (09/2021 até 10/2021). Os resultados desse trabalho mostraram que o PVDC é um material muito sensível a temperatura, por isso, a reciclagem das amostras em PVC foi mais efetiva que das amostras em PVDC. Além disso verificou-se dificuldade de processo no PVDC que influenciou a baixa resistência física e mecânica.

Palavras Chaves: PVC, PVDC, blister, reciclagem mecânica, envelhecimento natural, propriedades físicas, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The pharmaceutical sector has been growing more and more over the years. And this increase is accompanied by an increase in the production of blister waste. Generally, medication and vitamin blister materials are composed of PVC and PVDC. Both materials have chlorine in their composition and there is a difficulty in recycling them. In this sense, the objective of this work is to mechanically recycle the PVC and PVDC-based blisters, so that the feasibility of mechanical recycling can be analyzed. of the samples. The first stage of the work evaluated the processing parameters of recycled blister samples such as temperature, pressure and time. Two samples of blisters were used in this work, the first composed of aluminum and PVC and the second of aluminum and a triple layer PVC/PE/PVDC film, which provides greater barrier property for the blister. The second stage of the work aimed to characterize the samples after the conformation of the plates without and with the incorporation of antioxidants, before and after natural aging, for approximately two months (09/2021 to 10/2021). The results of this work showed that PVDC is a very temperature sensitive material, therefore, recycling of PVC samples was more effective than PVDC samples. In addition, it was found process difficulty in PVDC that influenced the low physical and mechanical strength.

Key Words: PVC, PVDC, blister, mechanical recycling, natural aging, physical properties, mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o aumento de resíduos gerados pelos seres humanos tem se tornado algo preocupante e isso vem sendo discutido e estudado cada vez mais. Segundo Demajorovic (1995), resíduos sólidos se diferenciam do que chamamos de lixo, pois enquanto o lixo não possui nenhum tipo de valor e deve ser apenas descartado, os resíduos possuem valor agregado e diversas formas de reaproveitamento. [1] Encontrar formas inovadoras de reaproveitamento dos resíduos tem se tornado algo essencial. Segundo dados do *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA*, em 2012, 31,9% dos resíduos gerados são recicláveis. [2] Mas muito desse material é depositado em aterros e não passa por triagem para reciclar. Gerando, assim, um passivo enorme de resíduos, e um grande problema para a manutenção dos aterros.

Segundo a Abiplast, a economia circular baseia-se em um conceito econômico que visa reverter a visão de lixo atribuída aos resíduos e estimula que, principalmente, as empresas vejam os resíduos como um produto de valor agregado que pode se manter no ciclo produtivo através da reutilização, reprocessamento ou reciclagem. [3]

Durante os últimos dois anos, os resíduos plásticos têm sido gerados em escala ainda maior, devido a pandemia que estamos enfrentando. Entre essa classe de resíduos plásticos, podemos destacar o blister de medicamentos e vitaminas. Segundo a CNN Brasil (2021), a venda de antidepressivos cresceu cerca de 17% entre 2020 e início de 2021 por conta da Pandemia do COVID19 em que a maioria da população está isolada [4] e de acordo com a Revista Quem Realiza, o consumo de medicamentos e vitaminas aumentou cerca de 98% durante a pandemia. [5] Todo esse aumento de consumo gera consequentemente um aumento de resíduos de blister.

As embalagens de blister são utilizadas pela indústria farmacêutica e são capazes de armazenar comprimidos e cápsulas individualmente e garantir a proteção necessária para a estabilidade do produto. [6] Este tipo de indústria faz parte do complexo industrial médico e pode ser considerada uma das atividades econômicas privadas mais importantes do mundo globalizado. [7] Um grande

problema da indústria farmacêutica é a grande geração de blister, resíduo plástico de difícil reciclagem.

Geralmente esse tipo de embalagem é composta por um material plástico como o policloreto de vinila (PVC) e/ou o cloreto de polivinilideno (PVDC) e em alguns casos com uma mistura de PVC, polietileno (PE) e PVDC ambos plastificados, moldados com cavidades para a inserção do comprimido ou cápsula e selado com material laminado de alumínio. O PVC é o mais versátil dos polímeros termoplásticos, pois o composto pode ser formulado mediante a incorporação de aditivos variando a sua aplicação desde rígido até materiais extremamente flexíveis. [8] Essa versatilidade torna o PVC um dos polímeros mais produzidos no mundo. Já o PVDC se diferencia do PVC por conter uma molécula a mais de cloro em sua composição, é um copolímero muito parecido com o PVC. Geralmente o PVDC é encontrado em forma de película fina, e serve como vedação do produto. Como o PVDC é um material mais caro, é utilizado com materiais mais baratos como o polietileno (PE) e o próprio PVC. [9] O PVDC por conter uma molécula a mais de cloro em sua composição, possui barreira de proteção superior ao PVC, por isso é muitas vezes preferível utiliza-lo para garantir a estabilidade de comprimidos e cápsulas em blister. [9] Os materiais plásticos como o PVC e o PVDC presentes no blister além de hidrogênio e carbono, possuem cloro em sua composição, o que é um grande problema pois substâncias halogenadas ao serem incineradas, geram hidrocarbonetos e HCl, e estes podem reagir gerando compostos tóxicos como as dioxinas, que podem ser cancerígenas. [9] Um outro problema, é a presença de um outro material (alumínio) não polimérico na embalagem e a dificuldade de retirada desse material incorporado ao blister.

Existem produtos reciclados de embalagens multicamada, como a embalagem acartonada Longa Vida, composta de papelão, polietileno e alumínio, onde após a remoção do papelão, o filme laminado de PE/Al leva a análise de uso de ambos os materiais em produtos finais, tais como placas prensadas por exemplo. Materiais recicláveis estão sendo largamente utilizados na construção civil. Existem no mercado telhas, fabricadas de material polimérico, geralmente transparente, utilizado para passagem de luz.[10]

Nesse sentido, busca-se avaliar a viabilidade da reutilização de blister pós-consumo proveniente de embalagens de medicamento e vitaminas julgado como “lixo”, através da reciclagem mecânica, visando aplicação na construção civil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade técnica da reciclagem mecânica de blister pós-consumo proveniente de embalagens de medicamento e vitaminas.

2.2 Objetivos Específicos

- I. Determinar os parâmetros de processamento adequados para obtenção das placas moldadas.
- II. Analisar as propriedades físicas e mecânicas das placas produzidas utilizando PVC reciclado a partir de blister.
- III. Analisar as propriedades físicas e mecânicas das placas produzidas utilizando PVDC/PE/PVC reciclado a partir de blister.
- IV. Avaliar a estabilidade das propriedades mecânicas dos materiais após envelhecimento natural.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Blister no setor farmacêutico

Até o século XIX, os medicamentos eram armazenados em vidros, aglomerados em algodão. Em 1963, a *InterpackHassia* lançou o primeiro blister para a pílula anticoncepcional da Schering. [11] A razão de maior importância para a introdução do blister no mercado farmacêutico era oferecer ao paciente uma maneira fácil de identificar uma dose unitária de medicamento e além disso, os medicamentos não utilizados podiam ficar armazenados de forma protegida contra adversas externas. Além disso, a indústria farmacêutica foi reconhecendo outros fatores importantes com a utilização de blister, como redução de custo, redução de quebra de frascos de vidro e facilidade de identificação de violação. [12]

Todas essas vantagens explicam o motivo pelo qual somente na Europa, 85% dos medicamentos sólidos são acondicionados em blister. Nos Estados Unidos, a utilização do blister como forma de embalagem farmacêutica manteve um crescimento constante desde o seu início. No Brasil, o blister ocupa o maior segmento, seguido por frascos de plástico soprados e ampolas. [13]

Uma das formas farmacêuticas mais comuns para medicamentos são as cápsulas e comprimidos e a maioria deles são embaladas em blisters. A palavra blister tem origem do inglês e significa bolha, sendo formada por uma cartela base (papel, alumínio ou plástico), onde as cápsulas e comprimidos são colocados nos alvéolos e seladas por um filme de alumínio. [13]

Blister é uma forma de embalagem primária, ou seja, toda embalagem que entra em contato com o medicamento e é destinado a cobrir, embalar, proteger e garantir a estabilidade do produto em questão durante o tempo de validade indicado. Seu formato geralmente é em forma de bandeja, com cavidades nas quais o medicamento é acomodado. Esse tipo de embalagem possui grandes vantagens como transparência, facilidade de abrir as cavidades para o acesso ao medicamento, possibilidade de imprimir com facilidade informações importantes como lote, data de validade e ainda uma grande vantagem é o pequeno tamanho desse tipo de embalagem, assim facilitando o transporte do medicamento. [7]

Geralmente são compostos apenas por PVC ou uma mistura de materiais como PVC, PVDC e PE, a fim de ampliar a barreira ao oxigênio e ao vapor de água, e uma lâmina de alumínio selada ao filme plástico. O material plástico pode possuir diferente gramatura e espessura. Esses parâmetros possuem influência significativa na propriedade da barreira de luz, quanto maior a barreira, menos luz atravessa através do material e garante uma maior estabilidade para o medicamento. Existem ainda, blisters que são compostos apenas por alumínio, utilizados para alta proteção em medicamentos muito instáveis. [7]



Figura 1: Blister de medicamento. [7]

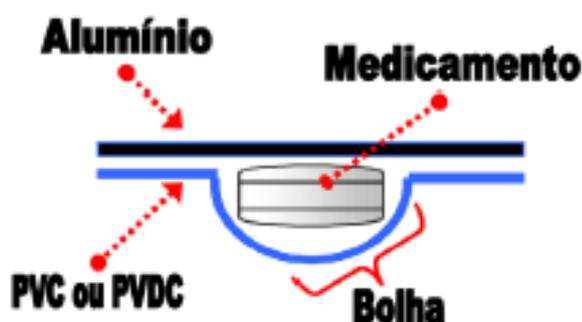


Figura 2: Partes do Blister. [13]

3.1.1 Processamento de blister

O setor farmacêutico é um dos mais competitivos e inovadores do mercado. O atendimento ao regulamento de Boas Práticas de Fabricação é um requisito imprescindível para sobrevivência da indústria farmacêutica. [14] O

processo de blistagem é um dos mais críticos da produção farmacêutica, pois a perda ocorrida durante essa fase possui difícil reciclagem, visto que temos uma mistura de diferentes materiais, tanto plástico como metálico. [15]

Vários fatores podem interferir de forma a causar uma não conformidade durante o processo de blistagem, gerando resíduos, entre eles a regulagem de velocidade e temperatura do processo de moldagem e selagem do blister, o curso da puxada e a experiência do operador, contribuindo assim para o rendimento do processo. [16]

O processo de blistagem ocorre em equipamentos chamados blistadeiras onde o filme plástico é termoformado, os comprimidos e cápsulas são acondicionados nos chamados alvéolos ou bolhas dos blisters e então uma camada de alumínio é selada para o fechamento do blister. Esse processo ocorre em uma esteira de forma contínua. Dependendo do tamanho do medicamento a ser acondicionado, existem ferramentais que formam a bolha de tamanho adequado para que acondicione o produto de forma satisfatória. [16]



Figura 3: Equipamento de processamento: Blistadeira. [16]

3.2 Tipos de materiais comumente utilizados em blister

3.2.1 Cloreto de Polivinila (PVC)

O PVC é o único material plástico, dentre os mais comuns, que não é completamente derivado do petróleo e tem por principal matéria-prima um recurso natural, o sal marinho. O cloro da estrutura possui origem do sal comum, cloreto de sódio (NaCl) e o etileno possui origem do petróleo. O PVC é obtido através da reação entre o NaCl e o etileno. [17]

O PVC é um dos materiais mais utilizados por sua versatilidade e sua adequação aos processos de fabricação. O PVC pode ter suas características modificadas dentro de um amplo espectro de propriedades em função da aplicação final, devido a necessidade de a resina ser formulada mediante a ação de aditivos, variando do extremamente flexível ao rígido. [8] O PVC é o material mais utilizado em embalagem de blister, chegando a 80% dos casos, entretanto, dentre todos os materiais é o que apresenta menor barreira de proteção. [18]

O PVC é composto aproximadamente em massa por 56,8% de cloro, 38,4% de carbono e 4,8% de hidrogênio. Simplificando, o PVC se difere do polietileno no quarto hidrogênio que é substituído pelo átomo de cloro [17]. A figura 4 representa a estrutura molecular do PVC.

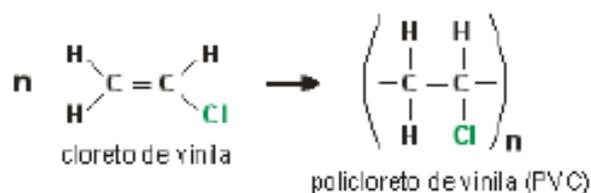


Figura 4: Estrutura molecular do PVC. [17]

O PVC é considerado um polímero amorfo ou de baixa cristalinidade, atribuída a ocorrência irregular do volumoso átomo de cloro. [19] As principais características do PVC são resistência a chamas, bom isolante elétrico, resistência ao choque, resistência química a maioria dos solventes e versatilidade de processamento. [8] É um material transparente, de baixo custo,

com alta termomoldabilidade, baixa permeabilidade à óleos, gorduras e substâncias aromáticas e baixo índice de permeabilidade a umidade do ar. [20]

A espessura do filme de PVC geralmente utilizada pelas indústrias farmacêuticas é de 0,2mm a 0,8mm. A espessura possui grande influência na propriedade de barreira à luz, pois quanto maior a espessura, menor a porcentagem de transmissão de luz que atravessa o material [21].

Quanto à aplicação, o PVC transparente, que é o tipo de material mais simples, possui barreira limitada, e somente será utilizado sozinho em fármacos mais estáveis em presença de umidade ou luz. Ele pode ser combinado com outros tipos de materiais, como o PVDC por exemplo, e assim promovendo o aumento de barreira necessário para medicamentos mais instáveis [22]. A figura a seguir representa um filme plástico de uma só camada de PVC.



Figura 5: Representação de filme plástico de PVC monocamada. (*Perlen Packaging*).

3.2.2 Cloreto de Polivinilideno (PVDC)

O PVDC é um polímero sintético produzido pela polimerização do cloreto de vinilideno. É usado principalmente para filmes plásticos flexíveis em embalagens de alimentos e medicamentos. O cloreto de polivinilideno é aplicado como revestimento em outros filmes plásticos, como o polipropileno biorientado (BOPP) ou o PVC, caso dos blisters. Este revestimento proporciona aumento de barreira protetora para os filmes plásticos, reduzindo a permeabilidade dos filmes ao oxigênio e umidade por exemplo. [23]

O PVDC é um termoplástico cuja estrutura está representada na figura 6. O cloreto de vinilideno é um monômero com um átomo a mais de cloro em sua composição que o cloreto de vinila. [24]

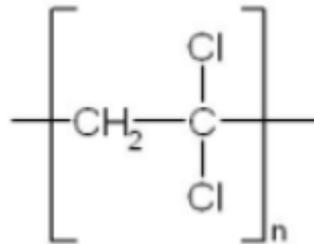


Figura 6: Estrutura molecular do PVDC. [24]

O PVDC é utilizado em embalagens com laminação ou revestimento sobre o PVC, reduzindo de 5 a 10 vezes a permeabilidade ao oxigênio e a umidade. [14] Geralmente o filme é incolor e transparente, mas pode ser pigmentado para proteger produtos sensíveis à luz. Não é recomendado o uso apenas do PVDC devido a suas propriedades mecânicas e seu custo relativamente alto. [15] Sua característica mais relevante é a baixa permeabilidade ao vapor de água e gases, o que o torna ideal para embalagens de alimentos e medicamentos. [23]

O filme de PVDC possui alta resistência mecânica, resistência a óleos e gorduras, estabilidade dimensional, boas propriedades ópticas, de encolhimento e de termoformação. [25] A figura 7 representa um filme plástico que possui três camadas, PVC, PE e PVDC, além da camada de alumínio utilizada para selagem do blister.

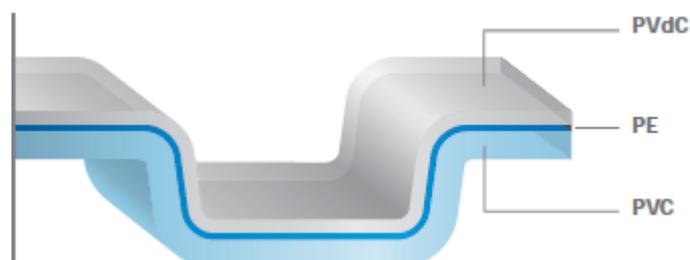


Figura 7: Representação de filme plástico que possui camada protetora em PVDC. (*Perlen Packaging*).

3.2.3 Polietileno (PE)

É um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina. [26] Tratando-se de polímeros semicristalinos, a fase cristalina favorece o desempenho frente a solicitações mecânicas, enquanto as regiões amorfas contribuem para a elasticidade e flexibilidade do mesmo.

De acordo com o grau de ramificação, e, portanto, densidade do material, os polietilenos podem ser classificados em ao menos três grandes grupos principais, sendo eles: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno linear de baixa densidade (PELBD). [27] No caso dos blisters, o polietileno utilizado é o polietileno de baixa densidade. De acordo com o fornecedor de blister *Liveo Research*, o polietileno não atua na barreira contra o vapor de água ou oxigênio, mas sim, ele contribui para o aumento de espessura do filme plástico utilizado em blister e assim melhora a performance em máquina do material.

O polietileno de baixa densidade caracteriza-se por uma mistura de longas cadeias principais de tamanhos variados e com ramificações primárias e secundárias de comprimentos diversos. Essas ramificações muitas vezes são tão longas quanto à cadeia principal do polímero. Sua densidade varia de 0,912 a 0,925 g/cm³, grau de cristalinidade entre 50% a 60% e temperatura de fusão entre 102 a 112°C. [28] A presença dessas ramificações em maior quantidade proporciona um aumento na resistência ao impacto e uma boa processabilidade. Além disso, quando comparado a outros polímeros, a permeabilidade à água é baixa. O PEBD é comumente aplicado como filmes para diversos tipos de embalagens como blisters farmacêuticos. [27]

O PELBD se diferencia do PEBD por possuir um maior controle de massa molecular média e uma distribuição de massa molecular mais estreita, por isso alcança maior grau de cristalinidade e densidade. [27] Já o PEAD possui uma cadeia quase que totalmente linear, ou sem ramificações, o que proporciona maior densidade para o polímero, o que torna o material mais cristalino conseqüentemente. [27]

O polietileno é um polímero termoplástico formado em sua cadeia de um par de carbonos ligados de forma covalente com átomos de hidrogênio, em sua forma mais simples. [26] A estrutura molecular do polietileno está representada na figura 8.

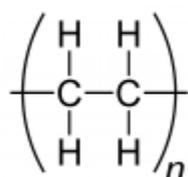


Figura 8: Estrutura molecular do polietileno [27].

As principais características do PEBD são tenacidade, flexibilidade e baixa absorção de água. Possui baixo custo e é facilmente processado. Geralmente, materiais produzidos com esse polímero são translúcidos. [29] A representação da cadeia ramificada do PEBD está representada na figura 9.

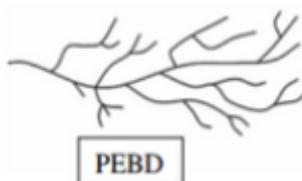


Figura 9: Representação da cadeia ramificada do PEBD. [29]

O PE é produzido em altas pressões e temperaturas por diversos catalisadores, dependendo das propriedades finais que se deseja obter. Em condições normais eles não são tóxicos, assim eles podem ser utilizados em fármacos. [26] Os polietilenos são resistentes à água, alta barreira à vapor (aumentando com o grau de cristalinidade). Esses materiais não apresentam boa barreira à gases, o que os tornam aplicáveis na forma de filmes juntamente com outros materiais que possuem maior poder de barreira. [27]

No presente trabalho foram utilizadas para reciclagem amostras de blister em PVC monocamada e amostras de blister em multicamadas PVC/PE/PVDC.

3.2.4 Alumínio

O alumínio é o mais abundante elemento metálico da Terra, sendo o mais moderno dos metais comuns. O seu desconhecimento ao longo do tempo, deve-se ao fato de que, ao contrário de outros elementos metálicos (cobre ou ferro), ele não se encontra naturalmente em sua forma metálica, existindo sempre em combinação com outros elementos, principalmente oxigênio, com o qual forma um óxido chamado alumina. [30,31]

A bauxita é a rocha que dá origem ao minério de alumínio, ela passa por um processo de moagem e é misturada a uma solução de soda cáustica. Observa-se então que a alumina é o resultado do processamento da bauxita e posteriormente a alumina é transformada em alumínio metálico pelo processo de redução. [30]

Para obtenção do laminado de alumínio utilizado em embalagens é utilizado o processo de laminação, ou seja, transformação mecânica que reduz a seção transversal por compressão do metal, através da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido. [32]

Algumas das principais propriedades do alumínio são alta condutibilidade elétrica, resistência a corrosão, não produzir reação tóxica, facilidade de trabalho em qualquer forma. Na aplicação em blister, o alumínio é recozido e deve ser isento de óleo para não prejudicar a adesão do termoselante e, conseqüentemente, a selagem. [32]

Além disso, o laminado de alumínio possui propriedades extremamente importantes para a utilização em blister, como por exemplo: leveza, barreira a luz, barreira ao vapor de água e gases sendo impermeável, higiene a folha de alumínio atóxica, além de flexibilidade e moldabilidade. [30, 32]

3.3 Degradação de Polímeros

Os processos degradativos podem ser definidos como uma série de reações químicas envolvendo a ruptura das ligações da cadeia principal da macromolécula polimérica. A causa da degradação pode ser tanto de fenômenos físicos, como de origem térmica, mecânica, fotoquímica ou radiações de alta

energia, quanto oriundos de fenômenos químicos, como oxidação, hidrólise, ozonólise, acidólise, entre outros. [33]

A degradação de polímeros inclui todas as mudanças na estrutura química ou nas propriedades físicas resultantes de tensões mecânicas externas. Geralmente a degradação deteriora as propriedades mecânicas dos materiais poliméricos. Dependendo da estrutura, um polímero é vulnerável a efeitos do ambiente, como calor, oxigênio e a radiação. [34]

A degradação de um polímero é o processo no qual ocorre a cisão da cadeia polimérica e também a quebra da estrutura no retículo cristalino. Certas características dos polímeros podem influenciar o processo de degradação. Além da estrutura química dos polímeros, há outros fatores que também influenciam a velocidade de degradação. [35]

3.3.1 Degradação Térmica

A degradação térmica é aquela ocasionada a partir do aumento de temperatura, ou seja, do calor. A exposição do polímero PVC ou PVDC sem a adição de estabilizantes ao calor pode causar liberação de cloreto de hidrogênio (HCl), acompanhado da formação de ligações cruzadas na cadeia, resultando em um rápido processo de degradação, revelado geralmente pela mudança de coloração para amarelo, ou até marrom escuro. [36]

3.3.2 Degradação Química

A degradação química consiste no processo de degradação de um polímero quando uma espécie química reage com o material polimérico, formando radicais livres e, eventualmente, causando cisão na cadeia polimérica. Essas reações químicas presentes nesse processo resultam em quebras das ligações e redução da massa molecular do polímero. [37]

3.3.3 Degradação Oxidativa

A oxidação consiste no processo de introdução de átomos de oxigênio na estrutura do material. Em geral, é um processo que ocorre principalmente nos polímeros que contêm cadeias carbônicas. [33]

3.3.4 Fotodegradação

Esse tipo de degradação se refere a degradação do polímero quando exposto à luz solar. A radiação UV caracteriza-se por comprimentos de onda na faixa de 100 a 400 nm, correspondendo em torno de 5% da radiação solar. [38] Esta radiação é, em geral, o componente do espectro eletromagnético que inicia as reações nos grupos fotossensíveis, podendo resultar em quebras de cadeias e degradação do polímero. Este processo de degradação tem permitido o desenvolvimento e a utilização de aditivos. [37]

3.4 Aditivos estabilizantes

É impraticável a remoção do oxigênio do ambiente e para evitar degradações na presença dessa substância, aditivos denominados estabilizantes antioxidantes são inseridos aos polímeros a fim de inibir as reações oxidativas. Existem dois principais de antioxidantes: primário e secundário. Existem dois tipos de antioxidantes comerciais que são utilizados majoritariamente, sendo eles, o primário Irganox® 1010, e o secundário singular Irgafos® 168, ambos foram utilizados nesse trabalho e são antioxidantes fenólicos impedidores. [33]

Os antioxidantes denominados primários atuam no início do processo de degradação, reagindo com os radicais livres e os transformando em reagentes menos ativos e, dessa forma, evitando sua propagação. Geralmente fenóis e aminas são utilizados como antioxidantes primários e eles apresentam átomos de H mais reativos com os radicais livres do que os hidrogênios presentes na cadeia polimérica. Na reação, ocorre a formação de hidroperóxidos, a partir da

doação do hidrogênio do grupo funcional. São aplicados tanto para prolongar a vida útil do polímero, quanto para a etapa de processamento. [39]

Uma vez que os antioxidantes primários formam elementos instáveis e podem reiniciar reações de degradação, a incorporação de antioxidantes secundários é importante para evitar a continuidade do processo. Os antioxidantes secundários são responsáveis por decompor os hidroperóxidos e transformam eles em produtos estáveis termicamente conforme eles vão se formando no material. [33]

Normalmente os dois tipos de oxidantes são utilizados em conjunto e apresentam um efeito sinérgico de atuação. Os antioxidantes primários são responsáveis por neutralizar os radicais livres e transformá-los em hidroperóxidos sem que a remoção do H da cadeia do polímero ocorra, considerando que os antioxidantes secundários devem decompor os hidroperóxidos formados transformando-os em álcoois estáveis e impedindo a continuidade do processo de degradação. [40]

3.5 Resíduos de blister e sua problemática

Resíduo sólido é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como sendo resíduos no estado sólido ou semissólido resultantes das atividades da comunidade de origem, sendo essa industrial, doméstica, serviços de saúde e de limpeza urbana.

Uma problemática que se apresenta, é a geração e o tempo de vida de aterros. Já que a disposição dos resíduos gera uma necessidade cada vez maior de espaços para receber esses volumes. Os aterros são divididos em controlados, nos quais o resíduo é disposto sobre o solo, havendo poluição localizada no solo, e sanitários, nos quais há a impermeabilização do solo e cobertura, não ocorrendo poluição e riscos à saúde pública. [41]

Nem todo o resíduo é disposto nos aterros, os lixões ou vazadouros são caracterizados pela disposição irregular de lixo sobre o solo sem proteções ou controle. Esse tipo de local acarreta em graves problemas a saúde pública, como

a proliferação de vetores de doenças, geração de odores desagradáveis e poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas. [41]

Os três principais métodos utilizados, normalmente, para diminuir o volume de resíduos sólidos aterrados em solo são: redução na fonte, reutilização, reciclagem de diferentes formas, incluindo a energética. Essas alternativas auxiliam o não esgotamento da capacidade dos aterros sanitários, contribuindo na preservação dos recursos naturais, como a energia elétrica, os insumos primários, etc. [42]

A Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis (ABIEF) divulgou um estudo sobre o segmento de embalagens plásticas flexíveis no Brasil, que mostrou que o volume de embalagens desse tipo produzido entre 2019 e 2020 teve um aumento de 5,4%. A pesquisa também apontou que o consumo de embalagens flexíveis aumento em 7,2%. [43]

Com essa perspectiva, o volume de resíduos que são depositados nos aterros e lixões é muito grande, já que, a vida útil das embalagens é muito curta e seu uso na apresentação e acondicionamento de produtos é muito alto. [44]

A grande problemática das embalagens multicamadas, como os blisters, é que elas são produzidas com diferentes materiais, em vista de agregar as diferentes funcionalidades destes para a conservação dos medicamentos. A presença de diferentes materiais na composição deste tipo de embalagem dificulta sua reciclagem, devido à necessidade de separação destes materiais. [44] Conforme representação na figura 10.



Figura 10: Representação de blister com multicamadas. (Perlen Packaging)

Além disso, outra problemática em relação a reciclagem de blister é a utilização de filmes plásticos que possuem cloro em sua composição, como o PVC e o PVDC. Esses tipos de filmes plásticos quando queimados de forma incompleta, podem levar a formação de dioxinas. O PVC, por ser mais utilizado que o PVDC, é responsável por uma proporção considerável do cloro presente em resíduos sólidos, o que vem a ser um problema devido a possível formação de dioxinas durante a incineração. [45]

As dioxinas são contaminantes persistentes que podem ser encontrados na água, no solo contaminado e no ar. As dioxinas são formadas principalmente através de processos industriais, como a incineração, e como as dioxinas são cumulativas, elas podem se tornar prejudiciais à saúde. [46]

3.6 Reciclagem

A reciclagem dos materiais poliméricos é essencial não só pela questão ambiental, mas também pela importância econômica que representa. [47] No Brasil, não existe uma legislação específica quanto ao descarte de medicamentos e a embalagem desse medicamento. [48]

As embalagens que possuem multicamadas possuem reciclagem difícil e onerosa, pois o material proveniente apresenta baixo valor de mercado, devido a presença de diferentes tipos de materiais fortemente aderidos entre si. [49] A mistura de diferentes polímeros incompatíveis entre si em um único produto, apesar de possibilitar o alcance de boas propriedades a um baixo custo dificulta em grande grau a reciclagem dos mesmos após seu uso. [50] Além disso, a presença de materiais estranhos, como o alumínio, utilizados em processos de laminação em embalagens multicamadas, constituem-se igualmente em contaminantes. [51]

3.6.1 Reciclagem Mecânica

Consiste na conversão de resíduos de pós-consumo em novos produtos que podem ser reutilizados na produção de materiais para a construção civil por exemplo, no caso dos blisters que são compostos de PVC e PVDC. É a forma

mais utilizada no mundo, devido à simplicidade do processo, sendo extremamente dependente do incentivo ao programa de coleta seletiva e lixo urbano. [52, 53, 54]

3.6.2 Reciclagem Energética

Consiste no reaproveitamento da energia gerada pela incineração do material, que dentro dos padrões adequados, não causam danos ao meio ambiente. Os blisters possuem uma problemática nesse tipo de reciclagem que é a produção de dioxinas, como já citado no trabalho anteriormente. [52, 53, 55]

3.6.3 Reciclagem Química

Existem variantes desse processo, sendo que atualmente a que se encontra em estágio mais avançado de desenvolvimento é a pirólise. Está consiste na quebra molecular por aquecimento, transformando o plástico em óleo e gases, sendo esses novamente utilizados como matéria-prima na indústria petroquímica. Por ser um processo de reciclagem que envolve altas temperaturas, também não é o mais recomendado para polímeros como o PVC e o PVDC. [52, 53, 54]

3.7 Aplicações: telhas

A argila foi o primeiro material utilizado na fabricação de telhas, nos tempos antigos. Atualmente, diversos materiais vêm sendo utilizados para esse fim, além da cerâmica vermelha. Telhas de cimento são amplamente utilizadas, sendo fabricadas de cimento, de metais e de polímeros. [56]

As telhas fabricadas de material polimérico são muito populares, pois agregam boa resistência mecânica e baixo custo. Os materiais utilizados são policloreto de vinila (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP) e policarbonato (PC). A fabricação de telhas e placas com o produto final da trituração possui

baixo custo e apresenta oportunidades interessantes dentro do mercado da construção civil.

Assim, uma alternativa interessante para a reciclagem, é sua utilização da mistura de plástico e alumínio como insumo na fabricação de produtos, nos quais a mistura seja incorporada como um compósito simples, sendo a matriz o polímero, sendo o PVC, o PE e o PVDC e a carga o alumínio. Esse processo gera novos produtos e receitas, e auxilia na diminuição dos resíduos dispostos nos aterros. [57]

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento deste estudo, ele foi dividido em 3 etapas: Preparação do material para análise, análise das amostras em condição inicial e análise das amostras submetidas a ação do envelhecimento natural. Além disso, foram analisadas amostras que tiveram incorporação de aditivos antioxidantes e amostras que não foram aditivadas. A figura 11 mostra um esquema das etapas e as análises realizadas em cada uma delas.

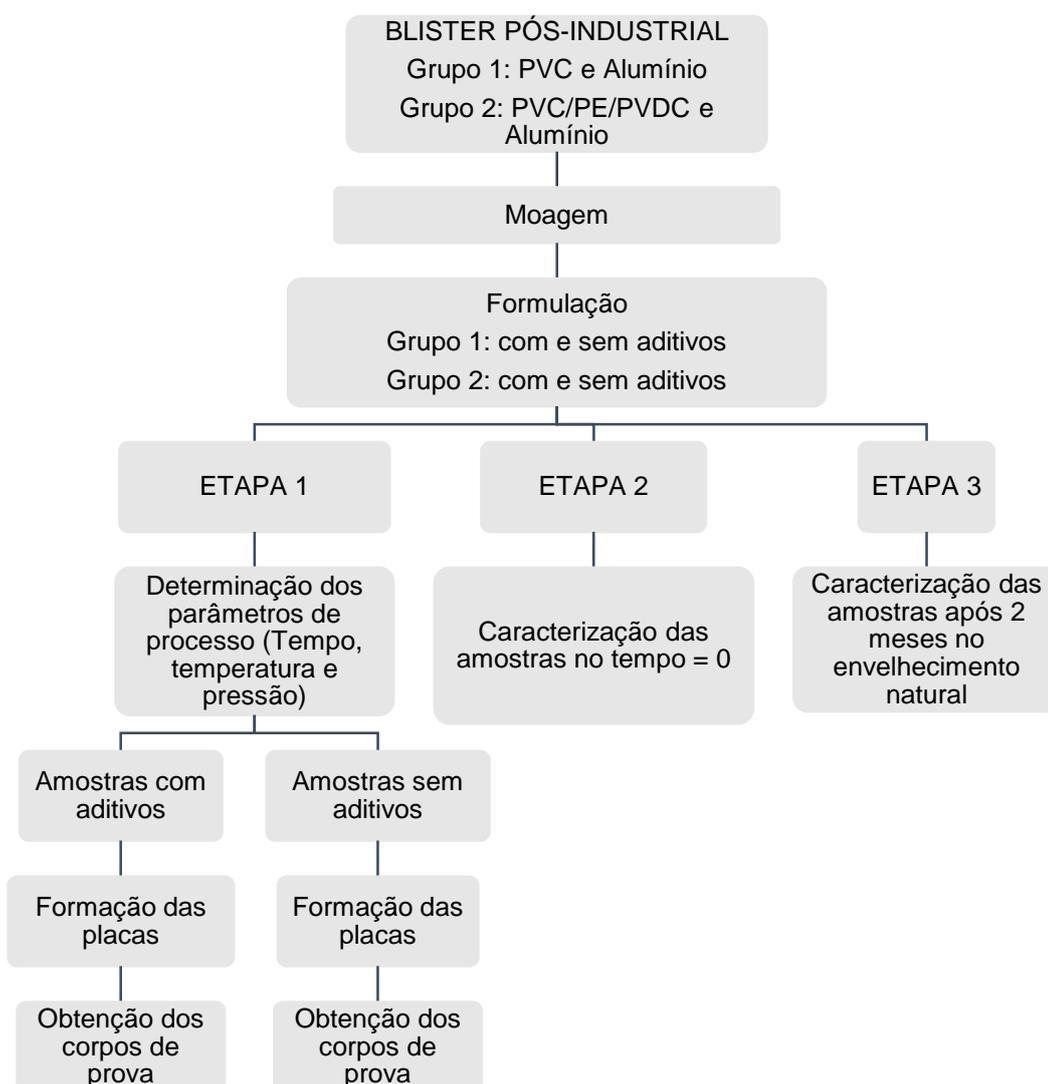


Figura 11: Fluxograma da metodologia utilizada.

A etapa 1 visou a preparação dos blisters e se iniciou pela separação dos diferentes materiais utilizados, PVC com alumínio e PVC/PE/PVDC com alumínio. Definiu-se então os parâmetros que seriam utilizados na prensagem das placas através de testes. Após realizou-se a moagem e então incorporou-se aditivos antioxidantes nas amostras de ambos os tipos de materiais. As placas então foram cortadas e transformadas em corpos de prova. Amostras foram submetidas a análises de propriedades mecânicas e propriedades físicas, o que se chamou então de etapa 2. Na etapa 3, corpos de prova foram submetidos ao envelhecimento natural durante 2 meses e após realizou-se as mesmas análises que na etapa 2.

4.1 Materiais

4.1.1 Blister de PVC e blister de PVC/PE/PVDC

Todo o material em blister utilizado foi fornecido pela empresa Kley Hertz Farmacêutica S.A., localizada no município de Porto Alegre, RS. O material plástico utilizado para a fabricação do blister de PVC é unicamente composto por PVC e o blister de PVDC possui uma camada plástica em PE e uma camada plástica em PVC, além da camada de PVDC. Além disso, todos os blisters possuem uma camada de alumínio para a selagem. O material coletado na empresa foi oriundo do processo de preparo do equipamento de blistagem, para ajuste e parâmetros e é considerado resíduo pela empresa. A figura 12 mostra o blister coletado na empresa. Na direita temos blisters em PVC e Alumínio e na esquerda temos blister em PVC/PE/PVDC e alumínio.



Figura 12: Blister pós-industrial.

4.1.2 Aditivos

Os aditivos utilizados no estudo foram Irganox® 1010 como agente oxidante primário e Irgafos® 168 como agente antioxidante secundário, todos fornecidos pela BASF.

4.2 Formulação e preparação dos corpos de prova

4.2.1 Moagem

O material em blister já separado em PVC e PVC/PE/PVDC foi cominuído no Triturador Forrageiro Picador CID125LD (figura 13).



Figura 13: Triturador Forrageiro Picador CID125LD utilizado para moer o blister após processamento.

4.2.2 Processamento das placas: conformação

A conformação é o processo mecânico no qual se obtém placas planas, através do aquecimento e da compressão do material polimérico em um molde, utilizando a deformação plástica do material para preencher a cavidade do molde. Então, após a moagem do material, preparou-se as placas através de conformação térmica na prensa térmica Hidraumak modelo PKC-160-01 (figura 14). Para as placas de PVC/Alumínio utilizou-se como parâmetros de processo

180°C de temperatura, 10 minutos de tempo de contato, 5 minutos de tempo de compressão e 6 toneladas de pressão. Já para as placas de PVC/PE/PVDC/Alumínio utilizou-se 170°C de temperatura, 8 minutos de tempo de contato, 3 minutos de tempo de compressão e 6 toneladas de pressão. Os materiais triturados foram colocados nos moldes de acordo com a tabela 1.



Figura 14: Prensa térmica Hidraumak utilizada para conformação das placas.

Tabela 1: Formulações amostras

Formulação	Aditivo Antioxidante 1º	Aditivo Antioxidante 2º
	(%)	(%)
PVC + alumínio	0	0
PVC/PE/PVDC + alumínio	0	0
PVC + alumínio	0,2	0,4
PVC/PE/PVDC + alumínio	0,2	0,4

Na figura 15 pode ser visualizado as placas moldadas por compressão térmica de acordo com as composições das amostras mostradas na tabela 1.

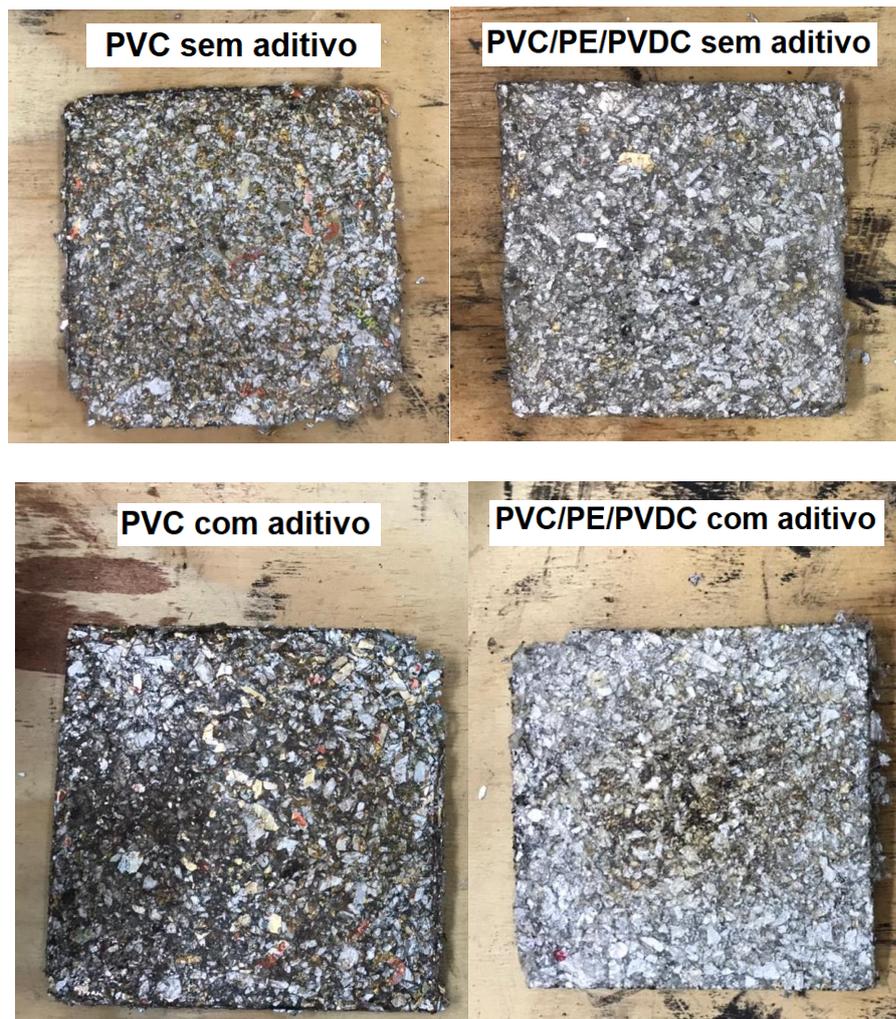


Figura 15: Placas após processo de compressão, prontas para obtenção dos corpos de prova.

4.2.3 Determinação dos parâmetros ótimos de processo

Os testes para determinação dos parâmetros ótimos do processo de compressão térmica são mostrados na tabela 2:

Tabela 2: Determinação dos parâmetros de processo de compressão térmica.

Número do teste	Material	Temperatura (°C)	t de contato (min)	t de compressão (min)	Pressão (ton)
1	PVC	160	5	5	4
2	PVC	160	10	10	4
3	PVC/PE/PVDC	230	10	15	9
4	PVC/PE/PVDC	210	5	5	3
5	PVC	180	10	5	6
6	PVC/PE/PVDC	180	10	5	6
7	PVC/PE/PVDC	170	8	3	6

4.2.4 Obtenção dos corpos de prova

Após a conformação, as dimensões das placas foram de 15 cm x 15 cm e foram cortadas através da Serra Wesco, modelo WS3772 formando corpos de prova retangulares nas dimensões de 7,5 cm x 1,5cm. A figura 16 apresenta a etapa de corte das placas para obtenção dos corpos de prova.



Figura 16: Obtenção dos corpos de prova através da utilização da Serra Wesco.

Na figura 17 é mostrado a imagem dos corpos de prova prontos para serem testados.

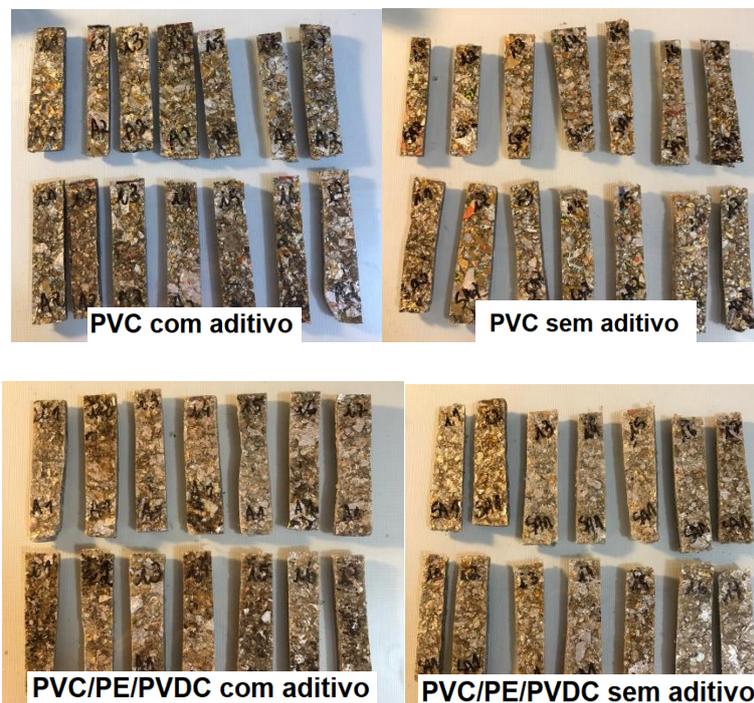


Figura 17: Corpos de prova.

Após a obtenção dos corpos de prova, os mesmos foram colocados em estufa com temperatura constante de 60°C durante o período de 24 horas para que as amostras ficassem totalmente secas e então submetidas a análises das propriedades físicas e mecânicas.

4.2.5 Envelhecimento natural

O mesmo número de amostras que foram destinadas diretamente aos testes físicos e mecânicos após a obtenção dos corpos de prova, foi destinado ao envelhecimento natural. No envelhecimento natural as amostras foram amarradas através de fios de nylon em uma rede, e foram colocadas no IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, onde as amostras foram deixadas por aproximadamente dois meses e sofreram com fatores climáticos como chuva, sol, vento, calor e após os dois meses (de 02/09/2021 até 29/10/2021), as amostras foram recolhidas e destinadas a testes físicos e mecânicos para comparação com as amostras que não foram expostas ao envelhecimento

natural. Na figura 18 temos uma fotografia das amostras amarradas e já no lugar onde ficaram durante aproximadamente dois meses.



Figura 18: Amostras de corpos de prova no envelhecimento natural.

4.3 Caracterização

4.3.1 Testes físicos

4.3.1.1 Densidade

As densidades das amostras de PVC e PVC/PE/PVDC foram medidas pelo princípio de Arquimedes de acordo com a norma abpe/M001 – *Plastics – Determination of density by displacement*. As análises foram feitas em triplicata e utilizou-se uma balança analítica, um béquer com água e uma cesta metálica alçada em um suporte metálico, conforme figura 19. Mediu-se o peso seco de cada corpo de prova e também da cesta metálica seca junto ao suporte. Após, foi colocado água destilada no béquer e imergiu-se a cesta metálica. Em seguida, cada um dos corpos de prova foi inserido dentro da cesta, e assim, mediu-se o peso de cada corpo de prova.



Figura 19: Sistema para teste físico de densidade das amostras

4.3.1.2 Ângulo de contato

A análise do ângulo de contato foi realizada no LAPOL e baseou-se na análise instrumental de goniometria, que nada mais é do que a observação de uma gota séssil de líquido teste em contato com a amostra sólida. Foi utilizada como base a ASTM D7334 e como líquido teste água deionizada. As imagens foram obtidas através de um microscópio óptico digital, a figura 20 apresenta o ensaio sendo realizado, e o cálculo do ângulo de contato (θ) foi realizado automaticamente pelo software SurfTens de análise de imagens baseado na equação 1, onde D é o diâmetro e h a altura da gota.

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{2h}{D} \quad (1)$$



Figura 20: Sistema para o ensaio de ângulo de contato sendo realizado.

4.1.2.3 Absorção de água

O teste de absorção de água das amostras foi realizado na empresa Kley Hertz S.A., a temperatura ambiente com água deionizada e utilizando uma balança analítica. As amostras eram levemente secas com um papel e pesadas, sendo depois novamente imersas em água. O procedimento se repetiu durante 9 dias, e ocorreu sempre no mesmo horário do dia.

O cálculo do teor de água absorvido (wt%) foi realizado segundo a equação 2, utilizando-se a relação entre a massa da amostra seca (m_s) e a massa da amostra imersa em água (m_i) para os diferentes tempos de controle:

$$wt(\%) = \left(\frac{m_i - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

4.3.2 Testes mecânicos

4.3.2.1 Impacto Izod

O ensaio tem por objetivo se obter a resistência ao impacto dos corpos de prova, ou seja, avaliar o comportamento das mesmas quanto a transição dúctil para frágil quando sob um impacto localizado. A resistência ao impacto (em kJ/m^2) com entalhe foi medida através do equipamento *Ceast* modelo *Resil*

Impactor II e martelo de 2,75J (figura 23). O ensaio foi realizado a 25°C, de acordo com a norma ASTM D256-05a. Utilizou-se 5 corpos de prova por amostra para assim determinar a média aritmética e o desvio padrão desses valores.



Figura 23: Equipamento utilizado para o ensaio de resistência ao impacto.

4.3.2.2 Dureza

As durezas Shore D das amostras foram determinadas através de um Durômetro *BAREISS HP-D - Shore D – ANALOGUE* (figura 24), sendo feitas dez medidas em cada amostra.



Figura 24: Durômetro - *Shore D*

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Etapa 1 – Determinação dos parâmetros de processo

A determinação dos parâmetros ótimos de processo foi atingida conforme os testes descritos no item 4.2.2.1 (pressão, tempo e temperatura). Algumas tentativas foram realizadas até se alcançar os parâmetros adequados de conformação. Na figura 25, são mostradas as fotografias das placas moldadas dos testes realizados onde observa-se diferentes acabamentos e até mudança de cor. As amostras dos testes 5 e 7 foram as que determinaram os parâmetros de processo utilizados para a conformação das placas de PVC e PVC/PE/PVDC consecutivamente.

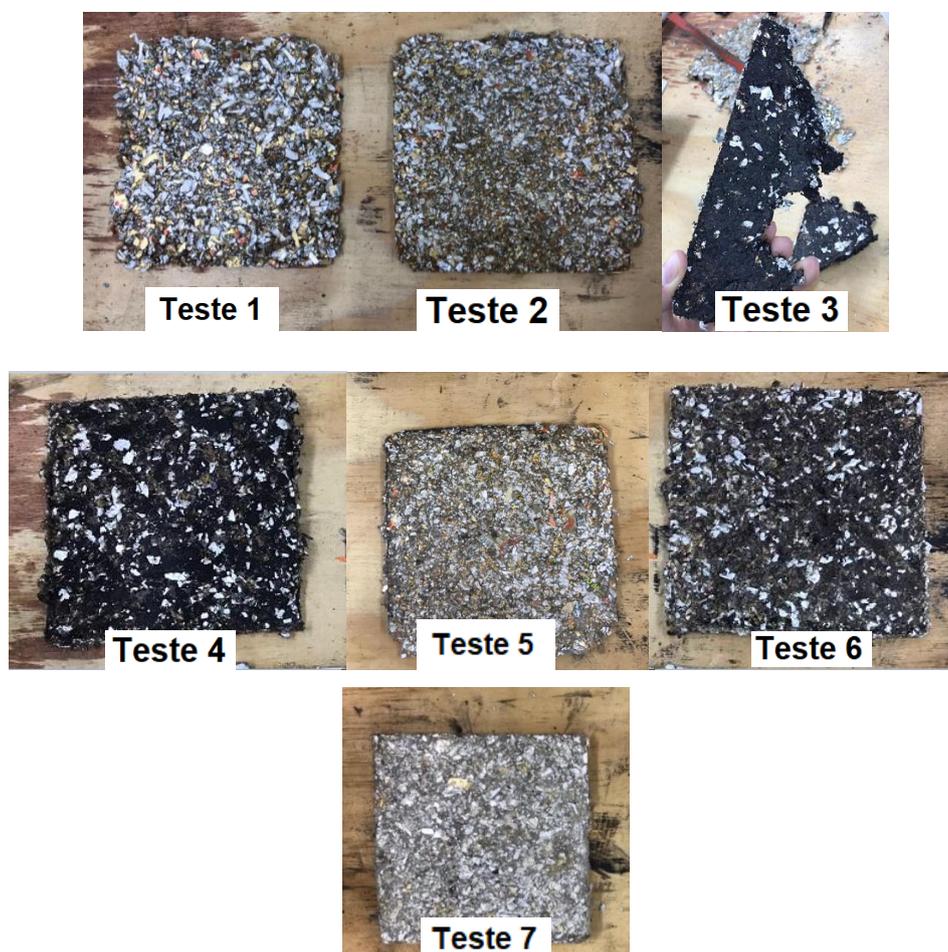


Figura 16: Placas moldadas nos diversos testes para determinação dos parâmetros de compressão.

Em todas as placas havia alumínio que estava presente no blister. Iniciou-se os testes com temperaturas inferiores a fusão do material, pois o material utilizado em blister possui plastificantes e esses fazem com que o material sofra fusão em temperatura inferior à sua temperatura de fusão, além disso, tanto o PVC quanto o PVDC liberam HCl e hidrocarbonetos quando aquecidos a temperaturas muito elevadas, o que é um problema, como já citado anteriormente.

No teste 1, onde utilizou-se PVC a 160°C, 5 minutos de tempo de contato, 5 minutos de tempo de compressão e 4 toneladas de pressão, observou-se que o material não fundiu totalmente, então as placas apresentaram muitos espaços vazios e a conformação não ocorreu de maneira satisfatória. No teste 2 decidiu-se então aumentar o tempo de contato para 10 minutos e o tempo de compressão para 10 minutos, porém, como no teste 1, o material não fundiu totalmente e a placa apresentou muitos espaços vazios, não apresentando compressão satisfatória. Decidiu-se então testar o material em PVC/PE/PVDC a 230°C, 10 minutos de contato e 15 minutos de compressão, com uma pressão de 9 toneladas. A placa do teste 3 queimou, o material degradou e os parâmetros utilizados não foram considerados adequados. Então decidiu-se, mantendo o material PVC/PE/PVDC diminuir a temperatura para 210°C e o tempo de contato e compressão para 5 minutos, porém, novamente o material degradou, não apresentando conformação satisfatória.

Então, decidiu-se testar novamente o material PVC a 180°C, utilizando-se 10 minutos de tempo de contato, 5 minutos de tempo de compressão e 6 toneladas de pressão e então as placas apresentaram resultado satisfatório. O material fundiu e a placa se mostrou bastante resistente e sem espaços vazios. Novamente se testou o PVC/PE/PVDC a 180°C, durante 10 minutos de contato e 5 minutos de compressão, com 6 toneladas de pressão e o material novamente sofreu combustão. Então, por fim, diminuiu-se a temperatura para 170°C, durante 8 minutos de contato e 3 minutos de compressão, a pressão de 6 toneladas e obteve-se uma placa com resultado visual satisfatório de fundição e conformação, por isso, utilizou-se os parâmetros em questão para as demais placas de PVC/PE/PVDC. Na tabela 3 podemos observar de forma resumida as observações feitas após a realização de cada teste.

Tabela 3: Determinação dos parâmetros de processo de compressão térmica.

Número do teste	Material	Temperatura (°C)	t de contato (min)	t de compressão (min)	Pressão (ton)	Observações
1	PVC	160	5	5	4	Não fundiu
2	PVC	160	10	10	4	Não fundiu
3	PVC/PE/PVDC	230	10	15	9	Queimou
4	PVC/PE/PVDC	210	5	5	3	Queimou
5	PVC	180	10	5	6	Fundiu
6	PVC/PE/PVDC	180	10	5	6	Queimou
7	PVC/PE/PVDC	170	8	3	6	Fundiu

Após a formação dos corpos de prova, as amostras foram expostas ao envelhecimento natural, conforme metodologia explicada no item 4.2.4. O teste se iniciou no dia 02/09/2021 e finalizou no dia 29/10/2021 (fim do inverno e início da primavera), totalizando aproximadamente dois meses de teste. O restante das amostras foi submetido aos testes de caracterização, o que foi considerado o ponto zero (0) dos resultados dos experimentos. Após envelhecimento natural, as amostras do ponto (2) também foram submetidas aos mesmos testes de caracterização.

Durante o período de exposição avaliou-se os parâmetros ambientais, como índice UV, temperaturas médias diárias e precipitação, utilizando-se dados obtidos através do CPTED – INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A tabela 4 mostra um resumo das condições climáticas avaliadas durante os meses de exposição das amostras ao envelhecimento natural.

Tabela 4: Dados das variáveis climatológicas analisadas durante os meses de setembro e outubro/2021

Variável analisada	Setembro	Outubro
Temperatura média (°C)	15,6	17,1
Temperatura máxima (°C)	35	30
Temperatura mínima (°C)	16	18
Precipitação acumulada (mm)	121	150
Índice UV médio	6,5	7,0

Verificou-se que os dois meses em que as amostras foram expostas ao envelhecimento natural foram bastante chuvosos, atingindo precipitações médias altas e também que chegaram a temperaturas consideradas elevadas. Os índices UV são considerados altos, conforme tabela 5, retirada do Extreme UV. Valores altos de UV, juntamente com temperaturas e precipitação elevadas contribuem para a degradação das amostras.

Tabela 5: Classificação do Índice Ultravioleta (IUV)

Categoria	Índice Ultravioleta
Baixo	< 2
Moderado	3 a 5
Alto	6 a 7
Muito alto	8 a 10
Extremo	> 11

5.2 Etapa 2 e 3: Caracterização das amostras

Em todos os testes, o tempo (0) se trata das amostras antes do envelhecimento natural e as amostras de tempo (2) se referem as que foram submetidas ao envelhecimento natural durante aproximadamente dois meses.

Após a retirada das amostras do envelhecimento natural, elas foram colocadas em estufa para garantir que as análises fossem realizadas com as amostras totalmente secas.

5.2.1 Propriedades físicas

5.2.1.1 Densidade

As densidades médias das amostras selecionadas da primeira etapa sem e com antioxidantes, antes e após envelhecimento natural estão ilustradas na figura 17.

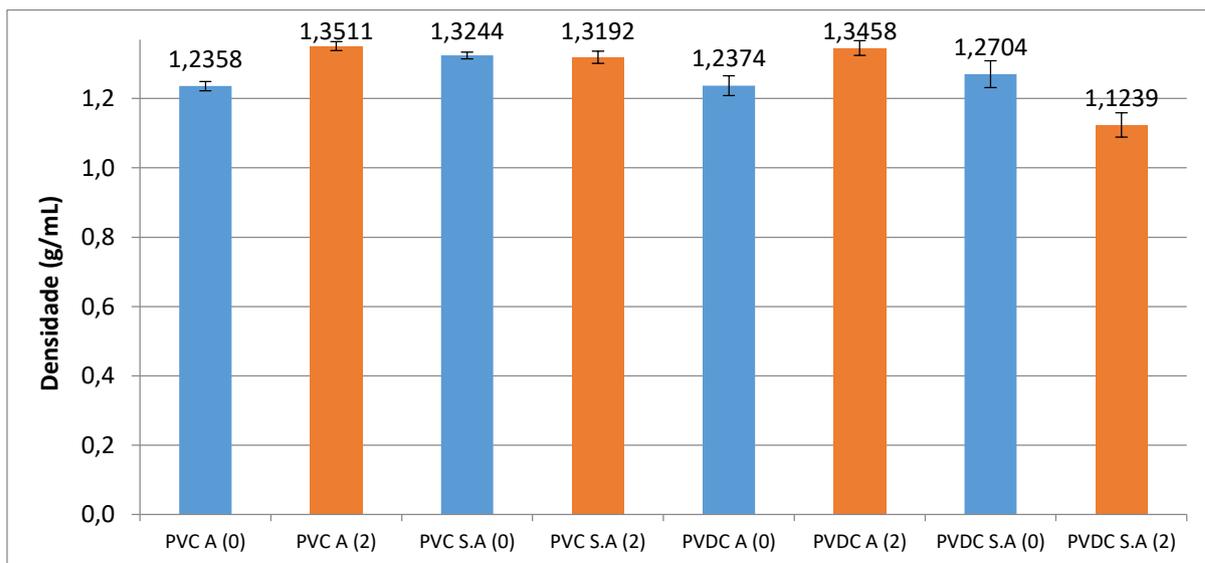


Figura 17: Densidade das amostras selecionadas sem e com antioxidantes, antes e após envelhecimento natural

Todas as amostras possuem alumínio em sua composição e este material possui uma maior densidade em relação aos materiais plásticos em questão. A densidade teórica do alumínio é de $2,7 \text{ g/cm}^3$. [58] As amostras de PVC possuíam, além do alumínio, apenas PVC em sua composição, enquanto as amostras de PVDC possuíam, além do PVDC, PE e também o PVC, o que provoca a diminuição da densidade das placas. A densidade teórica do PVC é em torno de $1,45 \text{ g/cm}^3$ [59], do PVDC em torno de $1,70 \text{ g/cm}^3$ [60] e do PE em torno de $0,92 \text{ g/cm}^3$. [58]

Além disso, outro ponto que podemos destacar em relação ao resultado encontrado, é que as placas em PVDC possuíam maior teor de vazios que as placas em PVC, o que pode ter contribuído para a menor densidade das placas

em PVDC. Podemos observar que a densidade foi fortemente afetada pelos parâmetros de processo, o PVDC é o material muito sensível e se encontrou muita dificuldade para fundir. Na amostra de PVDC sem aditivos, podemos perceber uma diminuição da densidade e isso pode ser causado devido ao grande espaço vazio que os corpos de prova possuíam, assim por ser muito poroso, devido as condições climáticas, vistas na tabela 4, o material pode ter sofrido um “inchamento” e com o calor os poros podem ter se dilatado, conseqüentemente os poros, aumentado e assim a densidade diminuiu. Nas demais amostras não se pode perceber uma diferença significativa da densidade antes e depois do envelhecimento.

Os aditivos adicionados nas amostras não contribuíram para o aumento da densidade pois, adicionou-se uma quantidade pequena de aditivo e essa quantidade não é significativa quando se trata de aumento de densidade.

5.2.1.2 Ângulo de contato

A análise do ângulo de contato difere da análise de absorção de água, pois se trata de um estudo da molhabilidade da superfície do material através da medida do primeiro ângulo após 3 segundos de contato com a superfície do material e sendo a segunda medida do ângulo após 3 minutos de contato com a superfície do material. A figura 18 apresenta os seus resultados obtidos.

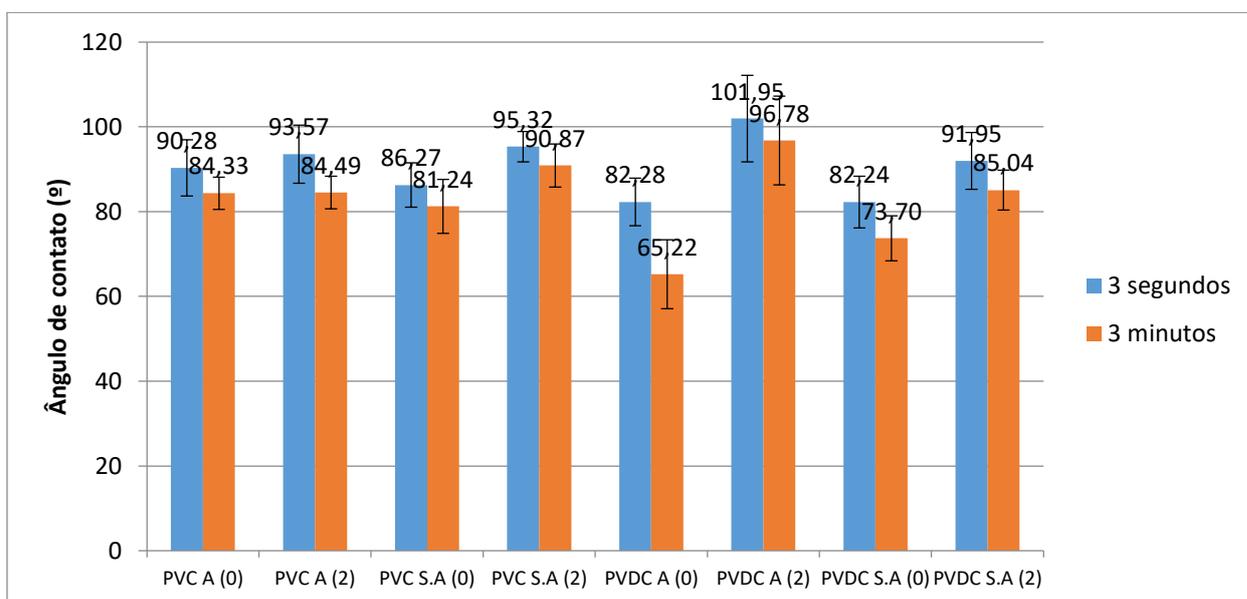


Figura 18: Ângulo de contato para as amostras sem e com aditivo antes e após envelhecimento natural

Os resultados obtidos da análise de ângulo de contato condizem com o esperado, uma vez que os ângulos registrados no período de 3 minutos foram inferiores aos registrados em 3 segundos. Os primeiros ângulos são indicativos da soma das componentes polares das macromoléculas e referem-se aos grupos funcionais contidos na cadeia polimérica dos constituintes. Os ângulos posteriores referem-se a componente dispersa. Estes são diretamente afetados conforme a rugosidade da superfície e a capacidade de espalhamento da gota nessas irregularidades.

O PVC possui polaridade devido a molécula de cloro que possui em sua estrutura e o mesmo acontece com o PVDC, que possui duas moléculas de cloro em sua estrutura, o que teoricamente o proporciona maior polaridade, ou seja, o PVDC teoricamente é menos hidrofóbico que o PVC e possui menos afinidade com a água, proporcionando a ele um maior ângulo de contato. [61] Porém, a amostra que possui PVDC, possui além de PVC, PE em sua estrutura, e o PE é apolar e possui característica hidrofóbica, o que proporciona a amostra de PVDC uma menor afinidade com a água e um maior ângulo de contato. Analisando a figura 18, pode-se perceber que o resultado esperado não é observado. Inicialmente, o ângulo de contato da amostra que contém apenas PVC é maior que o ângulo de contato da amostra que contém PVC, PVDC e PE. O grande motivo dessa contradição é a maior quantidade de espaços vazios nas amostras em PVDC, o que proporciona uma maior rugosidade da superfície e conseqüentemente um menor ângulo de contato da mesma, a água é absorvida mais facilmente pela amostra. Outro ponto muito importante a se destacar é que, nas amostras de PVDC houve uma maior diminuição do ângulo de contato, ou seja, as amostras possuem maior espaço vazio para que a água possa ser absorvida, diminuindo assim o ângulo de contato encontrado. Pode-se notar que o PVDC aditivado que foi colocado durante dois meses em envelhecimento natural possui um ângulo de contato mais elevado que as demais amostras, isso pode ter acontecido devido ao material polietileno ter se encontrado na superfície

do material e como esse polímero é mais hidrofóbico que os demais, isso explica o ângulo de contato encontrado.

As placas que foram aditivadas possuem ângulo de contato menor que as amostras que não foram aditivadas, resultado esperado visto que os aditivos protegem as amostras da degradação.

5.2.1.3 Absorção de água

A absorção de água nas amostras foi analisada, pois é interessante conhecer esse comportamento do material, caso sua aplicação esteja vinculada a exposição em ambiente externo, suscetível a chuvas. Para a análise em questão, os corpos-de-prova foram imersos em água nos tempos de 0h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h e 216h, sendo os resultados obtidos demonstrados na figura 19.

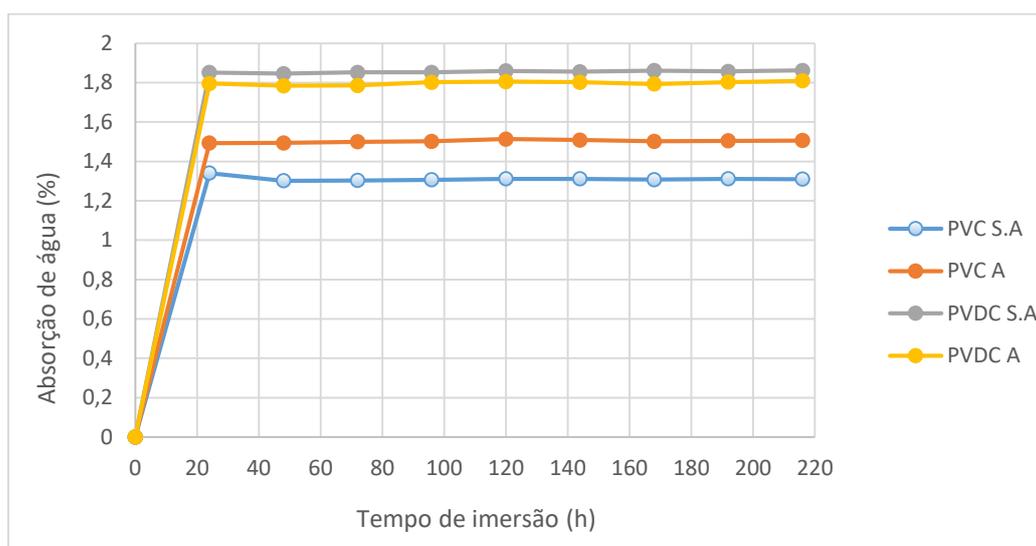


Figura 19: Teor de água absorvido pelas amostras em função do tempo de imersão de cada uma das amostras selecionadas sem e com antioxidantes.

Os resultados demonstraram que dentre as amostras, as que possuem PVDC, PVC e PE possuem maior absorção de água que as amostras de PVC. Provavelmente tal resultado se deu pela fusão da placa que possuía PVDC não ter sido tão efetiva quanto a placa em PVC e o material triturado não ter

apresentado adesão plena entre si e formar espaços vazios na placa. Os espaços vazios das placas proporcionam uma maior absorção de água para as placas, já que os corpos de prova são cortados a partir delas. Os resultados de absorção de água são condizentes com os resultados de ângulo de contato, visto que quanto maior o ângulo de contato menor a absorção de água da amostra.

5.2.2 Propriedades mecânicas

5.2.2.1 Resistência ao impacto

O comportamento mecânico dos materiais envolvidos foi avaliado através da resistência ao impacto localizado. Os ensaios foram realizados com 5 corpos-de-prova para cada composição, conforme figura 20 e os resultados obtidos estão demonstrados na figura 21.

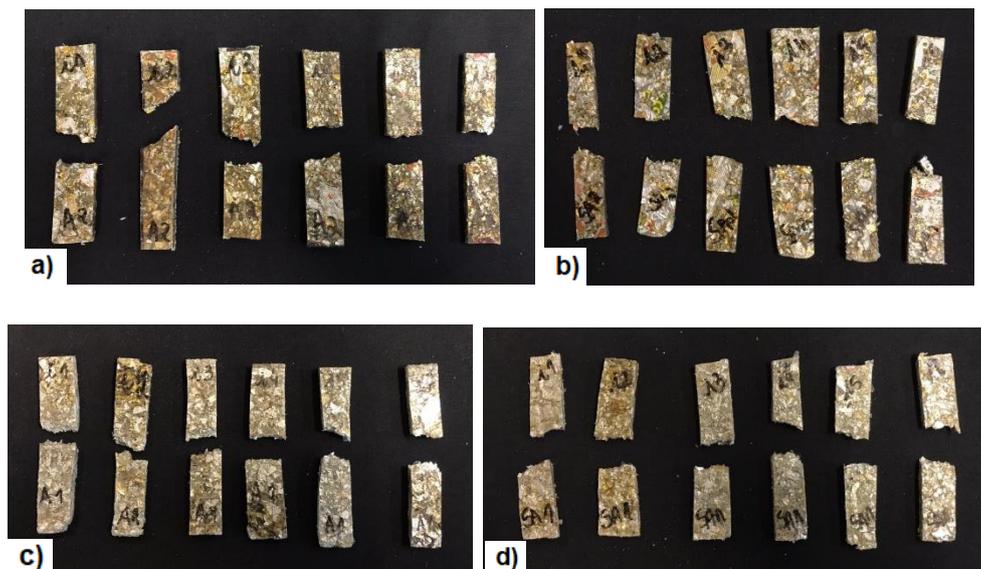


Figura 20: Amostras após teste de impacto a) PVC A, b) PVC S.A, c) PVDC A e d) PVDC S.A

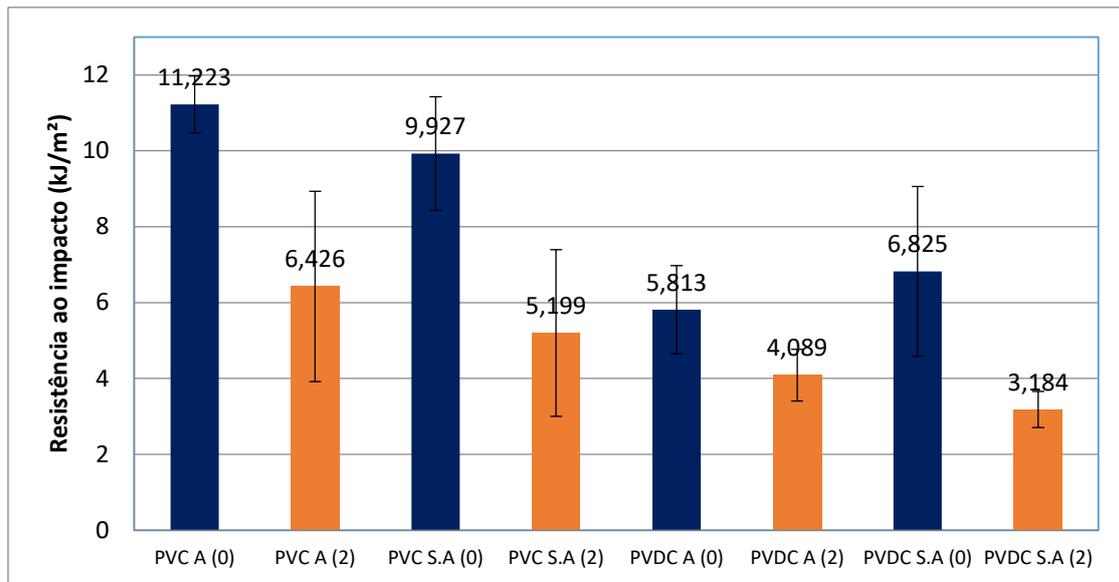


Figura 21: Resistência ao impacto dos corpos-de-prova antes e após exposição ao envelhecimento natural

Em relação a incorporação de ativos nas amostras, elas apresentaram resistência ao impacto semelhante entre si, com e sem aditivos. As placas que em PVC demonstraram maior resistência ao impacto quando comparadas com as amostras em PVDC, ou seja, elas possuem maior capacidade de absorver energia de impacto. Isso se deve, principalmente, a adesão do material que não foi totalmente eficaz nas placas de PVDC.

Pode-se observar que mesmo com adição de aditivos de proteção a resistência ao impacto do PVC apresentou um decréscimo de 11 kJ/m² para 6 kJ/m². A resistência ao impacto do PVC sem aditivo apresentou decréscimo de aproximadamente 10 kJ/m² para 5 kJ/m². Já no PVDC tivemos uma menor diminuição de resistência ao impacto, de 5 kJ/m² para 4 kJ/m² e aproximadamente 7 kJ/m² para 3 kJ/m². Observamos então que o aditivo não contribuiu significativamente para a proteção das amostras em relação a resistência ao impacto.

Após 2 meses de envelhecimento natural, as propriedades diminuíram em torno de 30% a 50%. A perda do PVDC não foi tão significativa, isso pode ser explicado pela presença de PE na amostra. Mesmo assim o PVC possui maior resistência mecânica, porém o polietileno estabilizou as amostras de PVDC.

As condições climáticas do envelhecimento natural influenciaram muito. As perdas de propriedades foram mais agressivas no PVDC sem aditivo e isso também foi visto na densidade. As condições climáticas de sol e temperatura podem ter causado um inchamento no PVDC sem aditivo e conseqüentemente um aumento de porosidade da amostra, conforme já visto na discussão dos resultados de densidade dos experimentos.

Os parâmetros para o processamento do PVDC foram muito complexos. A diminuição da temperatura não fundia o material e o aumento da pressão causava degradação por compressão das placas e essa má formação das placas pode ter se agravado após envelhecimento natural.

5.2.2.2 Dureza

Os resultados da dureza nas amostras sem e com antioxidantes, antes e após envelhecimento natural estão apresentados na figura 22.

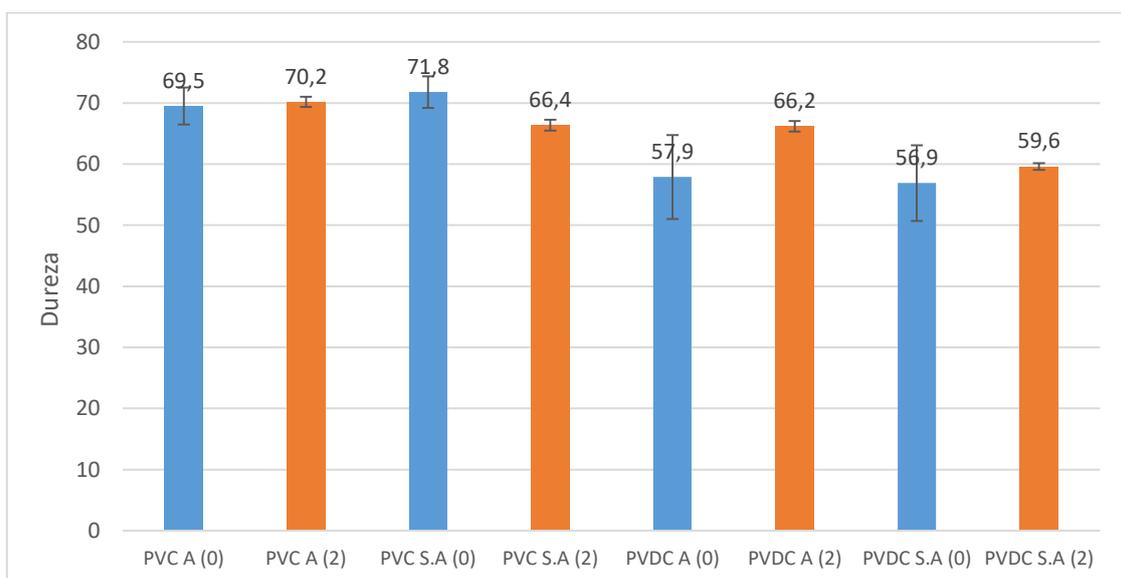


Figura 22: Dureza para as amostras aditivadas e não aditivadas antes e após envelhecimento natural

Sabe-se que quanto mais plastificada a amostra, menor a dureza da mesma. [62] Observando-se os resultados de dureza obtidos, podemos concluir que as amostras de PVDC/PE/PVC possuem menor dureza que as amostras de

PVC, provavelmente pela presença do PE e por não terem um processo ótimo durante a formação de suas placas, o que pode ter tido influência nos resultados de dureza das amostras. Outro ponto a se destacar é que, com a implementação de aditivos antioxidantes, os resultados de dureza não sofreram significativa alteração.

O PVC possui maior dureza que o PVDC, a aditivação não causou mudanças significativas nos resultados de dureza das amostras. O alumínio pode ter grande influência na dureza. Quanto menor a dureza, maior a resistência ao impacto, as amostras ficaram mais rígidas após o envelhecimento, ou seja, mais frágeis e possui menor resistência mecânica.

6. CONCLUSÕES

A etapa 1 teve como objetivo determinar os parâmetros adequados de processo, como temperatura, pressão e tempo para a moldagem das placas com os materiais utilizados. Os resultados demonstraram que as amostras em PVC/PE/PVDC são muito sensíveis aos parâmetros utilizados e precisou-se testar as condições diversas vezes até a formação das placas, que, de acordo com os resultados dos testes, não foram os parâmetros ótimos de processo, pois observou-se que haviam muitos espaços vazios nas amostras desse material. Já o PVC se mostrou um material com maior facilidade de processamento, chegando-se aos parâmetros ótimos com mais facilidade. Os parâmetros ótimos de processo para o PVC foram 180°C, 10 minutos de tempo de contato, 5 minutos de tempo de compressão e pressão de 6 toneladas. Já para o PVDC considerou-se como melhores parâmetros para o processamento a temperatura de 170°C, 8 minutos de tempo de contato, 3 minutos de tempo de compressão e 6 toneladas de pressão.

A etapa 2 visou a caracterização das amostras de PVC e PVC/PE/PVDC antes do envelhecimento natural. Todas as amostras foram analisadas através de propriedades físicas e mecânicas e a partir delas, pode-se concluir que as amostras analisadas de PVC possuem propriedades superiores as amostras analisadas de PVC/PE/PVDC e isso pode ser devido à dificuldade de processamento do material na etapa 1.

A etapa 3 visou a caracterização das amostras de PVC e PVC/PE/PVDC após 2 meses de envelhecimento natural. Podemos perceber que as propriedades das amostras regrediram após, como era o esperado. Durante esse período o clima contribuiu muito para a degradação das amostras, muita chuva e calor são fatores que aceleram a degradação. Na amostra de PVDC sem aditivo, por exemplo, a densidade aumentou e podemos considerar que devido ao grande teor de vazios nas amostras, elas tenham “inchado” devido à chuva e após devido ao calor, aumentando assim os espaços vazios e diminuindo a densidade.

Na maioria das amostras encontrou-se ângulos de contato maiores que 90°, ou seja, podemos considerar que as amostras são hidrofóbicas. Em relação a

resistência ao impacto, podemos concluir que as amostras de tripla camada não sofreram alta diminuição de resistência após o envelhecimento devido a presença do polímero polietileno. De qualquer maneira, o PVC apresentou uma resistência inicial superior ao PVDC tripla camada. Pode-se concluir, como já era esperado, que as amostras tiveram aumento de dureza após o envelhecimento, ou seja, aumento de rigidez e conseqüentemente diminuição da resistência.

Conclui-se então que a reciclagem do PVC monocamada é mais facilmente realizada do que a do PVC/PE/PVDC tripla camada, o PVDC é um material muito sensível a temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. 1995, Revista de Administração de Empresas / EAESP / FGV, São Paulo, Brasil.
- [2] Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2012.
- [3] ABIPLAST. PERFIL – 2019. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/>>. Acesso em: 22 de junho de 2021.
- [4] CNN BRASIL. Venda de antidepressivos cresce 17% durante a pandemia no Brasil. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/saude/2021/02/23/venda-de-antidepressivos-cresce-17-durante-pandemia-no-brasil>>. Acesso em: 22 de junho de 2021.
- [5] QUEM REALIZA. Consumo de medicamentos e vitaminas aumenta em até 198% durante a pandemia. Disponível em: <<https://grupomidia.com/quemrealiza/consumo-de-medicamentos-e-vitaminas-aumenta-em-ate-198-durante-a-pandemia-no-estado-de-sp/>>. Acesso em: 23 de junho de 2021.
- [6] DE SOUZA, J., DIAS DA SILVA, J., DE SOUZA LINCK, L., NITSCHKE DE SOUZA, P., SILVEIRA DA COSTA, I. Study and characterization of Mechanical Recycling of Drug Blister. IOSR Journal of Engineering, 2020.
- [7] LIU, W., WAN, Z., WAN, Z., GONG, B., Sustainable recycle network of heterogeneous pharmaceuticals with governmental subsidies and service-levels of third-party logistics by bilevel programming approach. Journal of Cleaner Production, 2020.
- [8] RODOLFO, A.; NUNES, L.; ORMANJI, W. Tecnologia do PVC. Pro Editores, 2006.
- [9] ECYCLE. PVDC – conheça as vantagens e desvantagens do plástico utilizado em diversas embalagens. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/pvdc-poli-cloreto-vinilideno-o-que-e-plastico-reciclagem-vantagens-desvantagens-saran-revestimento-filme-embalagem->

material-resina-blister-pelicula-laminado-pvc-pet-bopp-atmosfera-modificado-multicama/>. Acesso em: 24 de junho de 2021.

[10] SILVA, LUCIANO SEGUNDO DA. Evolução dos sistemas de coberturas utilizados no Brasil. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo 2005.

[11] GARCIA, S. Para cada tipo de cápsula ou comprimido há um blister específico que de ser produzido, 2001. Disponível em: <http://www.cellopress.com.br/sueligarcia/web/imprensa/imprensa_006.htm>. Acesso em: 29 de junho de 2021.

[12] PIECHOCKI, J.T., THOMA, K. Pharmaceutical Photostability and Stabilization Technology. CRC Press, 2006. PILCHIK, R. Pharmaceutical Blister Packaging, Part I: rationale and Materials. Pharmaceutical Technology, v.24, n.11, p.68-77, 2000.

[13] PEREIRA, D., Pharmaceutical blister: influence of color and types of films in drug packaging. Visão acadêmica, Curitiba, 2016.

[14] NEVES DE LIMA, A., Análise de resíduos no processo de blistagem de comprimidos através do Controle Estatístico de Processo, Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Sciences, 2012.

[15] RODRIGUES LNC, FERRAZ HGF. Embalagem farmacêutica tipo blíster: escolha de um filme adequado para fármacos sensíveis à umidade. Rev Anal. 2009;28:81.

[16] PACHECO RF, PAIXÃO JNV. Uma investigação sobre o índice de perdas de embalagem em uma indústria farmacêutica. In: 26. Encontro Nacional de Engenharia de Produção; 2006; Fortaleza; Associação Brasileira de Engenharia de Produção; 2006.

[17] PVC. A circular material for the future. Disponível em: <http://www.pvc.org>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

- [18] CRONIMO GROUP. Blister process in pharmaceutical industry. Disponível em: <<http://www.technocom.at/download/leaflet/BlisterPresentation.pdf>>. Acesso em: 05 de julho de 2021.
- [19] RODOLFO JR., A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. Tecnologia do PVC, 2a edição; ProEditores Associados Ltda., Brasil, 2006.
- [20] WICKSON, E. Handbook of PVC formulation, Wiley-Interscience Publication, 1993.
- [21] ALVES, R. M. V. et al. Embalagens plásticas e de vidro para produtos farmacêuticos: avaliação das propriedades de barreira à luz. Rev. Ciên. Farm. Basica Apl., v. 29, n. 2, p. 169-180, 2008.
- [22] JNANADEVA, B.M. Role of packaging material on Pharmaceutical product stability. Disponível em:<<http://www.ipapharma.org/events/stability/jbhat.pdf>>. Acesso em: 12 de julho de 2021.
- [23] Tecnologia de los Plásticos. Disponível em: <<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/04/policloruro-devinilideno-pvdc.html>>. Acesso em: 12 de julho de 2021.
- [24] Embalagens: design, materiais, processos e máquinas / [coordenação geral Assunta Napolitano Camilo ; jornalista responsável Margaret Hayasaki ; coordenação técnica Larissa Mendes]. – Barueri, SP : Instituto de Embalagens, 2009.
- [25] QUEIROZ, F., MARTINS, P., DE SOUZA, D., Qualificação de material flexível PVC/PVC – PVDC na indústria farmacêutica. Revista JRG de Estudos Acadêmicos. Goiás, 2020.
- [26] PEACOCKA. J. Handbook of Polyethylene. 2000
- [27] COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; DE SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 13, n.1, p. 1–13, 2003.

- [28] DOAK, H. M. Ethylene Polymers. Em: Mark, H.M; Bikales, N.M.; Overberg, C.G.;
- [29] SARANTOPOULOS, C. et al. Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades. 2. ed. Campinas, SP: CETEA/ITAL, 2017.
- [30] CONHEÇA O ALUMÍNIO E SUAS APLICAÇÕES, Associação Brasileira de Alumínio,- Boletim Informativo. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/conheca/index.cfm?frame=conheca>>. Acesso em: 14 de julho de 2021.
- [31] Grande Enciclopédia Larousse, v.2, Ed. Nova Cultural, 1998.
- [32] SARON, E. S.; GATTI, J. A.B.; DANTAS, S. T. Embalagens Metálicas e a sua Interação com Alimentos e Bebidas. 1ª ed. Campinas: Editora CETEA/ITAL, 1999.
- [33] RABELLO, M. Aditivação de Polímeros. Sao Paulo, Brasil: Altliber, 2000.
- [34] SANCHEZ, S., E., FELISBERTI, I., M., Avaliação da degradação térmica e fotooxidativa do ABS para fins de reciclagem. CEATEC, PUC – Campinas.
- [35] BUENO, G. F. Obtenção de Blisters a partir de polímeros biodegradáveis. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.
- [36] JR., R., A., MEI, H., L., Mechanisms of PVC termal degradation and stabilization. Centro de Tecnologia e Inovação – Vinícolos, Braskem S/A.
- [37] ROSA, D. S.; PANTANO FILHO, R. Biodegradação: um ensino com polímeros. Itatiba, Moara, 2003, 112 p.
- [38] DE PAOLI, M.-A. Degradação e Estabilização de Polímeros. 2. ed. [s.l.] Chemkeys, 2008.
- [39] MODERN. Plastics World Encyclopedia. Los Angeles: Canon Communications LLC, 2008.

- [40] SARANTÓPOULOS, C. et al. Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades. 2. ed. Campinas, SP: CETEA/ITAL, 2017.
- [41] CARVALHO, V., Orientações básicas para operações de aterro sanitário. Publicado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente/Projeto Estruturador Revitalização e Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio São Francisco. 2006.
- [42] DASKALOPOLUS, E., Badr, O. & PROBERT, S. D. – Applied Energy, 58, p. 209 (1997).
- [43] Plástico Industrial. Setor de embalagens flexíveis encerra 2020 em alta. Disponível em: <<https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/1835-Setor-de-embalagens-flexiveis-encerra-2020-em-alta-.html>>. Acesso em: 09 de agosto de 2021.
- [44] DESIDERÁ, C., Blendas de poliamida reciclada e polietileno proveniente da recuperação de embalagens multicamadas. Tese de Doutorado (Doutorado em Química). Curso de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.
- [45] ZHANG, M., Buekens, A., Dioxins and polyvinylchloride in combustion and fires. Waste Management & Research, 2015.
- [46] ASSUNÇÃO, J., Dioxinas e Furanos: origens e riscos. Revista Saúde Pública. 1999.
- [47] ZANIN, M., et al. Resíduos Plásticos e Reciclagem – Aspectos gerais e tecnologia. 1ª ed. São Carlos: Edufscar, 2009.
- [48] COSTA, I., De Souza, P., LINCK, L., Silva, J., DE SOUZA, J., Study and characterization of Mechanical Recycling of Drug Blister. Fundação Liberato, 2020.
- [49] SANTOS, A., AGNELLI, J., A., Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. UFSCar. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, nº5, p.307-312, 2004.

- [50] UEHARA, G. A.; FRANCA, M. P.; CANEVAROLO JUNIOR, S. V. Recycling assessment of multilayer flexible packaging films using design of experiments. *Polímeros*, v. 25, n. 4, p. 371–381, ago. 2015.
- [51] FORLIN, F. J.; FARIA, J. DE A. F. Consideracoes Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2002.
- [52] WIEBECK, H.; PIVA M.A. *Reciclagem Mecânica do PVC*. CD - ROM Instituto do PVC, 2001.
- [53] NUNES, L.R. *Tecnologia do PVC*. São Paulo, SP: ProEditores, 2002.
- [54] HARADA, J. *Curso Processamento de Plásticos*. São Paulo, Cia Brasileira de Estireno, 1995.
- [55] CURSO BÁSICO INTENSIVO DE PLÁSTICOS. *Processamento de Polímeros* *Jornal de Plásticos - INP* (Instituto Nacional do Plástico), 2000.
- [56] Brasilit – Manual de Telhas de Fibrocimento Brasilit. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br>>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.
- [57] NASCIMENTO, R., VIANA, M., *Embalagem Cartonada Longa Vida: Lixo ou Luxo?* *Química Nova na Escola*, n. 25, 2007.
- [58] Euroaktion. Tabela de densidade dos materiais. Disponível em: <<http://www.euroaktion.com.br/Tabela%20de%20Densidade%20dos%20Materiais.pdf>>. Acesso em: 03 de outubro de 2021.
- [59] Braskem. Tabela de propriedades do PVC. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf>. Acesso em: 03 de outubro de 2021.
- [60] *Plásticos na Web*. PVDC. Disponível em: <<https://plasticos-na-web7.webnode.com/news/poli-cloreto-de-vinilideno-pvdc/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2021.

[61] PVC. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3513/SoraiaZaionczB.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 de outubro de 2021.

[62] WILKES, C.; SUMMERS, J.; DANIELS, C.. PVC Handbook. Hanser, 2005